



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

PROYECTO DE GRADUACIÓN:

**“DISEÑO, DOCUMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS
DEL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

***INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRONICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL***

PRESENTADO POR:

RAÚL GABRIEL INTRIAGO VELÁSQUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

En primer lugar un agradecimiento sincero a mi Director de Tesis, el Msc. Damián Larco Gómez., por su ayuda y colaboración para la realización del presente trabajo y además, por la oportunidad brindada de poder desempeñarme como ayudante académico del Laboratorio de Electrónica de Potencia.

A mis familiares, pero de manera especial a mis padres Raul y Fátima y a mis hermanos Gabriel y Andrés por brindarme su apoyo durante mi carrera pero con mayor intensidad durante la realización del presente documento.

A todos los compañeros que colaboraron durante la implementación de los proyectos del Laboratorio.

DEDICATORIA

En primer lugar a DIOS por darme la oportunidad de vivir.

A mis padres y hermanos quienes me brindaron su apoyo en momentos difíciles.

A mi padre, a mi madre y a mis hermanos de comunidad por rezar por mí.

A mis profesores.

A Rocky.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Msc. Miguel Yapur Auad

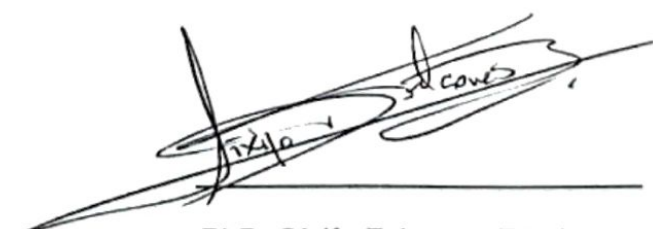
DECANO DE LA FIEC

PRESIDENTE



MSc. Damián Larco Gómez

DIRECTOR



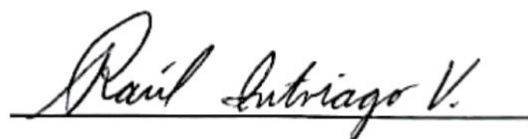
PhD. Sífifo Falcones Zambrano

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, reading "Raúl Intriago V.", is written over a horizontal line.

RAUL GABRIEL INTRIAGO VELÁSQUEZ

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla e implementa un manual de prácticas para la materia Laboratorio de Electrónica de Potencia, con la finalidad de que la enseñanza impartida sea unificada cada semestre. Para ello, se explica el uso de los equipos necesarios y experimentos a realizar en cada práctica.

Con esto se pretende disponer de la documentación necesaria sobre cada práctica para uso de los ayudantes académicos y estudiantes, de tal manera que el proceso de aprendizaje se agilite disponiendo de mayor tiempo para realizar la práctica y reduciendo el tiempo de explicación de las mismas.

Así mismo, se pretende que la realización de las prácticas pueda ser ejecutada por el estudiante, debido a que se contaría con el procedimiento adecuado, el cual estaría incluido en el manual. Esto permite que los estudiantes tomen un papel activo y no pasivo durante la realización de las prácticas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ABREVIATURAS	xxxii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxxv
ÍNDICE DE TABLAS	clxxxiv
INTRODUCCIÓN.....	cxciv
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Solución.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.....	2
1.4.1. General	2
1.4.2. Específicos.....	3
1.5. Metodología.....	5
CAPÍTULO 2.....	9
FAMILIARIZACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS, EQUIPOS DE MEDICIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS PRÁCTICAS.....	9

2.1.	Listado de equipos a emplearse.....	9
2.2.	Descripción de los equipos e instrumentos a emplearse.....	10
2.2.1.	Fuente de poder MV1300.....	10
2.2.2.	Banco trifásico resistivo MV1100	11
2.2.3.	Banco trifásico inductivo MV1101	13
2.2.4.	Banco trifásico capacitivo MV1102.....	15
2.2.5.	Máquina DC MV1006	16
2.2.6.	Motor de inducción jaula de ardilla (MIJA) MV1009	19
2.2.7.	Motor de inducción de anillos rozantes MV1007	24
2.2.8.	Freno por corrientes de Eddy MV1045.....	26
2.2.9.	Taco-generador DC MV1024	32
2.2.10.	Taco-generador AC MV1025	42
2.2.11.	Osciloscopio FLUKE 192B.....	48
2.2.12.	Analizador de energía FLUKE 434	55
2.2.13.	Multímetro FLUKE 87V	58
2.2.14.	Tacómetro AMPROBE TACH20	59
2.2.15.	Interruptor trifásico TERCO MV1500	62
2.2.16.	Cables banana.....	63

2.3. Medición indirecta de inductancia y capacitancia por medio del ángulo de desfase entre voltaje y corriente en una carga R-L y R-C	63
2.3.1. Objetivos	64
2.3.2. Conexiones eléctricas de equipos e instrumentos para la medición de inductancia	64
2.3.3. Procedimiento experimental en la medición de inductancia.....	67
2.3.4. Conexiones eléctricas de equipos e instrumentos para la medición de capacitancia.....	74
2.3.5. Procedimiento experimental en la medición de capacitancia. ...	76
2.4. Mejoramiento del factor de potencia en un sistema con carga RL monofásica	78
2.4.1. Objetivos	78
2.4.2. Conexiones eléctricas de los equipos y de instrumentos.	79
2.4.3. Procedimiento experimental para la corrección del factor de potencia.	86
2.5. Obtención de las curvas de tacómetros DC y AC.....	90
2.5.1. Objetivos	90
2.5.2. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado DC vs velocidad del motor.....	90

2.5.3. Procedimiento experimental para la obtención de la curva de voltaje generado vs velocidad del motor.....	92
2.5.4. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado AC y de frecuencia generada vs velocidad del motor. 93	
2.5.5. Procedimiento experimental para la obtención de la curva de voltaje generado AC y frecuencia generada vs velocidad del motor.	95
2.6. Obtención de curvas velocidad versus corriente de armadura de un motor DC de excitación separada alimentado con voltaje de armadura constante.....	97
2.6.1. Objetivos	97
2.6.2. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado DC vs velocidad del motor.....	97
2.6.3 Procedimiento experimental para la obtención de la curva de velocidad vs corriente de armadura.....	99
CAPÍTULO 3.....	102
PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS RECTIFICADORES MONOFÁSICOS CONMUTADOS POR LÍNEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLÉS MAWDSLEY'S	102
3.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica, procedimientos de uso del drive y conexiones entre el drive y las cargas eléctricas.	102

3.1.1.	Listado de equipos a emplearse.....	103
3.1.2.	Procedimientos de uso del drive	103
3.1.2.1.	Conexión de instrumentos de medición.....	103
3.1.2.2.	Energización del Drive.....	104
3.1.2.3.	Energización del circuito de fuerza	104
3.1.2.4.	Des-energización del circuito de fuerza.....	105
3.1.3.	Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.	105
3.1.3.1.	Carga resistiva.....	105
3.1.3.2.	Carga resistiva-inductiva.....	106
3.1.3.3.	Carga resistiva-inductiva con diodo de paso libre.....	106
3.2.	Convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado	107
3.2.1.	Objetivos	107
3.2.2.	Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	107
3.2.3.	Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	109
3.2.4.	Análisis de armónicos del voltaje de salida del convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434.....	113
3.2.4.1.	Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	113

3.2.4.2. Obtención de armónicos del voltaje de salida empleando el analizador de energía Fluke 434	115
3.2.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	122
3.2.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	125
3.2.7. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva con la activación del diodo de paso libre empleando el osciloscopio Fluke 192B	127
3.3. Convertidor AC-DC monofásico de onda controlado completa con tap central.....	129
3.3.1. Objetivos	129
3.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	129
3.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	131
3.3.4. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	136
3.4. Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado.....	140
3.4.1. Objetivos	140

3.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	140
3.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	141
3.4.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor AC-DC analizado empleando el analizador de energía Fluke 434	144
3.4.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	150
3.4.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	152
3.4.7. Variación de la corriente de salida de acuerdo al ángulo de disparo y a la inductancia empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	158
3.5. Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado.....	162
3.5.1. Objetivos	162
3.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	162
3.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	164
3.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	165

3.5.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	170
3.5.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	172
3.5.7. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva con diodo de paso libre y el osciloscopio Fluke 192B.....	179
CAPÍTULO 4	187
SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES MONOFASICOS SEMICONTROLADOS PARA OPERACIÓN EN UN CUADRANTE	187
4.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica.....	188
4.2. Fundamentos de motores DC y de drives DC.	188
4.3. Presentación del drive Terco MV4200.....	192
4.4. Bloques principales de un drive DC en el panel frontal del drive Terco MV4200	193
4.5. Diagrama electrónico e identificación de los componentes físicos del drive Terco MV4200.	194
4.6. Análisis del circuito de referencia con doble polaridad y del circuito de disparo.....	201

4.7. Variación del ángulo de disparo por ajuste en la referencia para variar la velocidad del motor DC en lazo abierto.	221
4.8. Control de velocidad por tacómetro con lazo interno de corriente. Sintonización de las ganancias proporcional e integral del controlador PI de velocidad ante cambios bruscos del torque aplicado al eje del motor (velocidad constante y la corriente variable). Cambio en el nivel de corriente máxima solicitada al controlador PI de corriente.	227
4.9. Control de velocidad por el método de compensación IXR, con lazo interno de corriente. Sintonización de las ganancias proporcional e integral del controlador PI de velocidad ante cambios bruscos del torque aplicado al eje del motor (velocidad constante y la corriente variable). Cambio en el nivel de corriente máxima solicitada al controlador PI de corriente. Método de ajuste de la compensación IXR.	244
CAPÍTULO 5	254
SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES MONOFASICOS TOTALMENTE CONTROLADOS PARA OPERACIÓN EN CUATRO CUADRANTES	254
5.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica.....	254
5.2. Presentación del panel eléctrico Fincor.	255
5.3. Identificación de los bloques básicos de control en el diagrama electrónico del drive FINCOR MKII 2236.	268

5.4. Determinación de la polaridad del tacómetro	280
5.5. Control de velocidad en cuatro cuadrantes empleando la realimentación por tacómetro. Oscilogramas de corriente de línea y armadura para determinar los cambios en estas variables durante el frenado regenerativo.	285
5.6. Control de velocidad con el método IxR. Calibración del potenciómetro IxR para obtener la óptima regulación de velocidad del variador.	286
CAPÍTULO 6	290
PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS RECTIFICADORES TRIFASICOS CONMUTADOS POR LINEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLES MAWDSLEY'S	290
6.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica, procedimientos de uso del drive y conexiones entre el drive y las cargas eléctricas.	291
6.1.1. Listado de equipos a emplearse.....	291
6.1.2. Procedimientos de uso del drive	291
6.1.2.1. Conexión de instrumentos de medición.....	291
6.1.2.2. Energización del Drive	292
6.1.2.3. Energización del circuito de fuerza	292
6.1.2.4. Des-energización del circuito de fuerza.....	293

6.1.3. Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.....	293
6.1.3.1. Carga resistiva.....	293
6.1.3.2. Carga resistiva-inductiva	294
6.1.3.3. Carga resistiva-inductiva con diodo de paso libre.....	294
6.2. Familiarización con el transformador trifásico y el generador de pulsos	295
6.3. Convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos	298
6.3.1. Objetivos	298
6.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	298
6.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	301
6.3.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	306
6.3.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	306
6.3.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	310
6.3.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	318

6.3.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B.....	320
6.4. Convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico).....	327
6.4.1. Objetivos	327
6.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	327
6.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	330
6.4.4. Análisis de armónicos de la corriente del primario del transformador en el convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	335
6.4.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	335
6.4.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	338
6.4.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	350
6.4.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	354

6.5. Convertidor AC-DC trifásico de onda completa tipo puente semi-controlado.....	366
6.5.1. Objetivos	366
6.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	366
6.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	368
6.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	373
6.5.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	373
6.5.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	375
6.5.5. Formas de onda empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B.....	387
6.5.6. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	409
6.6. Convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador	410
6.6.1. Objetivos	410
6.6.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	410

6.6.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	412
6.6.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	417
6.6.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	417
6.6.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	419
6.6.5. Formas de onda empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B.....	431
6.6.6. Obtención de figuras de mérito empleando el motor DC MV1006 y el osciloscopio Fluke 192B.....	452
6.6.7. Formas de onda empleando el motor DC MV1006 y el osciloscopio Fluke 192B	455
CAPÍTULO 7	460
SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES TRIFÁSICOS TOTALMENTE CONTROLADOS. .	460
7.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica y presentación del panel eléctrico Mentor.	460
7.2. Accionamiento del panel para el encendido de la interfaz de programación del convertidor de potencia.	476

7.3. Reset del drive para obtener parámetros de fábrica y guardado de parámetros en EEPROM del drive. Conexión al software CT-SOFT para realización de los experimentos.	479
7.4. Procedimiento de puesta en marcha del panel junto con el motor y sintonización automática de los controladores PI de corriente y velocidad. Procedimiento de apagado del panel eléctrico.....	488
7.5. Ajuste de velocidad por diferentes métodos.	512
7.5.1. Referencia externa (potenciómetro).....	512
7.5.2. Interfaz de programación (keypad).....	516
7.5.3. Velocidad fija (pad-ref)	517
7.6. Variación de velocidad del motor DC MV1006 en lazo abierto.....	518
7.7. Control de velocidad empleando tacómetro DC.	522
7.8. Análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434.	533
7.9. Estado térmico del motor.....	541
7.10. Control de velocidad por aproximación de velocidad (IxR).....	543
7.11. Selección automática de velocidades (velocidades preseleccionadas).	553
7.12. Avance gradual (jog).	556
7.13. Control de torque.....	558

7.14. Grabación y lectura de parámetros en tarjeta inteligente (Smartcard).....	564
CAPÍTULO 8.....	567
PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS CONTROLADORES AC/AC CONMUTADOS POR LINEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLES MAWDSLEY'S.....	567
8.1. Listado de equipos a emplearse, procedimientos de uso del drive y conexiones entre la carga y el drive.....	568
8.1.1. Listado de equipos a emplearse.....	568
8.1.2. Procedimientos de uso del drive	568
8.1.2.1. Conexión de instrumentos de medición.....	568
8.1.2.2. Energización del drive	569
8.1.2.3. Energización del circuito de fuerza	569
8.1.2.4. Des-energización del circuito de fuerza.....	569
8.1.3. Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.....	570
8.1.3.1. Carga monofásica resistiva	570
8.1.3.2. Carga monofásica resistiva-inductiva	570
8.1.3.3. Carga trifásica resistiva	571
8.1.3.4. Carga trifásica resistiva-inductiva	571
8.2. Controlador AC-AC monofásico unidireccional.....	572

8.2.1. Objetivos	572
8.2.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	573
8.2.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	575
8.2.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	579
8.2.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	579
8.2.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	579
8.2.4.3. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	580
8.2.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	585
8.2.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	586
8.3. Controlador AC-AC monofásico bidireccional.....	590
8.3.1. Objetivos	590
8.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	590
8.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	591

8.3.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	594
8.3.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	594
8.3.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada al controlador empleando el analizador de energía Fluke 434.....	595
8.3.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	601
8.3.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	602
8.4. Controlador AC-AC trifásico unidireccional.....	606
8.4.1. Objetivos	606
8.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	606
8.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	608
8.4.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	611
8.4.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	611
8.4.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	611

8.4.5. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	622
8.5. Controlador AC-AC trifásico bidireccional.....	634
8.5.1. Objetivos	634
8.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive ..	634
8.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B	636
8.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434	640
8.5.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	640
8.5.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434	640
8.5.5. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B	651
8.5.6. Arranque suave del motor de inducción MV1009 y visualización empleando el osciloscopio Fluke 192B.....	667
CAPÍTULO 9.....	674
APLICACIÓN DE CONVERTIDORES AC-AC TRIFASICOS: USO DEL ARRANCADOR SUAVE ALTISTART 48 Y DE LOS DRIVES PROFESIONALES CON INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN.	674

9.1.	Listado de equipos a emplearse en la práctica.....	674
9.2.	Presentación y encendido del panel eléctrico Altistart.....	675
9.3.	Parametrización del drive Altistart48.	690
9.4.	Descripción de la lógica de control del funcionamiento del panel en modo MANUAL.	711
9.5.	Operación del panel en modo manual y variación de señales mecánicas y eléctricas del motor tales como torque, velocidad, corriente RMS y voltaje RMS de acuerdo a la parametrización previa.....	713
9.6.	Forma de onda del voltaje y corriente en el motor durante y después del arranque. Medición del factor de potencia en vacío del motor.	715
9.7.	Variación de los parámetros del drive tales como ACC, tq0, ILt y su efecto en el torque y la corriente RMS del motor.	719
9.8.	Habilitación y des-habilitación del parámetro CLP y su efecto en el voltaje RMS, velocidad y corriente RMS.	722
9.9.	Aumento de carga mecánica y variación de las señales de torque y velocidad durante el arranque y frenado en rueda libre.	724
9.10.	Análisis de la forma de onda de la corriente de línea del motor y determinación del instante de finalización de la rampa de torque para un ajuste del parámetro ACC=60 y carga mecánica que, en estado estable, requiere 5A de corriente RMS de línea del motor. Efecto en el torque y corriente RMS luego de disminuir el parámetro tq0 de 20 a 10.	

Energización de la bobina del relé FINAL ARRANQUE luego de finalizar la rampa de torque.	727
9.11. Factor de potencia del motor operando bajo carga mecánica que requiere la corriente nominal del motor.	731
9.12. Descripción de la lógica de control del panel en modo automático. 731	
9.13. Arranque en cascada de los motores de inducción jaula de ardilla MV1009 y de anillos rozantes MV1007. Variación de los parámetros ACC, tq0 AC2 y tq2 y su efecto en la corriente RMS de línea de ambos motores. 734	
9.14. Conexión al software Power Suite.	737
9.15. Configuración del tipo de frenado por desaceleración empleando Power Suite. Visualización de la variación de corriente RMS, voltaje RMS, torque y velocidad durante el frenado.	748
CAPÍTULO 10	756
CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN CON ACCIONAMIENTOS BÁSICOS DE VELOCIDAD VARIABLE.	756
10.1. Listado de equipos a emplearse, presentación y encendido del panel eléctrico Altivar.	756
10.2. Uso de la interfaz hombre-máquina (HMI) del variador. Método de inicialización del variador con los parámetros de fábrica.	776

10.3. Uso del software PowerSuite para la programación del arrancador.....	780
10.4. Arranque, inversión de giro, variación de velocidad y detención del motor empleando el control de tres y dos hilos.	802
10.5. Arranque, inversión de giro y detención del motor empleando Power Suite. Visualización del estado térmico del variador y del motor..	810
10.6. Procedimiento de autoajuste.	813
10.7. Método de control de la relación voltaje/frecuencia por par constante y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz. 815	
10.8. Formas de onda del voltaje y de la corriente del motor para las frecuencias de operación de 5Hz, 30Hz y 50Hz.....	827
10.9. Método de control de la relación voltaje/frecuencia por control vectorial del flujo sin sensor y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz.	829
10.10. Efecto del parámetro SLP (control de deslizamiento) en el deslizamiento del motor. Efecto del parámetro StA en la frecuencia de la corriente de línea del motor.....	837

10.11.	Variación del torque, corriente RMS, velocidad y voltaje RMS empleando los métodos de frenado por seguimiento de rampa y por rueda libre. Variación del torque, corriente DC, velocidad y voltaje DC empleando el método de control de frenado por inyección de corriente DC. Forma de onda del voltaje y corriente DC aplicado al motor durante el frenado por inyección de corriente DC.	839
10.12.	Forma de onda de la corriente de entrada al drive y análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434 para las frecuencias de operación de 15Hz, 30Hz y 50Hz.....	846
10.13.	Ajuste de velocidades preseleccionadas.....	855
10.14.	Cambio de velocidad empleando lógica de relés cableada.....	859
10.15.	Empleo del variador en lazo cerrado para el control del voltaje de un generador DC auto-excitado acoplado a un motor de inducción.....	865
CAPÍTULO 11		889
CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN CON ACCIONAMIENTOS BÁSICOS DE VELOCIDAD VARIABLE.		889
11.1.	Introducción y presentación del panel eléctrico Danfoss.	889
11.2.	Método de inicialización del variador con los parámetros de fábrica.	906
11.3.	Parametrización del variador Danfoss FC302 en base a la placa del motor.	911

11.4.	Configuración de la salida analógica, ejecución del procedimiento AMA y modificación en los datos avanzados del motor.	918
11.5.	Configuración del menú 4-1* Límites motor y 3-0* Límites referencia.	925
11.6.	Ajuste de referencia de velocidad empleando el panel de control local ó por medio del potenciómetro de precisión. Visualización de parámetros del motor en la pantalla del panel de control local.....	930
11.7.	Configuración de rampas de aceleración de tipo lineal y tipo S.	937
11.8.	Configuración de la protección térmica del motor mediante el drive. 940	
11.9.	Variación del voltaje en el bus DC del drive durante el encendido y apagado del mismo.....	943
11.10.	Formas de onda del voltaje y corriente en el motor empleando los patrones de conmutación SFAVM y 60 AVM para las frecuencias de operación de 5Hz, 25Hz y 45Hz.....	944
11.11.	Principio de control del motor U/f y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz. Regulación de velocidad para una velocidad en vacío de 900rpm.....	950
11.12.	Principio de control del motor VVCplus y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el	

rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz. Regulación de velocidad para una velocidad en vacío de 900rpm.....	960
11.13. Forma de onda de la corriente de entrada al drive y análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434 para las frecuencias de operación de 15Hz, 30Hz y 50Hz.....	968
11.14. Control de torque.....	977
11.15. Velocidades preseleccionadas.....	980
11.16. Empleo del control de lógica inteligente (SLC) desde el HMI del variador.	985
11.17. Empleo del control de lógica inteligente (SLC) desde el software MCT11.	990
11.18. Empleo del variador en lazo cerrado para el control del voltaje de un generador DC auto-excitado acoplado a un motor de inducción.....	997
CONCLUSIONES	1021
RECOMENDACIONES.....	1026
BIBLIOGRAFÍA.....	1028

ABREVIATURAS

A	Amperios
AC	Corriente alterna
AMA	Adaptación automática del motor
°C	Grados centígrados
CLI	Común de las entradas lógicas
DC	Corriente continua
DPF	Factor de desplazamiento
EXB	Bit EX.
f	Frecuencia
FEM	Fuerza contra-electromotriz
FF	Factor de forma
g	gramos
HMI	Interfaz hombre máquina
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hercios
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Clase de protección del motor
IXR	Metodo de control de velocidad en un motor DC por estimacion de la misma
JOG	Avance gradual

LSB	Bit menos significativo
m	Metros
mH	Mili henrios
MIJA	Motor de inducción jaula de ardilla
Min	Minuto
MSB	Bit más significativo
N	Newton
P	Numero de polos del motor de inducción
PF	Factor de potencia
PI	Proporcional integral
PID	Proporcional integral derivativo
Rad	Radianes
RF	Factor de rizo
RL	Resistivo-inductivo
RMS	Valor cuadrático medio
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos
SFAVM	Modulacion vectorial asincrona orientada al flujo del estator
SLC	Control de lógica inteligente
THD	Distorsion armonica total
TUF	Factor de utilizacion del transformador
uF	Micro faradios

UJT	Transistor de unijuntura
V	Voltios
V_{L-L}	Voltaje línea a línea
W	Vatios
Ω	Ohmios
°	Grados
%	Porcentaje
α	Ángulo de disparo
β	Ángulo de extinción.
γ	Ángulo de conducción.
60 AVM	Modulación vectorial asíncrona de 60°

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Fuente de poder MV1300 y sus terminales.	11
Figura 2.2: Terminales y porta-fusibles del banco resistivo MV1100	12
Figura 2.3: Vista superior del banco resistivo MV1100	12
Figura 2.4: Terminales, selector y porta-fusibles del banco inductivo MV1101	13
Figura 2.5: Imagen real del banco inductivo MV1101	14
Figura 2.6: Diseño en Microsoft Visio del banco capacitivo MV1102.....	15
Figura 2.7: Vista superior del banco capacitivo MV1102	16
Figura 2.8: Vista superior de la máquina MV1006.	17
Figura 2.9: Caja de borneras de la máquina MV1006.....	18
Figura 2.10: Placa de la máquina MV1006.	18
Figura 2.11: Vista frontal de la MIJA MV1009.....	20
Figura 2.12: Placa de la MIJA MV1009 código de inventario 20835-1 y 20835- 3.....	21
Figura 2.13: Placa de la MIJA MV1009 código de inventario 20835-2.....	21
Figura 2.14: Conexión en delta de la caja de borneras de las MIJA MV1009 de código de inventario 20835-1 y 20835-3.....	22
Figura 2.15: Conexión en delta de la caja de borneras de la MIJA MV1009 de código de inventario 20835-2.....	23
Figura 2.16: Vista superior de la máquina MV1007.	24

Figura 2.17: Placa de la máquina MV1007	25
Figura 2.18: Conexión en delta de la caja de borneras de la máquina MV1007 con los anillos rozantes en cortocircuito.	26
Figura 2.19: Panel frontal del control del freno por corrientes de Eddy MV1045	27
Figura 2.20: Freno por corrientes de Eddy MV1045 junto con el soporte de la galga extensiométrica (izquierda)	27
Figura 2.21: Control y freno del equipo MV1045 sobre la mesa de soporte de máquinas Terco.....	28
Figura 2.22: Vista frontal del control de freno por corrientes de Eddy MV1045	28
Figura 2.23: Vista posterior del control de freno por corrientes de Eddy MV1045	30
Figura 2.24: Imagen real de la estructura metálica que soporta el taco- generador DC MV1024.....	33
Figura 2.25: Taco-generador DC MV1024.....	33
Figura 2.26: Relación de voltaje vs velocidad dada por el fabricante del taco- generador DC MV1024.....	34
Figura 2.27: Referencias de sentido de giro y de bornera en el taco- generador DC MV1024.....	35
Figura 2.28: Grafica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido horario.....	36

Figura 2.29: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario .	37
Figura 2.30: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido horario	38
Figura 2.31: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido anti-horario .	39
Figura 2.32: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido horario	40
Figura 2.33: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido anti-horario .	41
Figura 2.34: Borneras del taco-generador MV1024	42
Figura 2.35: Imagen real de la estructura metálica que soporta el taco- generador AC MV1025	43
Figura 2.36: Taco-generador AC MV1025	43
Figura 2.37: Taco-generador AC MV1025	44
Figura 2.38: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco- generador MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario	45
Figura 2.39: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el taco- generador MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario	46
Figura 2.40: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco- generador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario	47

Figura 2.41: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el tacogenerador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario	47
Figura 2.42: Osciloscopio Fluke 192B.	48
Figura 2.43: Vista superior del osciloscopio Fluke 192B.....	49
Figura 2.44: Teclado del osciloscopio Fluke 192B.....	49
Figura 2.45: Punta de prueba de voltaje gris a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.....	50
Figura 2.46: Punta de prueba de voltaje roja a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.....	51
Figura 2.47: Sello que muestra la sensibilidad de la punta de prueba de voltaje roja a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.	51
Figura 2.48: Punta de prueba de corriente a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.....	51
Figura 2.49: Sello que muestra la sensibilidad de la punta de prueba de corriente a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.....	52
Figura 2.50: Cable de comunicación entre el PC y el osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.....	52
Figura 2.51: Puerto óptico del osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.....	53
Figura 2.52: Conexión del cable de comunicación en el osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.	53
Figura 2.53: Cargador de baterías BC190/808 del osciloscopio Fluke 192B.	54

Figura 2.54: Submenú SCOPE en el osciloscopio Fluke 192B.....	54
Figura 2.55: Submenú READING 1 en el osciloscopio Fluke 192B.....	55
Figura 2.56: Analizador de energía Fluke 434.....	56
Figura 2.57: Vista superior del analizador de energía Fluke 434.....	56
Figura 2.58: Teclado del analizador de energía Fluke 434.....	56
Figura 2.59: Puntas de prueba de voltaje del Analizador de energía Fluke 434	57
Figura 2.60: 4 puntas de prueba de corriente del Analizador de energía Fluke 434.....	57
Figura 2.61: Cargador de baterías del analizador de energía Fluke 434.....	57
Figura 2.62: Multímetro Fluke 87V.....	58
Figura 2.63: Multímetro Fluke 87V en modo resistencia y conexión necesaria mostrando el estado del fusible	59
Figura 2.64: Botón de habilitación de alarma sonora.....	59
Figura 2.65: Tacómetro infrarrojo TACH20.....	60
Figura 2.66: Acople mecánico del tacómetro infrarrojo TACH20.....	60
Figura 2.67: Banda reflectora en el matrimonio de dos máquinas.....	61
Figura 2.68: Tacómetro TACH20 apuntando hacia el área del matrimonio a través de la cual rotará la banda reflectora.....	61
Figura 2.69: Diseño del tacómetro infrarrojo TACH20.....	62
Figura 2.70: Interruptor TERCO MV1500.....	62
Figura 2.71: Diseño del Interruptor TERCO MV1500.....	63

Figura 2.72: Cables banana.....	63
Figura 2.73: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100 y el banco de inductores MV1101.....	65
Figura 2.74: Conexión reales para la medición de inductancia.....	66
Figura 2.75: Conexión de los instrumentos de medición previa a la medición de inductancia.....	66
Figura 2.76: Referencia de la punta de prueba de voltaje y de la punta de prueba de corriente previo a la medición de inductancia.....	67
Figura 2.77: Medición de corriente mostrando un nivel DC previa a la experimentación con la medición de inductancia. (Ch1: Vout, Ch2: Iout)	68
Figura 2.78: Medición de corriente sin nivel DC considerable previa a la experimentación con la medición de inductancia. (Ch1: Vout, Ch2: Iout)	69
Figura 2.79: Marcador del Trigger del osciloscopio en posición incorrecta, mostrando inestabilidad en las señales adquiridas. (CH1: Vout, CH2: Iout)	69
Figura 2.80: Marcador del trigger del osciloscopio en posición correcta. (CH1: Vout, CH2: Iout)	70
Figura 2.81: Desplazamiento horizontal del cruce por cero ascendente de la señal del canal A. (CH1: Vout, CH2: Iout).....	71
Figura 2.82: Ajuste del menú CURSOR para la medición de inductancia. ...	72

Figura 2.83: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100 y el banco de capacitores MV1102	75
Figura 2.84: Cruce por cero ascendente de la señal del canal A. Desfasamiento entre el voltaje y la corriente en la carga RC. (CH1: Vout, CH2: Iout).	76
Figura 2.85: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100, el banco de inductores MV1101 y el banco de capacitores MV1102.	79
Figura 2.86: Conexión reales para el mejoramiento del factor de potencia en un sistema con carga RL.	80
Figura 2.87: Configuración del menú SETUP del analizador de energía FLUKE	81
Figura 2.88: Configuración del submenú FREQ del menú SETUP del analizador de energía FLUKE.....	81
Figura 2.89: Configuración del submenú FREQ, opción NOMINAL VOLTAGE en el menú SETUP del analizador de energía FLUKE	82
Figura 2.90: Configuración del submenú FREQ, opción ADJUST LIMITS en el menú SETUP del analizador de energía FLUKE.	83
Figura 2.91: Configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de fase, del menú SETUP del analizador de energía FLUKE 434.....	83

Figura 2.92: Configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de neutro, en el menú SETUP del analizador de energía FLUKE 434.....	84
Figura 2.93: Configuración del submenú SETUP en el analizador de energía FLUKE 434	85
Figura 2.94: Conexiones entre el analizador de energía FLUKE 434 y el sistema analizado.	85
Figura 2.95: Conexiones reales de las puntas de prueba de voltaje y corriente en el sistema analizado.	86
Figura 2.96: Señales de voltaje y corriente en el sistema analizado. (CH1: Vout, CH2: Iout)	87
Figura 2.97: Diagrama fasorial mostrando los fasores de voltaje y corriente de la carga RL.	87
Figura 2.98: Selección del submenú POTENCIA Y ENERGÍA en el menú MENU.....	88
Figura 2.99: Factor de potencia $PF=0.92$ inductivo en la carga RL.	88
Figura 2.100: Diagrama fasorial mostrando los fasores de voltaje y corriente de la carga RL.	89
Figura 2.101: Oscilograma mostrando las señales de voltaje y corriente de la carga RL.	89
Figura 2.102: Factor de potencia mejorado en la carga RL.	90

Figura 2.103: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador DC MV1024.....	91
Figura 2.104: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador DC MV1024.....	91
Figura 2.105: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco- generador DC MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario	93
Figura 2.106: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas de los taco-generadores AC MV1025.	94
Figura 2.107: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador AC MV1025.....	94
Figura 2.108: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.....	96
Figura 2.109: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.....	96

Figura 2.110: Conexiones reales entre el freno de corrientes de Eddy y su control.....	98
Figura 2.111: Conexiones reales en la experimentación para la obtención de la curva de corriente de armadura vs velocidad de la máquina DC MV1006 en conexión excitación separada.	98
Figura 2.112: Ajuste de la velocidad en 1000rpm previo a la obtención de la curva de corriente de armadura vs velocidad de la máquina DC MV1006 en conexión excitación separada.....	99
Figura 2.113: Oscilograma de voltaje y corriente de armadura. Mediciones promedio. (CH1: Vout, CH2: Iout).....	100
Figura 2.114: Curva de velocidad vs corriente de armadura en la máquina MV1006 funcionando como motor en excitación separada.	101
Figura 3.1: Conexión del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's ..	105
Figura 3.2 Conexión del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's.....	106
Figura 3.3 Conexión de un diodo de paso libre empleando el interruptor MV1500	106
Figura 3.4: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de media onda.....	107
Figura 3.5: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el convertidor AC-DC monofásico de media onda.....	108

Figura 3.6: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de media onda en el panel frontal del Drive Mawdsley's.....	109
Figura 3.7: Oscilograma de las señales en S1-S0 (vin) y P6 (vp6); (CH1: vin, CH2: vp6).....	110
Figura 3.8: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).	110
Figura 3.9: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).	111
Figura 3.10: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).	111
Figura 3.11: Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434	113
Figura 3.12: Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC monofásico de media onda empleando el analizador de energía Fluke 434	114
Figura 3.13: Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al convertidor AC-DC monofásico de media onda.....	115
Figura 3.14: Conexión de la punta de prueba de voltaje al nodo de tierra en la parte posterior del Drive Mawdsley's.	115
Figura 3.15: Acceso al submenú Armónicos del menú principal en el analizador de energía Fluke 434	117

Figura 3.16: Medición de THD de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434 117

Figura 3.17: Medición de la componente promedio del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434 118

Figura 3.18: Medición de la armónica fundamental del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434 118

Figura 3.19: Medición de la segunda armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434 119

Figura 3.20: Medición de la tercera armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434 119

Figura 3.21: Medición de la cuarta armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0

grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434
 120

Figura 3.22: Medición de la quinta armónica de voltaje de salida en el
 convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0
 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434
 120

Figura 3.23: Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes
 fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador
 monofásico en el convertidor AC-DC empleando el analizador de energía
 Fluke 434 121

Figura 3.24: Comprobación del factor de potencia PF y del factor de
 desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico de media
 onda con carga R y $\alpha=0^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434
 122

Figura 3.25: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el
 osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=45^\circ$. (CH1: Vout, CH2: Vin)..... 123

Figura 3.26: Oscilograma que muestra la medición promedio de voltaje y
 corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda
 con $\alpha=45$ grados y carga RL con un ángulo de carga de 45 grados ... 124

Figura 3.27: Oscilograma que muestra la medición del ángulo de conducción
 y en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y
 carga RL con un ángulo de carga de 45 grados 124

Figura 3.28: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$ (CH1: V_{in} , CH2: V_{out})..... 125

Figura 3.29: Oscilograma que muestra la corriente de salida y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$. (CH1: i_{out} , CH2: V_{out}). 126

Figura 3.30: Oscilograma que muestra el voltaje en la resistencia y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$. (CH1: V_R CH2: V_L). 126

Figura 3.31: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330mH$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: i_{in})..... 127

Figura 3.32: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente interna del convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330mH$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: i_{d1})..... 128

Figura 3.33: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330mH$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: i_{out})..... 128

Figura 3.34: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central.....	130
Figura 3.35: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el convertidor AC-DC monofásico de de onda completa con tap central.	130
Figura 3.36: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central en el panel frontal del Drive Mawdsley's.....	131
Figura 3.37: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).....	132
Figura 3.38: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).....	132
Figura 3.39: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).....	133
Figura 3.40: Plano eléctrico general del drive Mawdsley's	134
Figura 3.41 Conexión de la punta de prueba de corriente para adquirir la medición eficaz de la corriente del primario del transformador monofásico PTREC.38	135
Figura 3.42 Oscilograma que muestra la medición eficaz de la corriente del primario del transformador monofásico	135

Figura 3.43 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α	137
Figura 3.44 Oscilograma que muestra la medición de voltaje y corriente promedio de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central con $\alpha=26.5^\circ$ y carga RL. Límite entre conducción continua y discontinua.	138
Figura 3.45 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de conducción γ	138
Figura 3.46 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de extinción β	139
Figura 3.47 Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado.....	140
Figura 3.48: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley's	141
Figura 3.49: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α (CH1: vin, CH2: vout).....	142
Figura 3.50: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa semicontrolado (CH1: vout, CH2: iout).....	142

- Figura 3.51: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semicontrolado (CH1: vout, CH2: iout)..... 143
- Figura 3.52 Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semicontrolado (CH1: vout, CH2: iout)..... 143
- Figura 3.53 Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out}(AC)$) en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout). 144
- Figura 3.54 Oscilograma de las señales de voltaje de entrada y corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado (CH1: vin, CH2: in). 145
- Figura 3.55 Medición de THD de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434..... 146
- Figura 3.56 Componente promedio de la corriente de entrada en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434..... 146
- Figura 3.57 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa

semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434.....	147
Figura 3.58 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434.....	147
Figura 3.59 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico empleando el analizador de energía Fluke 434.....	149
Figura 3.60 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga resistiva.....	149
Figura 3.61 Oscilograma que muestra la medición promedio de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL.....	151
Figura 3.62 Oscilograma que muestra la medición del intervalo de conducción en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL.....	151
Figura 3.63 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Vout)	153

Figura 3.64 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Iout) 153

Figura 3.65 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith1) 154

Figura 3.66 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith3) 154

Figura 3.67 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Id4) 155

Figura 3.68 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Id6) 155

Figura 3.69 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo

puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth1)	156
Figura 3.70 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth3)	156
Figura 3.71 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vd4)	157
Figura 3.72 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vd6)	157
Figura 3.73 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: VL)	158
Figura 3.74 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=730\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout)	159

Figura 3.75 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout) 159

Figura 3.76 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=110\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout) 160

Figura 3.77 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=0$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout) 161

Figura 3.78 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout) 161

Figura 3.79 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=120$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout) 162

Figura 3.80: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa totalmente controlado 163

Figura 3.81: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley's.	163
Figura 3.82: Desfase existente entre los pulsos P6 y P3 del generador de pulsos del drive Mawdsley's.	164
Figura 3.83: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva (CH1: vout, CH2: iout).....	165
Figura 3.84: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado (CH1: vin, CH2: iin).	166
Figura 3.85: Medición de THD de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434167	
Figura 3.86: Componente promedio de la corriente de entrada en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434.....	167
Figura 3.87: Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434	168

Figura 3.88: Parámetros de la la tercera armónica de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434	168
Figura 3.89: Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico empleando el analizador de energía Fluke 434	169
Figura 3.90: Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$	170
Figura 3.91: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α (CH1: vin, CH2: vout)	171
Figura 3.92: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva inductiva (CH1: vout, CH2: iout)	171
Figura 3.93: Oscilograma que muestra la medición del intervalo de conducción en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL (CH1: vout, CH2: iout)	172

- Figura 3.94: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL (CH1: Vin, CH2: Vout) 173
- Figura 3.95: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Iout) 174
- Figura 3.96: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith1) 174
- Figura 3.97: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith3) 175
- Figura 3.98: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith4) 175
- Figura 3.99: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente

de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith6)	176
Figura 3.100: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth1)	176
Figura 3.101: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth3)	177
Figura 3.102: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth4)	177
Figura 3.103: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth6)	178
Figura 3.104: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: VL)	178

- Figura 3.105: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vout) 180
- Figura 3.106: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Iout)..... 181
- Figura 3.107: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Ith1) 181
- Figura 3.108: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Ith3) 182
- Figura 3.109: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Ith4) 182
- Figura 3.110: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo

puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: lth6) 183

Figura 3.111: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vth1) 183

Figura 3.112: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vth3) . 184

Figura 3.113: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vth4) 184

Figura 3.114: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vth6) . 185

Figura 3.115: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: VL) 185

Figura 3.116: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y corriente en D1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{d1})	186
Figura 3.117: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y voltaje A-K en D1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: V_{d1})	186
Figura 4.1: Modelo eléctrico equivalente de un motor DC.	189
Figura 4.2: Resumen gráfico del comportamiento de las variables eléctricas y mecánicas del motor DC al ocurrir un aumento de carga.	191
Figura 4.3: Drive Terco MV4200	192
Figura 4.4: Conector 220V e interruptor principal del drive Terco MV4200.	192
Figura 4.5: Bloques principales de un drive DC mostrados en el panel frontal del drive Terco MV4200.	194
Figura 4.6: Diagrama electrónico del drive Terco MV4200.	195
Figura 4.7: Bloques de un drive DC en el diagrama electrónico del drive Terco MV4200.	195
Figura 4.8: Vista interior del drive Terco MV4200.	196
Figura 4.9: Semiconductores del circuito de alimentación del circuito de armadura en el drive Terco MV4200.	196

Figura 4.10: Datos del fabricante de la bobina en serie con el circuito de armadura del motor. Drive Terco MV4200..... 197

Figura 4.11: Transformador del circuito de control, transformador de corriente y puente rectificador del circuito de campo. Drive Terco MV4200..... 197

Figura 4.12: Sección izquierda de la tarjeta electrónica: circuito disparador y fuentes de voltaje positiva y negativa. Drive Terco MV4200..... 198

Figura 4.13: Sección centro-izquierda de la tarjeta electrónica: circuito controlador de corriente. Drive Terco MV4200. 199

Figura 4.14: Sección centro-derecha de la tarjeta electrónica: circuito controlador de velocidad y una sección del circuito de Drive Terco MV4200. 200

Figura 4.15: Sección derecha de la tarjeta electrónica: circuito de ajuste de referencia de doble polaridad, de captación de voltaje de armadura, de captación del voltaje del taco-generator AC. Drive Terco MV4200.... 201

Figura 4.16: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición intermedia. Drive Terco MV4200. 202

Figura 4.17: Resultados de la simulación del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición intermedia. Drive Terco MV4200. 203

Figura 4.18: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición superior. Drive Terco MV4200.	204
Figura 4.19: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición superior. Drive Terco MV4200.	205
Figura 4.20: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición inferior. Drive Terco MV4200.	205
Figura 4.21: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7K Ω en posición inferior. Drive Terco MV4200.	206
Figura 4.22: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7K Ω en posición intermedia. Drive Terco MV4200.	207
Figura 4.23: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7K Ω en posición intermedia. Drive Terco MV4200.	207
Figura 4.24: Esquemático del circuito de disparo simplificado. Vref=8V. Drive Terco MV4200.	208
Figura 4.25: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con Vref=8V. Drive Terco MV4200.	209

Figura 4.26: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $V_{ref}=4V$. Drive Terco MV4200.	210
Figura 4.27: Esquemático del circuito de disparo simplificado. $V_{ref}=8V$. $R5=220K\Omega$ desconectada. Drive Terco MV4200.	211
Figura 4.28: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $V_{ref}=8V$ y $R5=220K\Omega$ desconectada. Terco MV4200.	212
Figura 4.29: Esquemático del circuito de disparo simplificado. $V_{ref}=8V$. $R5=220K\Omega$ modificada a $3K\Omega$ y conectada al nodo B. Drive Terco MV4200.	213
Figura 4.30: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $R=220K\Omega$ modificada a $3K\Omega$ y conectada al nodo B. Drive Terco MV4200.	213
Figura 4.31: Esquemático del circuito de disparo simplificado. $V_{ref}=8V$. $R5=220K\Omega$ sin influir en la carga de C1. Drive Terco MV4200.	214
Figura 4.32: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $R5=220K\Omega$ sin influir en la carga de C1. Drive Terco MV4200.	214
Figura 4.33: Esquemático del circuito de disparo simplificado con $R5=220K\Omega$ conectada para observar el comportamiento de Q1. Drive Terco MV4200.	217
Figura 4.34: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $R5=220K\Omega$ conectada para observar el comportamiento de Q1. Drive Terco MV4200.	218

Figura 4.35: Corriente de valle del UJT 2N2646. Drive Terco MV4200.	220
Figura 4.36: Curva de la característica estática del emisor de un UJT.....	221
Figura 4.37: Conexiones entre el drive y la caja de borneras del motor DC MV1006 para la variación de velocidad del mismo en lazo abierto.	222
Fig. 4.38: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en lazo abierto.....	223
Fig. 4.39: Oscilograma que muestra señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Va+a-).....	224
Fig. 4.40: Oscilograma que muestra señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Va+ g).....	224
Fig. 4.41: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Vg a+).....	225
Fig. 4.42: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Iarmadura)	225
Fig. 4.43: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: V7)	226
Fig. 4.44: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: V8)	226
Fig. 4.45: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: V3).....	227

Fig. 4.46: Conexiones en el drive. Conexiones hacia la caja de borneras del motor DC MV1006 y el taco-generador MV1025 para el control de velocidad por tacómetro.....	228
Figura 4.47: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador.	230
Figura 4.48: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador.	231
Figura 4.49: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0.1$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador.	231
Figura 4.50: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0.1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador	232
Figura 4.51: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador	232
Figura 4.52: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador	233

Figura 4.53: Oscilograma que muestra la inestabilidad de la velocidad del motor para una ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0$	234
Figura 4.54: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.2$ y $W_I=1$ en el control de velocidad del método por taco-generador.....	237
Figura 4.55: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador.	237
Figura 4.56: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.7$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador	238
Figura 4.57: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=1$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador	238
Figura 4.58: Oscilograma que muestra la inestabilidad del controlador de corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.08$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador	239
Figura 4.59: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=0$ en el control de velocidad por taco-generador	240

Figura 4.60: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador	240
Figura 4.61: Oscilograma que muestra la inestabilidad de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$ en el control de velocidad por taco-generador	241
Figura 4.62: Conexiones en el drive MV4200 indicando la polaridad de voltaje y sentido de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente para el control de velocidad por el método de taco-generador.....	242
Figura 4.63: Medición de voltaje negativo en el puente 5 para comprobación del sentido de la corriente de referencia del controlador de corriente. (Ch1: V5)	244
Figura 4.64: Conexiones en el drive. Conexiones hacia la caja de borneras del motor DC MV1006 y el taco-generador MV1025 para el control de velocidad por el método IXR.....	245
Figura 4.65: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por el método IXR.....	247
Figura 4.66: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=0$ en el control de velocidad por el método IXR.....	249

Figura 4.67: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por el método IXR.....	250
Figura 4.68: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$ en el control de velocidad por el método IXR.....	250
Figura 4.69: Punto de suma para la formación del error hacia el controlador de velocidad en el método IxR.....	251
Figura 4.70: Modificación del punto de suma para la formación del error hacia el controlador de velocidad en el método IXR.	252
Figura 4.71: Conexiones en el drive MV4200 indicando la polaridad de voltaje y sentido de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente para el control de velocidad por el método IXR.....	253
Figura 5.1: Paneles eléctricos Fincor: original (izquierda) y réplica (derecha).	255
Figura 5.2: Parte posterior del panel eléctrico Fincor original.	256
Figura 5.3: Vista frontal del panel eléctrico Fincor.	257
Figura 5.4: Disyuntor 10A, porta-fusibles 32A y contactor con contacto auxiliar.	257
Figura 5.5: Fusible rápido de 10A.	258
Figura 5.6: Información del contactor de 10A.	258

Figura 5.6: Relés 1, 2 y 3.....	259
Figura 5.7: Características de los relés 1 y 2 y numeración de conexiones de los contactos auxiliares.....	259
Figura 5.8: Socket para la conexión de los relés 1 y 2.....	260
Figura 5.9: Características del relé 3 y numeración de conexiones de los contactos auxiliares.	260
Figura 5.10: Socket para la conexión del relé 3.....	261
Figura 5.11: Porta-fusibles de campo y armadura, luz piloto de habilitación de voltaje de campo y borneras de conexión hacia el taco-generador, campo y armadura del motor DC.....	262
Figura 5.12: Selector de frenado SEL, las botoneras ON, OFF, MARCHA, PARO, PARO CONTROLADO, JOG y el potenciómetro de referencia de velocidad.....	262
Figura 5.13: Borneras para control remoto y puentes externos.	263
Figura 5.14: Diagrama eléctrico A: conexión hacia las borneras de fuerza TB1 y TB7 de las tarjetas electrónicas superior e inferior del drive 2236 MKII.	264
Figura 5.15: Diagrama eléctrico B: conexión hacia las borneras de fuerza TB2 Y TB5 de las tarjetas electrónicas superior e inferior del drive 2236 MKII	264
Figura 5.16: Vista frontal del drive FINCOR.....	268
Figura 5.17: Circuito electrónico del DRIVE 2236 MKII FINCOR.....	269

Figura 5.18: Circuitos de fuerza de campo y de armadura; y protecciones del drive 2236 MKII FINCOR.....	270
Figura 5.19: Ocho tiristores y transformadores de pulso del drive 2236 MKII FINCOR.....	271
Figura 5.20: Resistencias <i>shunt</i> , diodos del puente rectificador no controlado, terminales E1, E2, E4 y el fusible principal del drive 2236 MKII FINCOR.	271
Figura 5.21: Circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar.....	272
Figura 5.22: Circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar.....	273
Figura 5.23: Tarjeta de frenado dinámico: ajuste del puente J1 en 230V...	273
Figura 5.24: Circuito sincronizador y generador de pulsos de disparo con aislamiento.....	274
Figura 5.25: Dip-switch SW3.....	274
Figura 5.26: Circuitos de captación de señales de realimentación: captación de corriente por shunt resistivo con bloque de aislamiento (escalamiento de corriente) y voltaje de armadura con amplificador diferencial y puentes de escalamiento.....	275
Figura 5.27: Puentes de escalamiento J2, J3, J6 y J7 junto con el potenciómetro MAX SPEED e IR-COMP.....	276
Figura 5.28: Circuitos de monitoreo de voltaje y corriente de armadura....	276

Figura 5.29: Circuito de escalamiento para el tacogenerador analógico. ...	277
Figura 5.30: Circuito de detección de pérdida de tacómetro para cambio automático a método de control I x R.	277
Figura 5.31: Circuito de control de aceleración y desaceleración.	278
Figura 5.32: Potenciómetros ACCEL, DECEL, VOLTSTAB, FCURSTAB, RCURSTAB.	279
Figura 5.33: Controladores PI de velocidad y de corriente.	279
Figura 5.34: Identificación de pines del potenciómetro FwdCURLMT.	280
Figura 5.35: Conexión entre panel eléctrico FINCOR y la máquina DC MV1006	282
Figura 5.36: Variación de la velocidad ante cambios de carga sin conectar el taco-generador DC al panel FINCOR.	283
Figura 5.37: Variación de la velocidad ante cambios de carga con el taco-generador DC conectado al panel FINCOR.....	285
Figura 5.38: Frenado regenerativo.....	286
Figura 5.39: Control de velocidad por el método IxR.	287
Figura 5.40: Frenado en rueda libre (Ch1: Varm; Ch2: Iarm)	288
Fig. 5.41: Frenado dinámico (Ch1: Varm; Ch2: Iarm)	288
Fig. 5.42: Frenado regenerativo (Ch1: Varm; Ch2: Iarm).....	289
Figura 6.1: Conexión del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's ..	293
Figura 6.2 Conexión del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's.....	294

Figura 6.3 Conexión de un diodo de paso libre empleando el interruptor MV1500	294
Figura 6.4: Panel inferior del drive Mawdsley's mostrando las bobinas a6-a5 y a2-a1 entre las cuales se requiere observar, en el osciloscopio, el desfase en sus voltajes.....	295
Figura 6.5: Medición eficaz del voltaje en las bobinas a6-a5 y a2-a1 (CH1: Va6-a5; CH2: Va2-a1)	296
Figura 6.6: Medición eficaz del voltaje en las bobinas a6-a5 y a2-a1 (CH1: Va6-a5; CH2: Va2-a1)	296
Figura 6.7: Desfase entre el voltaje en las bobinas a6-a5 y el pulso P6 cuando REFERENCE es máximo (CH1: Va6-a5; CH2: Vp6)	297
Figura 6.8: Desfase entre el voltaje en las bobinas a6-a5 y el pulso P6 cuando REFERENCE es mínimo (CH1: Va6-a5; CH2: Vp6)	298
Figura 6.9: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos.....	299
Figura 6.10: Conexiones del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos....	300
Figura 6.11: Conexiones del convertidor convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos en el panel frontal del Drive Mawdsley's	301

Figura 6.12: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)	302
Figura 6.13: Oscilograma que muestra tres crestas en el voltaje de salida del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)	303
Figura 6.14: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).....	303
Figura 6.15: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).....	304
Figura 6.16: Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).....	304
Figura 6.17: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).....	305
Figura 6.18 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434.....	307
Figura 6.19 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos empleando el analizador de energía Fluke 434	307

Figura 6.20 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos.....	308
Figura 6.21 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos empleando el analizador de energía Fluke 434	309
Figura 6.22 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434	309
Figura 6.23 THD y armónicos impares de la corriente de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	310
Figura 6.24 Medición de THD de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	311
Figura 6.25 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	311
Figura 6.26 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	312

Figura 6.27 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	312
Figura 6.28 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	313
Figura 6.29 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	313
Figura 6.30 Parámetros de la quinta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	314
Figura 6.31 Parámetros de la sexta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	314
Figura 6.32 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase A convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$...	316
Figura 6.33 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase B en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	317

Figura 6.34 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase C en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	317
Figura 6.35 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	318
Figura 6.36 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=60^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos. (CH1: Va6-a5, CH2: Vout).	319
Figura 6.37 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout). Conducción continua.	320
Figura 6.38 Oscilograma que muestra el voltaje de la bobina a6-a5 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Va6-a5, CH2: Vout).	321
Figura 6.39 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb1-b3).	322

- Figura 6.40 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH1 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth1, CH2: Vb1-b3).
..... 322
- Figura 6.41 Oscilograma que muestra la corriente en TH1 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Ith1, CH2: Vb1-b3).
..... 323
- Figura 6.42 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb2-b1)..... 323
- Figura 6.43 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH2 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth2, CH2: Vb2-b1).
..... 324
- Figura 6.44 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH3 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Ith2, CH2: Vb2-b1).
..... 324
- Figura 6.45 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B3-B2 en el convertidor AC-DC trifásico de media

onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb3-b2).....	325
Figura 6.46 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH3 y el voltaje de línea-línea B3-B2 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth3, CH2: Vb3-b2).	325
Figura 6.47 Oscilograma que muestra el voltaje de línea-neutro B1-B0 y el voltaje en la resistencia en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vb1-b0, CH2: Vr).	326
Figura 6.48 Oscilograma que muestra el voltaje de línea-neutro B1-B0 y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vb1-b0, CH2: VI).	326
Figura 6.49: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico).....	328
Figura 6.50: Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje hexafasica en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos.	329
Figura 6.51: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma	

central del transformador trifásico) en el panel frontal del Drive Mawdsley's	330
Figura 6.52: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (CH1: V a4-a3 + a2-a1; CH2: Vout)	331
Figura 6.53: Oscilograma que muestra seis crestas en el voltaje de salida del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)	332
Figura 6.54: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout). ...	332
Figura 6.55: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout). ...	333
Figura 6.56: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout). ...	333
Figura 6.57: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	334
Figura 6.58 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434.....	335

Figura 6.59 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos en el analizador de energía Fluke 434	336
Figura 6.60 Transformador trifásico PTREC. 40 instalado en la parte posterior inferior del drive Mawdsley's.....	337
Figura 6.61 Terminales del primario del transformador trifásico PTREC. 40 del drive Mawdsley's.....	337
Figura 6.62 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al primario del transformador trifásico PTREC. 40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	338
Figura 6.63 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	339
Figura 6.64 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	339
Figura 6.65 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	340

Figura 6.66 THD y armónicos impares de la corriente de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	340
Figura 6.67 Medición de THD de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	341
Figura 6.68 Medición DC de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	342
Figura 6.69 Medición de la armónica fundamental de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	342
Figura 6.70 Medición de la segunda armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	343
Figura 6.71 Medición de la tercera armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	343
Figura 6.72 Medición de la cuarta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	344

Figura 6.73 Medición de la quinta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	344
Figura 6.74 Medición de la sexta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	345
Figura 6.75 Medición de la séptima armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	345
Figura 6.76 Parámetros de los voltajes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	347
Figura 6.77 Parámetros de las corrientes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos	348
Figura 6.78 Parámetros de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	348
Figura 6.79 Parámetros de la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	349

Figura 6.80 Parámetros de la corriente de entrada a la fase C del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos.....	349
Figura 6.81 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	350
Figura 6.82 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a_{2-a1}$, CH2: V_{out}).	352
Figura 6.83 Oscilograma que muestra el voltaje de salida en $\alpha=0^\circ$ previo al ajuste de $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a_{2-a1}$, CH2: V_{out}).....	352
Figura 6.84 Oscilograma que muestra un segundo método de ajuste del ángulo de disparo en $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a_{2-a1}$, CH2: V_{out}).....	353
Figura 6.85 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}). Conducción continua.	353
Figura 6.86 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{s1-s0} , CH2: V_{out}).....	354

- Figura 6.87 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout)..... 355
- Figura 6.88 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).
..... 355
- Figura 6.89 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje A-K de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1)..... 356
- Figura 6.90 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 con las referencias de cada canal en la misma grilla horizontal en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1)..... 358
- Figura 6.91 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s6, CH2: Vth1).
..... 358
- Figura 6.92 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith2, CH2: Vth1). 359

- Figura 6.93 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo de TH2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth2, CH2: Vth1). 359
- Figura 6.94 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2, CH2: Vth1). 360
- Figura 6.95 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith3, CH2: Vth1). 360
- Figura 6.96 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo de TH3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth3, CH2: Vth1). 361
- Figura 6.97 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s4, CH2: Vth1). 361
- Figura 6.98 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith4, CH2: Vth1). 362

- Figura 6.99 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth4, CH2: Vth1). 362
- Figura 6.100 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s5, CH2: Vth1). 363
- Figura 6.101 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith5, CH2: Vth1). 363
- Figura 6.102 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth5, CH2: Vth1). 364
- Figura 6.103 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s5, CH2: Vth1). 364
- Figura 6.104 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media

onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith6, CH2: Vth1).....	365
Figura 6.105 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth5, CH2: Vth1).....	365
Figura 6.106 Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado.	366
Figura 6.107 Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje trifásica en Y sin neutro en el convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado.	367
Figura 6.108: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado en el panel frontal del drive Mawdsley's.....	368
Figura 6.109: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout).....	369
Figura 6.110: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo α y el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout).....	370

- Figura 6.111: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)..... 370
- Figura 6.112: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)..... 371
- Figura 6.113: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)..... 371
- Figura 6.114: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout). 372
- Figura 6.115 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434 374
- Figura 6.116 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ en el analizador de energía Fluke 434 374
- Figura 6.117 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 375

- Figura 6.118 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 376
- Figura 6.119 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 376
- Figura 6.120 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 377
- Figura 6.121 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 378
- Figura 6.122 Medición de THD de la corriente del secundario del del transformador trifásico en la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 378
- Figura 6.123 Medición DC de la corriente del secundario del del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 379
- Figura 6.124 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$. 379

Figura 6.125 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	380
Figura 6.126 Medición de la tercera armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	380
Figura 6.127 Medición de la cuarta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	381
Figura 6.128 Medición de la quinta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	381
Figura 6.129 Medición de la sexta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	382
Figura 6.130 Medición de la séptima armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	382
Figura 6.131 Medición de la octava armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	383

Figura 6.132 Parámetros de los voltajes de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	384
Figura 6.133 Parámetros de los corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	385
Figura 6.134 Parámetros eléctricos de la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	385
Figura 6.135 Parámetros eléctricos de la fase B del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado	386
Figura 6.136 Parámetros eléctricos de la fase C del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	386
Figura 6.137 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	387
Figura 6.138: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)	388

Figura 6.139: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)	388
Figura 6.140: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)	389
Figura 6.141: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1)	389
Figura 6.142: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Id6)	390
Figura 6.143: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vd6).....	391
Figura 6.144: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S1-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vs1-s3)	392
Figura 6.145: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vout).....	392

- Figura 6.146: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith1) 393
- Figura 6.147: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth1) 393
- Figura 6.148: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Id2) 394
- Figura 6.149: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vd2) 394
- Figura 6.150: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S2-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vs1-s3) 395
- Figura 6.151: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vout)..... 396
- Figura 6.152: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith3) 396

Figura 6.153: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth3).....	397
Figura 6.154: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Id2).....	397
Figura 6.155: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vd2).....	398
Figura 6.156: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S2-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vs2-s3)	399
Figura 6.157: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vout).....	399
Figura 6.158: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith3).....	400
Figura 6.159: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth3).....	400

Figura 6.160: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Id4)	401
Figura 6.161: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vd4)	401
Figura 6.162: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs2-s1)	402
Figura 6.163: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vout).....	403
Figura 6.164: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith5)	403
Figura 6.165: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth5)	404
Figura 6.166: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Id4)	404

Figura 6.167: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vd4)	405
Figura 6.168: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S3-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs3-s2)	406
Figura 6.169: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vout).....	406
Figura 6.170: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith5)	407
Figura 6.171: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth5)	407
Figura 6.172: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Id6)	408
Figura 6.173: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo en D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vd6)	408

Figura 6.174 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vout; CH2: Iout)....	409
Figura 6.175: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador.....	411
Figura 6.176: Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje trifásica en Y sin neutro en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador	411
Figura 6.177: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador en el panel frontal del drive Mawdsley's	412
Figura 6.178: Oscilograma que muestra el voltaje de salida para $\alpha=0^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)	413
Figura 6.179: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador y carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)	414
Figura 6.180: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout).....	414

- Figura 6.181: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)..... 415
- Figura 6.182: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)..... 415
- Figura 6.183: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout)..... 416
- Figura 6.184 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434..... 418
- Figura 6.185 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$, en el analizador de energía Fluke 434..... 418
- Figura 6.186 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador..... 419

Figura 6.187 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ 420

Figura 6.188 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ 420

Figura 6.189 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 421

Figura 6.190 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 421

Figura 6.191 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 422

Figura 6.192 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ 423

Figura 6.193 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	423
Figura 6.194 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	424
Figura 6.195 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	424
Figura 6.196 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	425
Figura 6.197 Medición de la quinta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	425
Figura 6.198 Medición de la sexta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	426
Figura 6.199 Medición de la séptima armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	426

Figura 6.200 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	428
Figura 6.201 Parámetros de los corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	428
Figura 6.202 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	429
Figura 6.203 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	429
Figura 6.204 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	430
Figura 6.205 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	430
Figura 6.206: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)	431

- Figura 6.207: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)..... 432
- Figura 6.208: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)..... 432
- Figura 6.209: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1) 433
- Figura 6.210: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith6)..... 433
- Figura 6.211: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth6) 434
- Figura 6.212: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S1-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vs1-s3) 435

- Figura 6.213: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vout) 435
- Figura 6.214: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith1)..... 436
- Figura 6.215: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth1)436
- Figura 6.216: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith2)..... 437
- Figura 6.217: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth2)437
- Figura 6.218: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S2-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vs1-s3) 438
- Figura 6.219: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vout) 439

- Figura 6.220: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith3)..... 439
- Figura 6.221: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth3) 440
- Figura 6.222: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith2)..... 440
- Figura 6.223: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth2)441
- Figura 6.224: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S2-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vs2-s3) 442
- Figura 6.225: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vout) 442

- Figura 6.226: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith3)..... 443
- Figura 6.227: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth3)443
- Figura 6.228: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith4)..... 444
- Figura 6.229: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth4) 444
- Figura 6.230: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs2-s1) 445
- Figura 6.231: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vout) 446

- Figura 6.232: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith5)..... 446
- Figura 6.233: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth5)447
- Figura 6.234: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Ith4)..... 447
- Figura 6.235: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth4)448
- Figura 6.236: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S3-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs3-s2) 449
- Figura 6.237: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vout) 449
- Figura 6.238: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith5)..... 450

- Figura 6.239: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth5)450
- Figura 6.240: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith6)..... 451
- Figura 6.241: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo en TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth6)451
- Figura 6.242 Conexión entre el drive Mawdsley's y el motor DC MV1006 junto con la fuente de alimentación MV1300..... 452
- Figura 6.243: Oscilograma que muestra el voltaje de salida para $\alpha=0^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout) (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout) 453
- Figura 6.244: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout) 454
- Figura 6.245: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa

totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout).....	454
Figura 6.246: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout).....	456
Figura 6.247: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)	456
Figura 6.248: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)	457
Figura 6.249: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1).....	457
Figura 6.250: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith6)	458

Figura 6.251: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth6).....	458
Figura 6.252: Oscilograma que muestra la medición de la FEM en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout).....	459
Figura 7.1: Paneles eléctricos Mentor: original (izquierda) y réplica (derecha).	462
Figura 7.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Mentor: original (izquierda) y réplica (derecha).	462
Figura 7.3: Vista frontal del panel eléctrico Mentor.	463
Figura 7.4: Disyuntor de 40A y tres porta-fusibles principales.	464
Figura 7.5: Contactor principal ó de alimentación de 40A.....	464
Figura 7.6: Características del contactor principal ó de alimentación.	465
Figura 7.7: Borneras para conexión hacia las terminales de control del drive.	465
Figura 7.8: Porta-fusible para la armadura, para el circuito de campo y dos porta-fusibles para alimentar el panel de operador y dos relés auxiliares	466
Figura 7.9: Diagrama de terminales y socket de los relés auxiliares.	467

Figura 7.10: Botoneras Panel ON, panel OFF y JOG.	467
Figura 7.11: Selectores OFF/ON, field enable, run forward, drive enable, AN1 AN2 y manual/auto; potenciómetro de precisión de 10KΩ set point speed.	468
Figura 7.12: Terminales para conexión de armadura, campo y taco-generador DC.	468
Figura 7.13: Interfaz de programación del drive Mentor.	469
Figura 7.14: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico replica Mentor.	470
Figura 7.15: Parte A del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor.	471
Figura 7.16: Parte B del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor.	472
Figura 7.17: Especificaciones técnicas del drive Mentor MP45A4.	475
Figura 7.18: Ubicación del par de protistores para el campo.	476
Figura 7.19: Par de protistores para el campo.	476
Figura 7.20: Ajuste de los selectores del panel eléctrico Mentor previo a la energización de la interfaz de usuario.	477
Figura 7.21: Conexiones entre el panel eléctrico Mentor, el taco-generador DC MV1024 y la máquina DC MV1006.	478
Figura 7.22: Mensaje que se muestra en la interfaz del drive al encenderse.	478

Figura 7.23: Reinicio del drive con los valores de fábrica.	480
Figura 7.24: Convertidor PC a drive USB-485.	481
Figura 7.25: Mini disco compacto que contiene el driver del convertidor.	481
Figura 7.26: Puerto RS-485 en el drive Mentor MP45A4.	481
Figura 7.27: Configuración de la ventana Startup.	483
Figura 7.28: Mensaje de recomendación.	483
Figura 7.29: Mensaje informativo sobre el guardado del proyecto.	483
Figura 7.30: Ventana principal del software CT-Soft.	484
Figura 7.31: Acceso a las propiedades de la comunicación.	484
Figura 7.32: Ventana Drive Properties.	485
Figura 7.33: Ventana Communication Settings.	485
Figura 7.34: Propiedades del puerto USB Serial Port (COM1).	486
Figura 7.35: Ventana que compara el modelo de drive en el software y el modelo de drive conectado al software.	487
Figura 7.36: Ventana de advertencia.	487
Figura 7.37: Ventana informativa indicando la creación de un archivo de respaldo.	487
Figura 7.38: Ventana principal del software CT-Soft indicando que el software se encuentra conectado al drive.	488
Figura 7.39: Ventana de bienvenida al Drive Setup Wizard.	489
Figura 7.40: Ventana Drive Properties del Drive Setup Wizard.	489

Figura 7.41: Ventana confirmación sobre la lectura de la configuración del drive.....	490
Figura 7.42: Ventana Motor Setup del Drive Setup Wizard.	490
Figura 7.43: Ventana Speed profile del Drive Setup Wizard.....	491
Figura 7.44: Ventana Speed profile del Drive Setup Wizard.....	492
Figura 7.45: Ventana Current Limits del Drive Setup Wizard.....	492
Figura 7.46: Ventana Feedback del Drive Setup Wizard.	493
Figura 7.47: Configuración de la pestaña Test Feedback dentro de la Ventana Feedback del Drive Setup Wizard.	494
Figura 7.48: Errores al transferir parámetros al drive previo a la prueba de realimentación (Test Feedback).	495
Figura 7.49: Mensaje indicando que la transferencia ha sido completada y que se requiere reiniciar el drive.....	495
Figura 7.50: Mensaje de confirmación de seguridad y de parámetros durante la prueba de realimentación.....	496
Figura 7.51: Mensaje que indica el progreso de la prueba de realimentación.	496
Figura 7.52: Variación de la velocidad y de la corriente de armadura del motor operando en vacío durante la prueba de realimentación (Ch1: Vdc-velocidad, Ch2: Idc-armadura).....	497
Figura 7.53: Ventana Safety Check Details.	498

Figura 7.54: Variación de la velocidad y de la corriente de armadura del motor operando en vacío durante la prueba de realimentación al intercambiar las terminales del taco-generador (Ch1: Vdc-velocidad, Ch2: Idc-armadura).....	499
Figura 7.55: Configuración de la ventana References+Control.	500
Figura 7.56: Configuración de la ventana Analog and Control Inputs.....	500
Figura 7.57: Ventana Input terminal Summary.	501
Figura 7.58: Ventana Ramps.	501
Figura 7.59: Ventana S Ramps.....	502
Figura 7.60: Ventana final del Drive Setup Wizard.	502
Figura 7.61: Ventana final del Drive Setup Wizard donde aparece la opción de guardar los parámetros en la memoria del drive.....	503
Figura 7.62: Ventana para selección del tipo de Auto-ajuste o Autotune....	505
Figura 7.63: Ventana que solicita que se verifique que el motor puede rotar de forma segura.....	506
Figura 7.64: Ventana Communications dentro del asistente de auto-ajuste.	506
Figura 7.65: Ventana Current Loop and Encoder Phasing dentro del asistente de auto-ajuste.	507
Figura 7.66: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de armadura durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-armadura; Ch2: Idc-armadura)	508

Figura 7.67: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-armadura; Ch2: Idc-armadura).....	508
Figura 7.68: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de campo durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-campo; Ch2: Idc-campo).....	509
Figura 7.69: Forma de onda del voltaje y de la corriente de campo durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-campo; Ch2: Idc-campo)	509
Figura 7.70: Auto-ajuste finalizado exitosamente.	510
Figura 7.71: Guardar parámetros en el drive luego del auto-ajuste.	511
Figura 7.72: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection.	513
Figura 7.73: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de armadura durante el arranque y frenado empleando el potenciómetro de precisión como medio para variar la velocidad (Ch1: Vdc-armadura; Ch2: Idc-armadura).	514
Figura 7.74: Variación de la velocidad y de la corriente DC de armadura durante el arranque y frenado empleando el potenciómetro de precisión como medio para variar la velocidad (Ch1: Vdc-taco-generador; Ch2: Idc-armadura).	514
Figura 7.75: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura durante un instante en la etapa de frenado. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)	515

Figura 7.76: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection para habilitar el cambio de velocidad empleando la interfaz de usuario.....	516
Figura 7.77: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection para seleccionar el modo PadRef.	518
Figura 7.78: Configuración del menú Motor Control dentro del diagrama de bloque 5 Motor and Field Control para habilitar el funcionamiento en lazo abierto del motor.....	519
Figura 7.79: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 50. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)	520
Figura 7.80: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 70. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)	520
Figura 7.81: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 90. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)	521
Figura 7.82: Configuración del menú Torque and Current control dentro del diagrama de bloque 4 del mismo nombre.....	523
Figura 7.83: Configuración del menú Speed Feedback dentro del diagrama de bloque 3 Speed Feedback and Speed control.....	524

Figura 7.84: Configuración del menú Ramps dentro del diagrama de bloque 2 del mismo nombre.	525
Figura 7.85: Configuración del menú Reference control dentro del diagrama de bloque 1 Speed Reference selection, limits and filters.	525
Figura 7.86: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed Reference selection, limits and filters.	526
Figura 7.87: Trip Fbr indicado por el software CT-Soft.	527
Figura 7.88: Variación de la velocidad y de la corriente DC durante el arranque, al operar en vacío, aumento de carga mecánica hasta su operación a plena carga, retiro de la carga mecánica, operación en vacío y detención del motor empleando el control de velocidad por taco-generador DC	528
Figura 7.89: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.10 Kp1 igual a 0.001.....	530
Figura 7.90: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 Ki1 igual a 10 y operación del motor en vacío.	532
Figura 7.91: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 Ki1 igual a 1 y operación bajo cierta carga mecánica.	532

Figura 7.92: Enganche de una punta de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC en el cable con marquilla 24.	534
Figura 7.93: Forma de la corriente de entrada de una fase del drive y corriente de armadura (Ch1: I-entrada; Ch2: I-armadura).	535
Figura 7.94: Configuración del analizador de energía Fluke 434.....	535
Figura 7.95: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.	536
Figura 7.96: Conexión de las puntas de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC en los cables de alimentación al drive Mentor MP45A4	536
Figura 7.97: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor en vacío.	537
Figura 7.98: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor en vacío.	537
Figura 7.99: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor a plena carga.	538
Figura 7.100: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor a plena carga.	539
Figura 7.101: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor en vacío.	539
Figura 7.102: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor en vacío.	540

Figura 7.103: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor a plena carga.	541
Figura 7.104: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor a plena carga.	541
Figura 7.105: Modelamiento térmico del motor empleando el drive Mentor MP45A4.	542
Figura 7.106: Configuración del menú Speed Feedback dentro del diagrama de bloque 3 Speed Feedback and Speed control	544
Figura 7.107: Cálculo del parámetro 5.04 Estimated Speed del menú Motor control dentro del diagrama de bloque 5 Motor and field control.	544
Figura 7.108: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de armadura y sin modificar los parámetros de los controladores de velocidad ni de corriente.	546
Figura 7.109: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y sin modificar los parámetros de los controladores de velocidad ni de corriente.	547
Figura 7.110: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 4.13 Current controller P gain en 1868.	548

- Figura 7.111: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 4.13 Current controller P gain en 3368. 548
- Figura 7.112: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.006..... 549
- Figura 7.113: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.002..... 550
- Figura 7.114: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor a plena carga y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.002. 550
- Figura 7.115: Variación de la velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de velocidad por estimación de la misma..... 551
- Figura 7.116: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.11 Speed controller integral gain en 0.95. 552

Figura 7.117: Menú Reference Selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.....	554
Figura 7.118: Menú Preset Speeds dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.	555
Figura 7.119: Variación de velocidad empleando las velocidades preseleccionadas y el ajuste en 9 del parámetro 1.15 y en 5 del parámetro 1.16.	556
Figura 7.120: Variación de velocidad empleando las velocidades preseleccionadas y el ajuste del parámetro 1.16 en 10.....	556
Figura 7.121: Menú 1b Reference control dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.....	557
Figura 7.122: Visualización, por medio de CT-Soft, del estado de las entradas y salidas tanto digitales como analógicas del drive	558
Figura 7.123: Configuración del diagrama de bloque 4 Torque and Current control para implementar el control de torque.....	559
Figura 7.124: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque y observación del efecto del parámetro 3.08 Overspeed threshold.	560
Figura 7.125: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque y posterior aumento de carga mecánica.	562

Figura 7.126: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque, posterior aumento al máximo del potenciómetro BRAKE FORCE, ajuste al mínimo del mismo y retiro de la señal RUN FORWARD.	563
Figura 7.127: Forma de onda del voltaje y la corriente de armadura con el motor operando bajo carga mecánica que limita la velocidad a 164.3rpm.	564
Figura 7.128: Forma de inserción de la tarjeta inteligente (Smartcard) en el drive MentorMP45A4.	565
Figura 8.1: Conexión monofásica del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's	570
Figura 8.2 Conexión monofásica del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's	571
Figura 8.3: Conexión trifásica del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's	571
Figura 8.4 Conexión trifásica del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's.....	572
Figura 8.5: Circuito de potencia del controlador AC-AC monofásico unidireccional.....	573
Figura 8.6: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el controlador AC-AC monofásico unidireccional y bidireccional	574

Figura 8.7: Conexiones del controlador AC-AC monofásico unidireccional en el panel frontal del drive Mawdsley's	575
Figura 8.8: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=75^\circ$ en el controlador AC-AC monofásico unidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout)	576
Figura 8.9: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).	577
Figura 8.10: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).	577
Figura 8.11: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).	578
Figura 8.12: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	578
Figura 8.13 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional empleando el analizador de energía Fluke 434	579
Figura 8.14 THD y armónicos impares del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$...	580

Figura 8.15 Medición de THD de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	581
Figura 8.16 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$...	581
Figura 8.17 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	582
Figura 8.18 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$...	582
Figura 8.19 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$...	583
Figura 8.20 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$...	583
Figura 8.21 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	584
Figura 8.22 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	585
Figura 8.23 Oscilograma y mediciones promedio en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).	586

Figura 8.24 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vout).....	587
Figura 8.25 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout).	587
Figura 8.26 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).....	588
Figura 8.27 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).....	588
Figura 8.28 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1).....	589
Figura 8.29 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1).	589
Figura 8.30 Circuito de potencia del controlador AC-AC monofásico bidireccional.....	590

Figura 8.31: Conexiones del controlador AC-AC monofásico bidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's.....	591
Figura 8.32: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=75^\circ$ en el controlador AC-AC monofásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout)	592
Figura 8.33: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	592
Figura 8.34: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	593
Figura 8.35: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	593
Figura 8.36: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).....	594
Figura 8.37 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional empleando el analizador de energía Fluke 434	595
Figura 8.38 THD y armónicos impares del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	596

Figura 8.39 Medición de THD de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	596
Figura 8.40 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	597
Figura 8.41 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	597
Figura 8.42 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	598
Figura 8.43 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	598
Figura 8.44 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	599
Figura 8.45 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	600
Figura 8.46 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	600
Figura 8.47 Oscilograma y mediciones promedio en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).	601

- Figura 8.48 Oscilograma y mediciones eficaces en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).
..... 602
- Figura 8.49 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vout)..... 603
- Figura 8.50 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout). 603
- Figura 8.51 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1)..... 604
- Figura 8.52 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1). 604
- Figura 8.53 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith4)..... 605
- Figura 8.54 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4 en el controlador AC-AC

monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth4)	605
Figura 8.55 Circuito de potencia del controlador AC-AC trifásico unidireccional.....	606
Figura 8.56 Conexiones del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional y bidireccional.....	607
Figura 8.57: Conexiones del controlador AC-AC trifásico unidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's	608
Figura 8.58: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=80^\circ$ en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout-a4)	609
Figura 8.59: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).....	609
Figura 8.60: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).....	610
Figura 8.61: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).....	610

Figura 8.62: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).....	611
Figura 8.63 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	612
Figura 8.64 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	613
Figura 8.65 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	613
Figura 8.66 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente del neutro del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	614
Figura 8.67 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	614
Figura 8.68 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	615

Figura 8.69 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	616
Figura 8.70 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	616
Figura 8.71 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	617
Figura 8.72 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	617
Figura 8.73 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	618
Figura 8.74 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	619
Figura 8.75 Parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	620

Figura 8.76 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	620
Figura 8.77 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	621
Figura 8.78 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	621
Figura 8.79 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	622
Figura 8.80 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Va4-b0(T))	623
Figura 8.81 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout (T))	624
Figura 8.82 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1)	624

Figura 8.83 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1). 625

Figura 8.84 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de D1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1). 625

Figura 8.85 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vd1) 626

Figura 8.86: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S2-S0 en el convertidor AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs2-s0) 627

Figura 8.87 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Va5-b0(S)). 627

Figura 8.88 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Iout(S)). 628

Figura 8.89 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith3)..... 628

- Figura 8.90 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth3). 629
- Figura 8.91 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de D3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Id3). 629
- Figura 8.92 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vd3) 630
- Figura 8.93: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S3-S0 en el convertidor AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs3-s0) 631
- Figura 8.94 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Va6-b0(R))..... 631
- Figura 8.95 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Iout(S)). 632
- Figura 8.96 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith3)..... 632

- Figura 8.97 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth5). 633
- Figura 8.98 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de D5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Id5). 633
- Figura 8.99 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vd5) 634
- Figura 8.100: Circuito de potencia del controlador AC-AC trifásico bidireccional..... 635
- Figura 8.101: Conexiones del controlador AC-AC trifásico bidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's 636
- Figura 8.102: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=110^\circ$ en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout-a4-b0)..... 637
- Figura 8.103: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T). 638
- Figura 8.104: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T). 638

Figura 8.105: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).	639
Figura 8.106: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC (Pout(AC)) en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).	639
Figura 8.107 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	641
Figura 8.108 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	641
Figura 8.109 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	642
Figura 8.110 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente del neutro del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	642
Figura 8.111 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	643

Figura 8.112 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	644
Figura 8.113 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	644
Figura 8.114 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	645
Figura 8.115 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	645
Figura 8.116 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	646
Figura 8.117 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	646
Figura 8.118 Medición de la quinta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	647

Figura 8.119 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	648
Figura 8.120 Parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	649
Figura 8.121 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	649
Figura 8.122 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	650
Figura 8.123 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	650
Figura 8.124 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	651
Figura 8.125 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en la fase T del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Va4-b0(T)).	652

- Figura 8.126 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout (T))..... 653
- Figura 8.127 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1). 653
- Figura 8.128 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1). 654
- Figura 8.129 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp6)..... 654
- Figura 8.130 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith4). 655
- Figura 8.131 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth4) 655
- Figura 8.132 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P3 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp3)..... 656

- Figura 8.133: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S2-S0 en el convertidor AC-AC trifásico Bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs2-s0) 657
- Figura 8.134 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en la fase S del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Va5-b0(S)). 658
- Figura 8.135 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Iout(S)). 658
- Figura 8.136 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith3)..... 659
- Figura 8.137 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth3). 659
- Figura 8.138 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp2)..... 660
- Figura 8.139 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith6). 660

Figura 8.140 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth6) 661

Figura 8.141 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp5)..... 661

Figura 8.142: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S3-S0 en el convertidor AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs3-s0) 663

Figura 8.143 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en la fase R del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Va5-b0(R))..... 663

Figura 8.144 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Iout(R)). 664

Figura 8.145 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith5). 664

Figura 8.146 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth5). 665

- Figura 8.147 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vp4)..... 665
- Figura 8.148 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith2). 666
- Figura 8.149 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth2) 666
- Figura 8.150 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vp1)..... 667
- Figura 8.151 Conexión entre el controlador AC-AC trifásico localizado en el panel superior del drive Mawdsley's y el motor AC MV1009 668
- Figura 8.152: Oscilograma que muestra una fase del voltaje de salida y el intervalo de tiempo mínimo para realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Va4-b0) 669
- Figura 8.153: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el intervalo de tiempo mínimo para realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Iu1) 670

Figura 8.154: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el ajuste horizontal del menú cursor previo a la obtención de la máxima corriente del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1) 671

Figura 8.155: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el intervalo de tiempo para el cual la corriente alcanza su valor máximo al realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1)..... 671

Figura 8.156: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida en su valor mínimo y velocidad estable del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1) 672

Figura 8.157: Oscilograma que muestra el ajuste del intervalo de tiempo necesario para fijar la velocidad del motor MV1009 en su máximo valor (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1) 672

Figura 8.158: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional, el motor AC MV1009 como carga y $\alpha=76^\circ$ (CH1: Va4-b0; CH2: lu1) 673

Figura 9.1: Paneles eléctricos Altistart: réplica (izquierda) y original (derecha). 677

Figura 9.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Altistart: original (izquierda) y réplica (derecha). 677

Figura 9.3: Vista frontal del panel eléctrico Altistart.	678
Figura 9.4: Disyuntor de 32A y el contactor MAIN de 20A.	678
Figura 9.5: Características del contactor MAIN de 20A.	679
Figura 9.6: Contactores BYPASS 1 y BYPASS 2, tres porta fusibles con fusibles rápidos de 20A y relés STOP y RUN de 220Vac.	679
Figura 9.7: Características de los contactores BYPASS 1 y BYPASS 2 de 9A.	680
Figura 9.8: Contactores MOTOR 1, MOTOR 2 y TRIFASICO; tres porta fusibles con fusibles de retardo de tiempo de 16A.	680
Figura 9.9: Características de los contactores MOTOR 1 y MOTOR 2 de 8.5A.	681
Figura 9.10: Características del contactor TRIFASICO de 15A.	681
Figura 9.11: Contactores MOTOR 1 y MOTOR 2 y los relés AUTO, ATS, AUX1 y AUX2 de 220Vac.	682
Figura 9.12: Voltaje de alimentación de las bobinas de los seis relés de control, identificación de las terminales de cada relé y socket.	683
Figura 9.13: Dos ternas de terminales para conexión a los motores 1 y 2.	683
Figura 9.14: Botoneras, selectores, lámparas indicadoras, borneras del drive, relé FINAL ARRANQUE, terminal neutro y contactos auxiliares de los relés STOP, RUN y AUX2.	684
Figura 9.15: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altistart original.	685

Figura 9.16: Lógica de relés y contactores para el control del circuito de fuerza del panel eléctrico Altistart original, conexiones hacia los motores de inducción junto con las conexiones hacia las borneras RUN, STOP y LI3 del drive y conexión de la salida analógica A01 al banco resistivo MV1100.	688
Figura 9.17: Encendido del indicador IND. MAIN y de la interfaz de programación del drive Altistar48	689
Figura 9.18: Características del drive Altistart 48.....	690
Figura 9.19: Procedimiento para retornar los parámetros del drive a sus ajustes de fábrica.....	691
Figura 9.20: Placa del motor MV1009 de código de inventario 20835-2.....	693
Figura 9.21: Interfaz del drive mostrando el menu SEt.....	693
Figura 9.22: Interfaz del drive mostrando el ajuste de In.	694
Figura 9.23: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ILt.	695
Figura 9.24: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ACC.....	695
Figura 9.25: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tq0.	696
Figura 9.26: Interfaz del drive mostrando el ajuste de StY.	696
Figura 9.27: Interfaz del drive mostrando el menú PrO.	697
Figura 9.28: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tbS.....	697
Figura 9.29: Interfaz del drive mostrando el ajuste de PHL.	698
Figura 9.30: Interfaz del drive mostrando el menú drC.	698
Figura 9.31: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ULn.....	699

Figura 9.32: Interfaz del drive mostrando el ajuste de FrC. 699

Figura 9.33: Interfaz del drive mostrando el menú IO. 700

Figura 9.34: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LI3. 700

Figura 9.35: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LI4. 701

Figura 9.36: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LO1. 702

Figura 9.37: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LO2. 702

Figura 9.38: Interfaz del drive mostrando el ajuste de r1. 703

Figura 9.39: Interfaz del drive mostrando el ajuste de r3. 704

Figura 9.40: Interfaz del drive mostrando el ajuste de AO. 704

Figura 9.41: Interfaz del drive mostrando el ajuste de 0 4 705

Figura 9.42: Interfaz del drive mostrando el ajuste de 0 4 706

Figura 9.43: Placa del motor MV1007 de código de inventario 20836-79109
 706

Figura 9.44: Interfaz del drive mostrando el menú St2. 707

Figura 9.45: Interfaz del drive mostrando el ajuste de In2. 707

Figura 9.46: Interfaz del drive mostrando el ajuste de IL2. 708

Figura 9.47: Interfaz del drive mostrando el ajuste de AC2. 708

Figura 9.48: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tq2 709

Figura 9.49: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tL2 709

Figura 9.50: Interfaz del drive mostrando el menú SUP 709

Figura 9.51: Lógica de control del panel en modo MANUAL. 712

Figura 9.52: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: irms-al nodo U1). 714

Figura 9.53: Variación del torque y de la velocidad del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad motor).. 714

Figura 9.54: Variación del torque y del voltaje RMS del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-motor)... 715

Figura 9.55: Voltaje y corriente del motor en vacío en un instante previo a alcanzar la corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor). 716

Figura 9.56: Voltaje y corriente del motor en vacío en el instante en que se alcanza la corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor)..... 716

Figura 9.57: Voltaje y corriente del motor en vacío en un instante posterior al pico de corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor). 717

Figura 9.58: Forma de onda del voltaje y de la corriente del motor en vacío luego del arranque (CH1: V-motor, CH2: I-motor). 717

Figura 9.59: Desfase entre el voltaje U1-V1 y la corriente de la fase U1 del motor en vacío (CH1: V-motor, CH2: I-motor). 718

Figura 9.60: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para diferentes valores de ACC: 60, 30 y 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1). 719

Figura 9.61: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para diferentes valores de tq0: 20, 40 y 60, manteniendo ACC en 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1)..... 720

Figura 9.62: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para dos valores de t_{q0} : 20, 40 y 60, manteniendo ACC en 60. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1). 721

Figura 9.63: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para dos valores de ILt: 400 y 150, aumentando t_{q0} a 65 y manteniendo ACC en 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1)..... 721

Figura 9.64: Variación del torque y del voltaje RMS del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-motor). 722

Figura 9.65: Variación del torque y de la velocidad del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad del motor)..... 723

Figura 9.66: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente motor). 724

Figura 9.67: Arranque y posterior aumento de torque y corriente del motor a 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1). 725

Figura 9.68: Corriente RMS indicada en la interfaz del drive bajo condiciones de carga mecánica aplicada. 725

Figura 9.69: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica. La corriente RMS del motor en 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad del motor). 726

Figura 9.70: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente del motor). 728

Figura 9.71: Variación del voltaje RMS y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vrms-voltaje U1-V1, CH2: Irms-corriente del motor). 729

Figura 9.72: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque con un ajuste de ACC=60 y tq0=10. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente del motor). 730

Figura 9.73: Relé FINAL ARRANQUE con un contacto accionado al finalizar el arranque..... 730

Figura 9.74: Desfase entre el voltaje U1-V1 y la corriente de la fase U1 del motor bajo carga nominal, corriente del motor de 7A. (CH1: V-motor, CH2: I-motor). 731

Figura 9.75: Lógica de relés para su funcionamiento en modo automático. 734

Figura 9.76: Variación de la corriente de los motores MV1009 y MV1007 en vacío durante el arranque. (CH1: Irms-MV1009, CH2: Irms-MV1007). 735

Figura 9.77: Variación del voltaje RMS de los dos motores MV1009 y MV1007 en vacío. (CH1: Vrms-MV1009, CH2: Vrms-MV1007)..... 736

Figura 9.78: Variación de la corriente de los motores MV1009 y MV1007 en vacío durante el arranque. (CH1: Irms-MV1009, CH2: Irms-MV1007).	737
Figura 9.79: Convertidor USB-serial	738
Figura 9.80: Conector RS232/RS485 PC.	738
Figura 9.81: Cable de red directo.....	738
Figura 9.82: Puerto de comunicaciones J3 del drive Altistart 48.	739
Figura 9.83: Configuración del puerto serial del PC.....	740
Figura 9.84: Equipo y su configuración realizada en una práctica anterior.	741
Figura 9.85: Eliminación del equipo empleado en una práctica previa.	741
Figura 9.86: Agregar nuevo equipo dentro del programa Power Suite v2.0.	742
Figura 9.87: Configuración de la pestaña Equipo dentro del programa Power Suite v2.0.....	742
Figura 9.88: Creación de nueva configuración dentro de la pestaña Configuración ubicada en la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.....	743
Figura 9.89: Configuración de la pestaña Comunicación dentro de la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.	743
Figura 9.90: Botón para transferir una configuración del equipo al PC en el programa Power Suite v2.0.	744
Figura 9.91: Advertencia indicando que se transmitirán los parámetros del equipo hacia el PC.....	744

Figura 9.92: Botón de conexión al equipo en el programa Power Suite v2.0.	745
Figura 9.93: Ventana para manejar el drive desde el PC.	745
Figura 9.94: Acceso directo a los menús del drive dentro de la ventana de conexión al equipo.....	746
Figura 9.95: Listado de parámetros del drive dentro del menú Edición de la ventana de conexión al equipo.	747
Figura 9.96: Ventana de explotación dentro del menú Comando/Visualización de la ventana de conexión al equipo.	747
Figura 9.97: Botones de arranque y detención del motor en la ventana de conexión al equipo.....	748
Figura 9.98: Arranque y posterior aumento de torque y corriente del motor a 3.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).	749
Figura 9.99: Configuración del tipo de parada en el menú Ajustes empleando el programa Power Suite.	750
Figura 9.100: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc- torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).	751
Figura 9.101: Variación del torque y del voltaje RMS en las terminales U1-V1 del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-U1-V1).	751

Figura 9.102: Variación del torque y de la velocidad del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-U1-V1).....	752
Figura 9.103: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=20. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).....	753
Figura 9.104: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=40. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).....	753
Figura 9.105: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=60. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).....	754
Figura 9.106 Guardado de la configuración de los parámetros del drive Altistart 48.....	755
Figura 9.107 Desconexión entre el drive Altistart 48 y la PC.....	755
Figura 10.1: Paneles eléctricos Altivar: original (izquierda) y réplica (derecha).	758
Figura 10.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Altivar: original (izquierda) y réplica (derecha).	758
Figura 10.3: Vista frontal del panel eléctrico Altivar.	759
Figura 10.4: Disyuntor de 20A.	761

Figura 10.5: Contactor ON/OFF, porta-fusibles para fusibles de acción rápida de 20A, porta-fusibles para fusibles de retardo de tiempo de 10A, contactor MOTOR y relé térmico.	761
Figura 10.6: Información técnica de los contactores ON/OFF y MOTOR de 25A.	762
Figura 10.7: Fusible de acción rápida de 20A.....	762
Figura 10.8: Fusible de retardo de tiempo de 10A.	762
Figura 10.9: Relé térmico con un ajuste de interrupción en 7A.	763
Figura 10.10: Información técnica del relé térmico.	763
Figura 10.11: Cinco relés de control: relé L1 ATV, relé L2 ATV, relé VFUN, relé M1 y relé temporizador.	764
Figura 10.12: Terminales de la bobina, de un contacto normalmente abierto y de un contacto normalmente cerrado de cada uno de los relés de control.	764
Figura 10.13: Diagrama de identificación de las terminales de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1.	765
Figura 10.14: Socket de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1.	765
Figura 10.15: Relé temporizador.....	766
Figura 10.16: Especificaciones del relé temporizador.....	767
Figura 10.17: Socket del relé temporizador.	768
Figura 10.18: Partes constitutivas del relé temporizador.	768
Figura 10.19: Elementos de control de la parte superior del panel Altivar. .	769

Figura 10.20: Entradas digitales del drive Altivar 31, botoneras y selectores.	770
Figura 10.21: Entradas analógicas del drive Altivar 31, potenciómetro de precisión de 5K Ω y sus terminales.	770
Figura 10.22: Salidas digitales y analógicas del drive Altivar 31.....	771
Figura 10.23: Tarjeta de aislamiento óptico de señales analógicas.....	772
Figura 10.24: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altivar original.	773
Figura 10.25: Diagrama eléctrico de control del panel eléctrico Altivar original.	774
Figura 10.26: Vista interior del drive Altivar 31.....	775
Figura 10.27: Especificaciones técnicas del drive Altivar 31.....	776
Figura 10.28: Conexión en el panel Altivar previo a la energización del drive Altivar 31.....	777
Figura 10.29: Mensaje nSt en la interfaz del drive Altivar 31.....	777
Figura 10.30: Retorno a los ajustes de fábrica en el drive Altivar 31.	778
Figura 10.31: Mensaje rdY en la interfaz del drive Altivar 31.....	778
Figura 10.32: Conexión entre el panel eléctrico Altivar, el motor MV1009 y banco resistivo MV1100.....	782
Figura 10.33: Puerto de comunicaciones CN1 del drive Altivar 31.	783
Figura 10.34: Configuración del puerto serial del PC.....	785

Figura 10.35: Agregar nuevo equipo dentro del programa Power Suite v2.0.	785
Figura 10.36: Configuración de la pestaña Equipo dentro del programa Power Suite v2.0.....	786
Figura 10.37: Creación de nueva configuración dentro de la pestaña Configuración ubicada en la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.....	786
Figura 10.38: Configuración de la pestaña Comunicación dentro de la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.....	787
Figura 10.39: Botón para transferir una configuración del equipo al PC en el programa Power Suite v2.0.	787
Figura 10.40: Advertencia indicando que se transmitirán los parámetros del equipo hacia el PC.....	788
Figura 10.41: Botón de conexión al equipo en el programa Power Suite v2.0.	788
Figura 10.42: Ventana para manejar el drive desde el PC.	789
Figura 10.43: Tabla de parámetros del drive dentro del menú Visualización de la ventana de conexión al equipo.	789
Figura 10.44: Opción Configuración dentro del menú Visualización de la ventana de conexión al equipo.	790
Figura 10.45: Placa del motor MV1009 de código de inventario 20835-2...	790
Figura 10.46: Ajuste de BFR dentro de la opción Parametrización rápida..	791

Figura 10.47: Ajuste de las características del motor dentro del menú Control motor..... 792

Figura 10.48: Mensaje de retorno al ajuste de fábrica de parámetros rrS, tCt y entradas lógicas al cambiar el parámetro TCC..... 793

Figura 10.49: Ajuste de la opción Entradas/Salidas dentro del menú Control motor..... 795

Figura 10.50: Ajuste de la opción Control dentro del menú Comandos de control..... 796

Figura 10.51: Ajuste de la opción Acel/Decel dentro del menú Reglajes.... 797

Figura 10.52: Ajuste de la opción Rango de frecuencia dentro del menú Reglajes..... 798

Figura 10.53: Ajuste de la opción Protección térmica dentro del menú Reglajes..... 798

Figura 10.54: Protección térmica del motor en base al cálculo I^2t 799

Figura 10.55: Opción para actualizar en el drive, los parámetros ingresados en Power Suite. 800

Figura 10.56: Acceso a la ventana de explotación..... 801

Figura 10.57: Acceso a la ventana de explotación..... 802

Figura 10.58: Control de tres hilos. 802

Figura 10.59: Implementación del control de tres hilos en modo SOURCE y conexión del potenciómetro de precisión a las terminales COM, 10 y AI1. 803

Figura 10.60: Conexión de entradas lógicas y entre las terminales CLI y COM.	804
Figura 10.61: Selector SW1 para elegir entre modo SOURCE y modo SINK.	804
Figura 10.62: Interfaz del drive indicando el valor cero correspondiente a la mínima referencia de frecuencia.....	805
Figura 10.63: Variación de la velocidad y de la corriente RMS del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención en el modo de control de tres hilos.....	806
Figura 10.64: Control de dos hilos.	807
Figura 10.65: Implementación del control de dos hilos (2C) en modo SOURCE	807
Figura 10.66: Configuración del modo de control de dos hilos (2C) en el software Power Suite.....	808
Figura 10.67: Variación de la velocidad y de la corriente RMS del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención en el modo de control de dos hilos.....	810
Figura 10.68: Ventana de control del motor en el software Power Suite. ...	811
Figura 10.69: Estado térmico del variador y del motor luego de cinco minutos de mantener el motor sin uso.	812

Figura 10.70: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención empleando el software Power Suite.	812
Figura 10.71: Procedimiento de autoajuste del drive Altivar 31.	813
Figura 10.72: Forma de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando en vacío durante el autoajuste (Ch1: V-motor, Ch2: I-motor).....	814
Figura 10.73: Mensaje de confirmación de finalización del autoajuste.	814
Figura 10.74 Métodos de control de la relación voltaje/frecuencia.	816
Figura 10.75: Selección de par constante (L) en el parámetro UfT.....	816
Figura 10.76: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante el arranque, aumento de carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y posterior detención.....	817
Figura 10.77: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control de par constante.	817
Figura 10.78: Variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.	818
Figura 10.79: Variación del torque y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.....	818

Figura 10.80: Asignación de frecuencia del motor a la salida analógica.....	819
Figura 10.81: Variación de la frecuencia del motor y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del mismo bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.....	820
Figura 10.82: Variación del voltaje DC proporcional al torque del motor, para diferentes ajustes de frecuencia.	822
Figura 10.83: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	823
Figura 10.84: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	823
Figura 10.85: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	824
Figura 10.86: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	824
Figura 10.87: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	826

- Figura 10.88: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 5Hz. .. 827
- Figura 10.89: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 30Hz. 828
- Figura 10.90: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 50Hz. 828
- Figura 10.91: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 50Hz con escala de tiempo de 1ms. 829
- Figura 10.92 Selección de control vectorial del flujo sin sensor (n) en el parámetro UFt..... 829
- Figura 10.93: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor..... 830
- Figura 10.94: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor..... 831

- Figura 10.95: Variación de la frecuencia y del voltaje RMS en las terminales U1-V1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor. 831
- Figura 10.96: Variación del voltaje DC proporcional al torque del motor, para diferentes ajustes de frecuencia empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor..... 833
- Figura 10.97: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor..... 833
- Figura 10.98: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor. 834
- Figura 10.99: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor. 834
- Figura 10.100: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor. 835
- Figura 10.101: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor..... 836

Figura 10.102: Variación de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor para dos valores de StA: 5 y 95.	839
Figura 10.103: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por seguimiento de rampa.	840
Figura 10.104: Variación de la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por seguimiento de rampa.	841
Figura 10.105: Configuración del tipo de frenado por rueda libre.	842
Figura 10.106: Variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por rueda libre....	842
Figura 10.107: Variación de la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por rueda libre.....	843
Figura 10.108: Variación del torque y de la corriente DC hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC.....	845

Figura 10.109: Variación de la velocidad y del voltaje DC entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC..... 845

Figura 10.110: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC. 846

Figura 10.111: Cables A4 y B4 conectados a las terminales de alimentación del drive Altivar 31. 847

Figura 10.112: Punta de prueba de corriente, Fluke 80i-110s AC/DC, conectada al cable cuya marquilla es A4..... 847

Figura 10.113: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz. 848

Figura 10.114: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz. 849

Figura 10.115: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz. 849

Figura 10.116: Ajuste del menú SETUP del analizador de energía. 850

Figura 10.117: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.	850
Figura 10.118: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	852
Figura 10.119: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	853
Figura 10.120: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	853
Figura 10.121: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	854
Figura 10.122: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	854
Figura 10.123: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	855
Figura 10.124: Implementación del control de dos hilos (2C) en modo SOURCE.	855

Figura 10.125: Acceso al submenú PSS-.....	856
Figura 10.126: Combinaciones de los parámetros PS16, PS8, PS4 y PS2 para activar las distintas velocidades preseleccionadas.....	857
Figura 10.127: Configuración del parámetro PS2 con el valor LI3.....	858
Figura 10.128: Configuración del parámetro PS4 con el valor LI4.....	858
Figura 10.129: Variación de la velocidad del motor empleando velocidades preseleccionadas.....	859
Figura 10.130: Lógica de relés para el cambio de velocidad en marcha y reversa.....	860
Figura 10.131: Implementación de la lógica de relés en el panel Altivar. ...	862
Figura 10.132: Ajuste de la perilla de temporización del relé Temporizador en 0.4.....	863
Figura 10.133: Estado de los relés previo al accionamiento del selector MANUAL/AUTO.....	863
Figura 10.134: Estado de los relés luego del accionamiento del selector MANUAL/AUTO.....	864
Figura 10.135: Estado de los relés luego de finalizada la temporización del relé TEMPORIZADOR.....	864
Figura 10.136: Arranque, cambio de giro y detención del motor empleando la lógica de relés.....	865
Figura 10.137: Implementación del modo de control de dos hilos (2C) para el control en lazo cerrado del voltaje de un generador DC.....	866

Figura 10.138: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje positivo en la terminal A2 del generador operando en marcha.....	867
Figura 10.139: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje negativo en la terminal A2 del generador operando en reversa.	868
Figura 10.140: Conexión directa entre las terminales de armadura de la máquina MV1006.....	870
Figura 10.141: Variación de la velocidad y del voltaje generado empleando la conexión directa entre las terminales de la máquina MV1006.....	871
Figura 10.142: Conexión cruzada entre las terminales de armadura del motor MV1006.	871
Figura 10.143: Variación de la velocidad y del voltaje generado empleando la conexión cruzada entre las terminales de la máquina MV1006.....	872
Figura 10.144: Voltaje generado para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 55Hz para la máquina MV1006 operando como generador auto-excitado en vacío.....	874
Figura 10.145: Conexión entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1962.	874
Figura 10.146: Divisor de tensión empleando el reóstato MV1962.....	875
Figura 10.147: Conexiones entre la máquina MV1006, el reóstato MV1962 y la tarjeta electrónica del panel Altivar.	875
Figura 10.148: Voltaje de entrada y voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar.	876

Figura 10.149: Voltaje de entrada vs voltaje de salida de la tarjeta electrónica.	878
Figura 10.150: Sinóptico de la función PI del drive Altivar 31.	878
Figura 10.151: Conexiones para la prueba de lazo cerrado para el control de voltage generado en el generador auto-excitado empleando el drive Altivar 31.....	882
Figura 10.152: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, el cual opera en vacío.	884
Figura 10.153: Variación de la velocidad y del torque de armadura del motor MV1009, con el generador MV1006 operando en vacío.....	884
Figura 10.154: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al activar el interruptor MV1500.....	885
Figura 10.155: Variación de la velocidad y del torque del motor MV1009, luego de activar el interruptor MV1500.	886
Figura 10.156: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al retirar la carga eléctrica del generador.	887
Figura 10.157: Variación de la velocidad y de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009, al retirar la carga eléctrica del generador.	888
Figura 11.1: Paneles eléctricos Danfoss: original (izquierda) y réplica (derecha).	891
Figura 11.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Danfoss: réplica (izquierda) y original (derecha).	891

Figura 11.3: Vista frontal del panel eléctrico Danfoss.	892
Figura 11.4: Disyuntor de 40A.	893
Figura 11.5 Porta-fusibles principales, porta-fusibles para los contactores, contactor INICIO, contactor DRIVE, relé térmico y relés auxiliares.	893
Figura 11.6: Información técnica de los contactores INICIO y DRIVE de 32A.	894
Figura 11.7: Relé térmico con un ajuste de interrupción en 7A.	895
Figura 11.8: Diagrama de identificación de las terminales de los relés auxiliares.....	895
Figura 11.9: Socket de los relés auxiliares.	896
Figura 11.10: Vista superior del panel Danfoss.	897
Figura 11.11: Vista de la sección media del panel Danfoss.....	898
Figura 11.12: Vista de la sección del panel Danfoss en la cual se muestran las terminales para las salidas digitales tipo relé, terminales del bus DC del drive Danfoss y terminales para el frenado dinámico.	898
Figura 11.13: Tarjeta electrónica del panel Danfoss.....	899
Figura 11.14: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico replica Danfoss.....	900
Figura 11.15: Diagrama eléctrico de control del panel eléctrico replica Danfoss.....	901
Figura 11.16: Esquema funcional del drive Danfoss.....	902

Figura 11.17. Panel de control local y puerto de comunicaciones junto con los selectores S201 y S202.....	903
Figura 11.18: Botoneras del drive Danfoss y la interfaz de programación..	904
Figura 11.19: Borneras de control del drive Danfoss.....	905
Figura 11.20: Vista inferior del drive Danfoss junto con las borneras de fuerza.....	905
Figura 11.21: Especificaciones técnicas del drive Danfoss.	906
Figura 11.22: Interfaz del drive Danfoss encendida y relé auxiliar 1 energizado.....	907
Figura 11.23: Menú 14 correspondiente a Funciones especiales.....	908
Figura 11.24: Opción 14-2* correspondiente al Reinicio desconexión.....	908
Figura 11.25: Opción 14-22 denominada Modo Funcionamiento elegida en el parámetro Inicialización.	909
Figura 11.26: Encendido del led Alarm y el mensaje Drive initialised [A80].	910
Figura 11.27: Selección de idioma Español.....	911
Figura 11.28: Modo Configuración: Veloc. Lazo Abierto.....	912
Figura 11.29: Conexión del banco MV1100 para conexión a la salida analógica, conexión entre el panel Danfoss y el motor MV1009 y conexión entre interruptores MV1500 y entradas digitales 29, 32 y 33.	912
Figura 11.30: Acceso al menú Carga/motor y al submenú Datos de motor.	913
Figura 11.31: Configuración del parámetro 1-20 Potencia motor [KW].....	913

Figura 11.32: Configuración del parámetro 1-22 Tensión motor [KW].	914
Figura 11.33: Configuración del parámetro 1-23 Frecuencia motor [Hz].	914
Figura 11.34: Configuración del parámetro 1-24 Intensidad motor [A].	914
Figura 11.35: Configuración del parámetro 1-25 Velocidad nominal motor [A].	915
Figura 11.36: Acceso al menú 1-3* correspondiente a Datos avanzados del motor.	915
Figura 11.37: Configuración del parámetro 1-39 correspondiente a Polos motor.	915
Figura 11.38: Parámetro 1-30 Resistencia estator (Rs).	916
Figura 11.39: Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr).	916
Figura 11.40: Parámetro 1-33 Reactancia fuga estator (X1).	917
Figura 11.41: Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2).	917
Figura 11.42: Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh).	917
Figura 11.43: Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe).	918
Figura 11.44: Acceso al menú 6-** E/S analógica y al submenú 6-5* Salida analógica 1.	918
Figura 11.45: Configuración del parámetro 6-50 Terminal 42 salida.	919
Figura 11.46: Configuración del parámetro 1-29 Adaptación automática del motor [A].	919
Figura 11.47: Variación del voltaje DC entre U1 y V1 y variación de la corriente DC hacia la terminal U1 durante el procedimiento AMA.	920

Figura 11.48: Forma de onda del voltaje entre U1 y V1 y forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente DC toman valores positivos.	921
Figura 11.49: Forma de onda del voltaje entre U1 y V1 y forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente DC toman valores negativos.....	921
Figura 11.50: Parámetro 1-30 Resistencia estator (Rs).....	922
Figura 11.51: Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr).	922
Figura 11.52: Parámetro 1-33 Reactancia fuga estator (X1).	923
Figura 11.53: Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2).	923
Figura 11.54: Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh).....	924
Figura 11.55: Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe).	924
Figura 11.56: Acceso al menú Lím/Advert. y luego al submenú Límites motor.	926
Figura 11.57: Parámetro 4-10 Dirección veloc. motor.....	927
Figura 11.58: Parámetro 4-11 Límite bajo veloc. motor (RPM).....	927
Figura 11.59: Parámetro 4-13 Límite alto veloc. motor (RPM).....	927
Figura 11.60: Parámetro 4-19 Límite intensidad.....	928
Figura 11.61: Parámetro 4-19 Frecuencia salida máxima.	928

Figura 11.62: Acceso al menú Ref./Rampas y luego al submenú Límites referencia.....	928
Figura 11.63: Parámetro 3-00 Rango de referencia.....	929
Figura 11.64: Parámetro 3-01 Referencia/Unidad realimentación.	929
Figura 11.65: Parámetro 3-02 Referencia mínima.	929
Figura 11.66: Parámetro 3-03 Referencia máxima.	930
Figura 11.67: Submenú 3-1* Referencias.....	930
Figura 11.68: Parámetro 3-13 Lugar de referencia.	931
Figura 11.69: Vista de la opción Status del panel de control local.	931
Figura 11.70: Variación de la velocidad dentro del menú Registros.	932
Figura 11.71: Variación de la corriente RMS dentro del menú Registros. ..	932
Figura 11.72: Variación de la potencia [KW] dentro del menú Registros.	933
Figura 11.73: Parámetro 3-13 Lugar de referencia: remoto.....	934
Figura 11.74: Parámetro 3-15 Recurso de referencia 1.....	934
Figura 11.75: Acceso al menú 0-** Func./Display y luego al submenú 0-2* Display LCP.	934
Figura 11.76: Parámetro 0-20 Línea de pantalla pequeña 1.1.....	935
Figura 11.77: Parámetro 0-21 Línea de pantalla pequeña 1.2.....	935
Figura 11.78: Parámetro 0-22 Línea de pantalla pequeña 1.3.....	935
Figura 11.79: Parámetro 0-23 Línea de pantalla grande 2.	936
Figura 11.80: Parámetro 0-24 Línea de pantalla grande 3.	936
Figura 11.81: Menú STATUS.....	937

Figura 11.82: Submenú 3-4* Rampa 1.	937
Figura 11.83: Parámetro 3-40 Rampa 1 tipo Lineal.	938
Figura 11.84: Parámetro 3-41 Rampa 1 tipo acel. rampa.	938
Figura 11.85: Parámetro 3-42 Rampa 1 tipo desacel. rampa.	938
Figura 11.86: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009 ajustando el parámetro 3-40 Rampa 1 en tipo lineal.	939
Figura 11.87: Parámetro 3-40 Rampa 1 tipo S.	939
Figura 11.88: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009 ajustando el parámetro 3-40 Rampa 1 en tipo S.	940
Figura 11.89: Acceso al submenú 1-9* Temperatura motor y al parámetro 1- 90 Protección térmica motor.	941
Figura 11.90: Curva tiempo de desconexión versus la relación corriente/corriente nominal para tres diferentes frecuencias de operación proporcionales a la frecuencia nominal.	942
Figura 11.91: Parámetro 1-90 Protección térmica motor ajustado en Advert. ETR 1.	943
Figura 11.92: Parámetro 16-18 Térmico motor.	943
Figura 11.93: Variación del voltaje del bus DC del drive Danfoss durante un encendido y apagado del mismo.	944
Figura 11.94: Elección del parámetro 14-00 Patrón conmutación: SFAVM.	944

- Figura 11.95: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 5Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM. 946
- Figura 11.96: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 25Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM. 946
- Figura 11.97: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM. 947
- Figura 11.98: Elección del parámetro 14-00 Patrón conmutación: 60 AVM.948
- Figura 11.99: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 5Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM. 948
- Figura 11.100: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 25Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM. 949

Figura 11.101: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM.....	949
Figura 11.102: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM y escala de tiempo de 500us.	950
Figura 11.103: Parámetro 1-01 Principio control motor: U/f.....	950
Figura 11.104: Parámetro 4-13 Límite alto veloc. Motor [RPM].	951
Figura 11.105: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante el arranque, aumento de carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y posterior detención con un ajuste de 50Hz.	952
Figura 11.106: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente RMS de línea a 50Hz con principio de control de motor U/f.	953
Figura 11.107: Variación del voltaje RMS y de la corriente del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente RMS de línea a 50Hz con principio de control de motor U/f.	953
Figura 11.108: Parámetro 16-16 Par.	954

Figura 11.109: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control U/f.	956
Figura 11.110: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.	956
Figura 11.111: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.	957
Figura 11.112: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.	957
Figura 11.113: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.	959
Figura 11.114: Parámetro 1-01 Principio control motor: VVCplus.....	960
Figura 11.115: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.....	963
Figura 11.116: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.	963

Figura 11.117: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.	964
Figura 11.118: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.	965
Figura 11.119: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.....	966
Fig. 11.120: Punta de prueba de corriente, Fluke 80i-110s AC/DC, conectada al cable cuya marquilla es 1.....	968
Figura 11.121: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	969
Figura 11.122: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	970
Figura 11.123: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	970
Figura 11.124: Ajuste del menú SETUP del analizador de energía.	971

Figura 11.125: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.	971
Figura 11.126: Conexión de la punta de prueba de voltaje del analizador de energía Fluke 434 a la terminal 99 del drive.	973
Figura 11.127: Enganche de las puntas de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC a los cables conectados a las borneras L1, L2 y L3 del drive.	974
Figura 11.128: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada a la terminal L1 del drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	974
Figura 11.129: Tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	975
Figura 11.130: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	975
Figura 11.131: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	976
Figura 11.132: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	976

Figura 11.133 Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.	977
Figura 11.134: Parámetro 1-01 Principio control motor: Lazo cerrado Flux.	977
Figura 11.135: Parámetro 1-00 Modo configuración: Par lazo cerrado.....	978
Figura 11.136: Ajuste de referencia de torque en 7N.m.	978
Figura 11.137: Torque inducido y velocidad del motor durante el control de par.	980
Figura 11.138: Arranque, frenado en rampa de desaceleración, arranque en reversa y frenado en rueda libre empleando entradas digitales.	983
Figura 11.139: Parámetro 16-60 Entrada digital.	984
Figura 11.140: Habilitación del modo Controlador SL.....	986
Figura 11.141: Configuración del temporizador Smart Logic.	986
Figura 11.142: Acceso al menú Estados y luego al estado 1.	987
Figura 11.143: Configuración de los parámetros 13-51 Evento Controlador SL y 13-52. Acción Controlador SL para el primer estado.	987
Figura 11.144: Variación de la velocidad empleando la secuencia SLC vista desde la opción Registros luego de presionar el botón QUICK MENU.	989
Figura 11.145: Cable USB A/B.	990
Figura 11.146: Cable USB A/B.	990

Figura 11.147: Ventana del software MCT10 donde se muestra las características del drive Danfoss conectado.....	991
Figura 11.148: Ventana del software MCT10 donde se muestra la habilitación del Modo Controlador SL.....	992
Figura 11.149: Ventana del software MCT10 donde se muestra configuración de la temporización entre eventos de 10 segundos.....	992
Figura 11.150: Programación de la lógica inteligente.	994
Figura 11.151: Ajustes de la lógica inteligente.....	995
Figura 11.152: Variación de la velocidad del motor empleando la secuencia SLC.....	995
Figura 11.153: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje positivo en la terminal A2 del generador operando en marcha.....	998
Figura 11.154: Conexión directa entre las terminales de armadura de la máquina MV1006.....	999
Figura 11.155: Variación del voltaje DC generado y de la velocidad durante el arranque y detención del motor MV1009 empleando la conexión directa entre las terminales de la máquina MV1006.....	1000
Figura 11.156: Conexión entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1006.	1001
Figura 11.157: Divisor de tensión empleando el reóstato MV1962.....	1002
Figura 11.158: Conexiones entre la máquina MV1006, el reóstato MV1962 y la tarjeta electrónica del panel Altivar.	1002

Figura 11.159: Voltaje de entrada y voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Danfoss.....	1003
Figura 11.160: Voltaje de entrada vs voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico réplica Danfoss.	1005
Figura 11.161: Conexiones para la prueba de lazo cerrado para el control de voltaje generado en el generador auto-excitado empleando el drive Danfoss FC-302.....	1009
Figura 11.162: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 11.	1010
Figura 11.163: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 1.	1011
Figura 11.164: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 0.1.....	1011
Figura 11.165: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 0.01.....	1012
Figura 11.166: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No.	1013

- Figura 11.167: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 5 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No. 1014
- Figura 11.168: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 1 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No. 1014
- Figura 11.169: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, el cual opera en vacío. 1016
- Figura 11.170: Variación del torque inducido en el motor MV1009 y la velocidad del eje, con el generador MV1006 operando en vacío. 1017
- Figura 11.171: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al activar el interruptor MV1500..... 1018
- Figura 11.172: Variación torque inducido del motor MV1009 y de la velocidad del eje, luego de activar el interruptor MV1500..... 1018
- Figura 11.173: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al retirar la carga eléctrica del generador. ... 1020

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Conexiones e información de corriente nominal de acuerdo al voltaje aplicado y a la conexión empleada en el banco resistivo MV1100	13
Tabla 2.2: Valor de inductancia por fase de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101.....	14
Tabla 2.3: Valor de capacitancia por fase de acuerdo al paso elegido en el banco capacitivo MV1102.....	16
Tabla 2.4: Información de placa de la máquina DC MV1006.....	18
Tabla 2.5: Información de placa de los motores de inducción jaula de ardilla MV1009, de código 20835-1 y 20835-3.....	20
Tabla 2.6: Información de placa del motor de inducción jaula de ardilla MV1009, de código 20835-1	21
Tabla 2.7: Información de placa del motor de inducción de anillos rozantes MV1007	24
Tabla 2.8: Velocidad y voltaje generado del taco-generator MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido horario.....	36
Tabla 2.9: Velocidad y voltaje generado del taco-generator MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario.....	37
Tabla 2.10: Velocidad y voltaje generado del taco-generator MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido horario.....	38

Tabla 2.11: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido anti-horario.....	39
Tabla 2.12: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido horario.....	40
Tabla 2.13: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido anti-horario.....	41
Tabla 2.14: Velocidad, frecuencia y voltaje AC del taco-generador MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario.....	45
Tabla 2.15: Velocidad, frecuencia y voltaje AC del taco-generador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.....	47
Tabla 2.16: Tabla de inductancia del inductor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101 de código 20841-3.	73
Tabla 2.17: Tabla que muestra la inductancia del inductor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101 de código 20841-3, obtenida de forma experimental y el valor dado por el fabricante. Porcentaje de error entre ambas.	74
Tabla 2.18: Capacitancia del capacitor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1102 de código 20841-2.....	77
Tabla 2.19: Capacitancia del capacitor R de acuerdo al paso elegido en el banco capacitivo MV1101 de código 20841-3, obtenida de forma experimental y el valor dado por el multímetro FLUKE 87V. Porcentaje de error entre ambas.	78

Tabla 2.20: Velocidad y voltaje del taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario	93
Tabla 2.21: Voltaje AC generado vs velocidad del taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.	95
Tabla 2.22: Frecuencia generada vs velocidad del taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.	96
Tabla 2.22: Corriente de armadura, voltaje de armadura y velocidad del motor DC MV1006.	101
Tabla 3.1: Resultados experimentales para los parámetros de las cinco primeras componentes armónicas del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para $\alpha=0^\circ$ y carga resistiva.....	121
Tabla 3.2 Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$	148
Tabla 3.3: Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$	169
Tabla 4.1: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en lazo abierto.....	223
Tabla 4.2: Ajustes experimentales del controlador PI de velocidad empleando el taco-generador AC para optimizar el control de velocidad.....	229

Tabla 4.3: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=4$	235
Tabla 4.4: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=2$	236
Tabla 4.5: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 para el control de velocidad por el método IXR y $RI-COMP=0K\Omega$	246
Tabla 4.6: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 para el control de velocidad por el método IXR y $RI-COMP=1.54K\Omega$	246
Tabla 4.7: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=4$	248
Tabla 4.8: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=2$	248
Tabla 5.1: Ajustes de los potenciómetros de los drives Fincor 2236 MKII..	280
Tabla 5.2: Ajustes de fábrica de los puentes J1 a J7.	281
Tabla 5.3: Ajustes del dip-switch SW3.	281
Tabla 5.4: Control de velocidad sin conectar el tacogenerador DC.	283
Tabla 5.5: Control de velocidad conectando el taco-generador DC.	284
Tabla 5.5: Control de velocidad por el método IxR.	286

Tabla 6.1 Resultados experimentales para los parámetros de las seis primeras armónicas de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	315
Tabla 6.2 Resultados experimentales para los parámetros de las siete primeras armónicas de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$	346
Tabla 6.3 Resultados experimentales para los parámetros de las ocho primeras armónicas de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	383
Tabla 6.4 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las siete primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$	427
Tabla 7.1: Parámetros que se modificarán durante el auto-ajuste estático.	504
Tabla 7.2: Parámetros modificados después del auto-ajuste estático.	510
Tabla 7.3: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por taco-generador DC.	527

Tabla 7.4: Variación del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain (Kp1) y comparación entre la velocidad en vacío y a plena carga empleando el método de control de velocidad por taco-generador.	529
Tabla 7.5: Variación del parámetro 3.11 Speed controller integral gain (Ki1) y comparación entre la velocidad en vacío y a plena carga empleando el método de control de velocidad por taco-generador.....	531
Tabla 7.6: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por estimación de velocidad (IxR).....	545
Tabla 7.7: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por estimación de velocidad (IxR) luego de calibrar el parámetro 3.10 Speed controller proportional gain, en 0.002.	551
Tabla 8.1 Resultados experimentales para los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	584
Tabla 8.2 Resultados experimentales para los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$	599
Tabla 8.3 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$	618

Tabla 8.4 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$	647
Tabla 10.1: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, voltaje proporcional al torque del motor y corriente RMS hacia la terminal U1 bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor a 50Hz.	821
Tabla 10.2: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.	826
Tabla 10.3: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor y voltaje proporcional al torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor a 50Hz empleando el control vectorial de flujo sin sensor.	832
Tabla 10.4: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.	836
Tabla 10.5: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que	

requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante y SLP=5.....	837
Tabla 10.6: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante y SLP=150.....	838
Tabla 10.7: Voltaje generado y velocidad para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 55Hz para la máquina MV1006 operando como generador auto-excitado en vacío.	873
Tabla 10.8: Comparación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar.	877
Tabla 10.9: Variación del voltaje generado, corriente de armadura del generador, corriente RMS del motor MV1009, velocidad en el eje y frecuencia de operación del drive Altivar 31.	886
Tabla 11.1: Comparación de los valores de los parámetros de Datos avanzados previo a la realización del procedimiento AMA y posterior al mismo	925
Tabla 11.2: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor operando a 50Hz y empleando el control U/f.	955

Tabla 11.3: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f. 958

Tabla 11.4: Regulación de velocidad empleando el control U/f. 960

Tabla 11.5: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor operando a 50Hz y empleando el control VVCplus..... 962

Tabla 11.6: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus. 966

Tabla 11.7: Regulación de velocidad empleando el control VVCplus..... 967

Tabla 11.8: Estados lógicos de las entradas digitales 29, 32 y 33 y porcentaje de referencia con su correspondiente velocidad..... 984

Tabla 11.9: Configuración de estados de acuerdo al evento y la acción. ... 988

Tabla 11.10: Configuración de cuatro referencias internas..... 993

Tabla 11.11: Comparación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar. 1004

Tabla 11.12: Variación de la corriente de armadura del generador, corriente RMS del motor MV1009, velocidad en el eje, frecuencia de operación del drive Danfoss FC-302 y voltaje generado..... 1019

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto desarrolla e implementa un manual de prácticas para la materia Laboratorio de Electrónica de Potencia.

En el Capítulo 1, se presentan los antecedentes y justificación del presente proyecto, así como la solución, justificación, objetivos y metodología empleada en el desarrollo del manual.

En el Capítulo 2, se describen los instrumentos, equipos de medición y equipos utilizados en las prácticas. Desarrollo de cuatro experimentos que introducen progresivamente al alumno en el uso de estos equipos.

En el Capítulo 3, se describen los fundamentos de los convertidores AC-DC monofásicos. Se emplea el analizador de energía Fluke 434 para el análisis de armónicos. Se utiliza el osciloscopio Fluke 192B para la medición de ángulos de disparo, conducción y extinción, así como para la captura de las formas de onda de voltaje y corriente de los semiconductores empleados en cada experimento. Se emplea el drive Mawdsley's.

En el Capítulo 4, se muestra una aplicación de los convertidores AC-DC monofásicos. Análisis de las partes constitutivas, del circuito de disparo y de los dos métodos de control de velocidad en un drive DC. Se emplea el equipo Terco MV4200.

En el Capítulo 5, se muestra un sistema de control de velocidad de motores DC en cuatro cuadrantes. Se analiza el panel eléctrico Fincor y el circuito electrónico del drive Fincor 2236MKII. Se muestran oscilogramas de los tipos de frenado del drive.

En el Capítulo 6, se describen los fundamentos de los convertidores AC-DC trifásicos. Empleo del analizador de energía Fluke 434 para el análisis de armónicos y figuras de merito. Se utiliza el osciloscopio Fluke 192B para la medición de ángulos de disparo, conducción y extinción, así como para la captura de las formas de onda de voltaje y corriente de los semiconductores empleados en cada experimento. Se realiza el arranque suave del motor DC. Se emplea el drive Mawdsley's.

En el Capítulo 7, se realiza una aplicación de convertidores AC-DC trifásicos. Se muestra el funcionamiento de un controlador profesional con interfaz de usuario. Este convertidor de potencia permite su accionamiento desde una PC, lo cual es ilustrado durante la práctica. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada al controlador. El convertidor de potencia empleado es el Mentor MP de la marca Control Techniques.

En el Capítulo 8, se describen los fundamentos de los convertidores AC-AC monofásicos y trifásicos. Empleo del analizador de energía Fluke 434 para el análisis de armónicos. Se utiliza el osciloscopio Fluke 192B para la medición de ángulos de disparo, conducción y extinción, así como para la captura de

las formas de onda de voltaje y corriente de los semiconductores empleados en cada experimento. Se realiza el arranque suave del motor de inducción. Se emplea el drive Mawdsley's.

En el Capítulo 9, se realiza una aplicación de los convertidores AC-AC trifásicos. Se realiza la presentación del panel eléctrico Altistart. Se realizan experimentos para mostrar el uso de un arrancador suave. Se muestra el uso del software PowerSuite. El convertidor de potencia empleado es el Altistar48 de la marca Telemecanique.

En el Capítulo 10, se realiza una aplicación de los convertidores DC-AC trifásicos. Se muestran las funcionalidades de un variador de frecuencia. Se muestra el uso del software PowerSuite. Se emplea el variador en lazo abierto y lazo cerrado. En lazo cerrado se controla el voltaje generado por un generador DC auto-excitado. El convertidor que se emplea en esta parte de la práctica es el Altivar31 de la marca Telemecanique.

En el Capítulo 11, se realiza una aplicación de los convertidores DC-AC trifásicos. Se muestran las funcionalidades de un variador de frecuencia. Se muestra el uso del software MCT10. Se emplea el variador en lazo abierto y lazo cerrado. En lazo cerrado se controla el voltaje generado por un generador DC auto-excitado. El convertidor que se emplea en esta parte de la práctica es el Danfoss FC302 de la marca Danfoss.

Finalmente, se efectúan las conclusiones basadas en los resultados de las pruebas experimentales de cada capítulo. En las recomendaciones se enfatiza la estructura que debe tener un manual relacionado a un drive junto con su panel eléctrico y se proponen futuros temas de proyecto para la materia de Laboratorio de Electrónica de Potencia.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Descripción del problema.

El laboratorio de electrónica de potencia dispone de 10 prácticas semestrales las cuales son dictadas por los ayudantes académicos bajo la supervisión del jefe del laboratorio Msc. Damián Larco G. Cada vez que un ayudante académico de mayor experiencia se retira se debe capacitar a un nuevo ayudante. Esta capacitación es realizada generalmente por el ayudante que se retira. Frecuentemente, la transmisión de todo el conocimiento y pericia sobre las prácticas no es realizada completamente, por lo que el tiempo de explicación de las prácticas aumenta. Por este motivo se requiere documentar el proceso de realización de cada practica con el fin de que los nuevos ayudantes dispongan de todo el conocimiento referente a la práctica con el fin de que el dictado de la misma sea realizado sin errores y adicionalmente, tengan la posibilidad de prescindir de los ayudantes de mayor experiencia en caso de no localizarlos.

1.2. Solución.

En la solución del problema planteado, se crea un manual que detalla una secuencia de prácticas que van introduciendo al alumno progresivamente en lo referente a instrumentación, convertidores AC/DC monofásicos, controladores de velocidad de motores DC en base a convertidores AC/DC monofásicos en dos y cuatro cuadrantes, convertidores AC/DC trifásicos, controladores de velocidad de motores DC profesionales con programación en diagrama de bloques, convertidores AC/AC monofásicos y trifásicos, arrancadores suaves y dos tipos de variadores de frecuencia.

1.3. Justificación

Actualmente, las prácticas del Laboratorio de Electrónica de Potencia emplean equipos de tecnología actual los cuales son encontrados frecuentemente en la industria. Es necesario disponer de un compendio de información sobre el manejo de estos equipos. Es este el motivo que nos motiva a plantear una solución a este problema.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Esquematizar el proceso de enseñanza de las prácticas semestrales del Laboratorio de Electrónica de Potencia.

1.4.2. Específicos

A continuación se listan los objetivos por capítulo a partir del capítulo 2 hasta el 11:

- En el capítulo 2 fue necesario recabar información sobre los distintos equipos e instrumentos empleados en la práctica. Esta información se refiere a los datos de placa de los motores DC e inducción de jaula de ardilla y de anillos rozantes, identificación de terminales de los equipos como los motores, la fuente de poder MV1300, taco-generadores AC y DC, terminales de los bancos de resistores, de capacitores y de inductores, uso del freno MV1045 y sus conexiones respectivas. Se diseñaron cuatro experimentos que introducen progresivamente los equipos e instrumentos.
- Los capítulos 3, 6 y 8 se relacionan con el drive educativo Mawdsley's. En estos capítulos, se busca mostrar las figuras de mérito en los convertidores AC-DC, AC-AC monofásicos y trifásicos para un ángulo de disparo dado y para una carga específica empleando el osciloscopio Fluke 192B como medio para obtener datos. Con este instrumento, se muestra la forma para fijar el ángulo de disparo, la forma para medir el ángulo de extinción y de conducción. Se muestra que en el equipo Mawdsley's es posible adquirir y visualizar las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente de los semiconductores en las diferentes topologías de convertidores empleando el osciloscopio.

- El capítulo 4 tiene como objetivo diseñar experimentos que ilustren los métodos de control de velocidad de un drive DC. Se describen los bloques de un drive DC. Se analizan estos dos tipos de control que son el de compensación I_xR y por taco-generador.
- El capítulo 5 busca describir los componentes electrónicos de un drive DC profesional con operación en cuatro cuadrantes. Se analiza el diagrama eléctrico del panel correspondiente. Se diseñan experimentos para observar la regulación de velocidad empleando los dos métodos de control, es decir, I_xR como por taco-generador. Se muestra el frenado regenerativo y dinámico en base a oscilogramas del voltaje y corriente de salida.
- El capítulo 7 tiene como fin mostrar el uso de un controlador de velocidad de motor DC profesional y usar el software de programación CT-Soft el cual permite configurar el drive en base a diagramas de bloques a diferencia de otros software's de drives, que presentan los parámetros a configurar en forma de lista. Se describe el diagrama eléctrico del panel correspondiente. Se emplean diferentes metodos para variar la referencia de velocidad. Se implementan los dos métodos de control de velocidad: por taco-generador y por compensación I_xR . Se implementa el control de torque y el avance gradual. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada. Debido a que el equipo es un drive moderno, se analizaron las bondades que

presenta y luego de identificadas, se crearon los experimentos; lo mismo se realizo con los drives de los capitulos 9, 10 y 11.

- El capítulo 9 tiene como fin arrancar un motor de inducción y variar parámetros representativos del drive y observar su efecto en las variables del motor como corriente RMS, voltaje RMS, torque y velocidad. Se realiza el arranque en cascada de dos motores de inducción. Se implementan tres tipos de frenado del motor. Se analiza el diagrama eléctrico del panel y la lógica de control que permite el accionamiento del circuito de fuerza.
- Los capítulos 10 y 11 tienen como fin mostrar la parametrización básica y avanzada de un variador de frecuencia. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434. Se analizan dos métodos de control de flujo y la variación del voltaje línea-línea RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento en un rango de frecuencias de 5Hz a 50Hz.

1.5. Metodología.

Se describe a continuación el contenido de los capítulos 2 al 11, en los cuales se desarrollan las prácticas del Laboratorio de Electrónica de Potencia, pero previamente se indica que fue necesario realizar un listado de equipos.

- Fue necesario realizar un listado de los equipos para identificar los equipos disponibles en el Laboratorio con los cuales se realizan las

prácticas. Los equipos e instrumentos empleados en las practicas se detalla en el capítulo 2.

- Identificar progresivamente la instrumentación del Laboratorio de Electrónica de Potencia por medio de la descripción del modo de uso de la misma y diseñar experimentos de baja complejidad con el fin primordial de comprender el uso de equipos e instrumentos que seran empleados en las practicas siguientes.
- Identificar los fundamentos de los convertidores AC-DC monofásicos y trifásicos al mostrar las figuras de mérito, el análisis de armónicos de la corriente de entrada del convertidor empleando carga resistiva. Se muestran las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente a través de los dispositivos electrónicos que forman parte de la topología de cada convertidor empleando carga resistiva-inductiva.
- Establecer los fundamentos de controladores de velocidad de motores DC basados en rectificadores monofásicos semi-controlados para operación en un cuadrante. Para ello, se describe el control de velocidad por medio del cambio del voltaje de armadura. Se describe el fundamento de los motores DC. Se muestran los bloques de un controlador de velocidad empleando el equipo Terco MV4200. Se varía la velocidad del motor DC en lazo abierto. Se analizan los dos métodos de control de velocidad, es decir, por taco-generador y por compensación I_xR . Se realiza la optimización de los controladores de

velocidad y de corriente. Se muestra la regulación de velocidad empleando los dos métodos.

- Identificar el circuito electrónico de un controlador de velocidad profesional de motor DC basado en un rectificador monofásico totalmente controlado para operación en cuatro cuadrantes. Analizar el diagrama eléctrico del panel. Observar la regulación de velocidad empleando los dos métodos de control de velocidad, adquisición de oscilogramas donde es posible observar la variación de corriente de armadura durante frenado regenerativo y dinámico.
- Emplear un controlador de velocidad de motores DC profesional en base de un rectificador trifásico totalmente controlado. Configurarlos por medio del software Ct-Soft. Realizar un auto-ajuste estático. Emplear los dos métodos de control de velocidad. Sintonización del controlador de velocidad en cada método. Observar la regulación de la misma. Realizar el análisis de armónicos de la corriente de entrada. Se protege térmicamente el motor mediante el drive. Se varía la velocidad del motor por medio de la configuración de velocidades preseleccionadas. Se implementa el avance gradual y el control de torque del motor DC.
- Identificar los fundamentos de los controladores AC-AC monofásicos y trifásicos al mostrar las figuras de mérito, el análisis de armónicos de la corriente de entrada del convertidor y formas de onda de voltaje

ánodo-cátodo de los dispositivos electrónicos que forman parte de la topología de cada convertidor empleando carga resistiva-inductiva.

- Comprender el funcionamiento de un arrancador suave, parametrización, modificación de parámetros en el drive y su efecto en variables como torque, velocidad, corriente y voltaje línea-línea del motor de inducción. Análisis de la forma de corriente de salida del arrancador suave. Se emplea el software Power Suite.
- Configurar un variador de frecuencia. En el presente documento se emplean dos tipos de variadores: el Altivar31 de la marca Telemecanique y el Danfoss FC302 de la marca Danfoss. En ambos se comparan los métodos de control de flujo disponibles en el variador y se observan sus efectos en la velocidad, torque, deslizamiento, voltaje y corriente en un rango de 5Hz a 50Hz. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada. Se realiza el autoajuste en el variador Altivar31 y en el Danfoss FC302 se realiza un procedimiento similar denominado adaptación automática del motor. En ambos variadores se implementan las velocidades preseleccionadas y el control de voltaje generado en un generador DC. En el variador Danfoss FC302 se implementa el control de torque de un motor de inducción.

CAPÍTULO 2

FAMILIARIZACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS, EQUIPOS DE MEDICIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS PRÁCTICAS.

En el presente capítulo se recaba la información referente a los equipos e instrumentos a emplearse en todas las prácticas y se implementan experimentos que involucran los equipos e instrumentos. La sección 2.2 resume la información los mismos mientras que en la sección 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se desarrollan los experimentos.

2.1. Listado de equipos a emplearse.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación:

- Fuente de poder MV1300
- Banco trifásico resistivo MV1100
- Banco trifásico inductivo MV1101
- Banco trifásico capacitivo MV1102
- Máquina DC MV1006

- Motor de inducción jaula de ardilla MV1009
- Motor de inducción de anillos rozantes MV1007
- Freno por corrientes de Eddy MV1045
- Tacogenerador DC MV1024
- Tacogenerador AC MV1025
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Analizador de energía FLUKE 434 ó 435
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE TACH20
- Interruptor TERCO MV 1500
- Cables de tipo banana.

2.2. Descripción de los equipos e instrumentos a emplearse

2.2.1. Fuente de poder MV1300

Esta fuente de poder es especialmente adaptada para experimentos de laboratorio en máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Puede ser usada donde se requiere voltaje AC ó DC fijo ó variable.

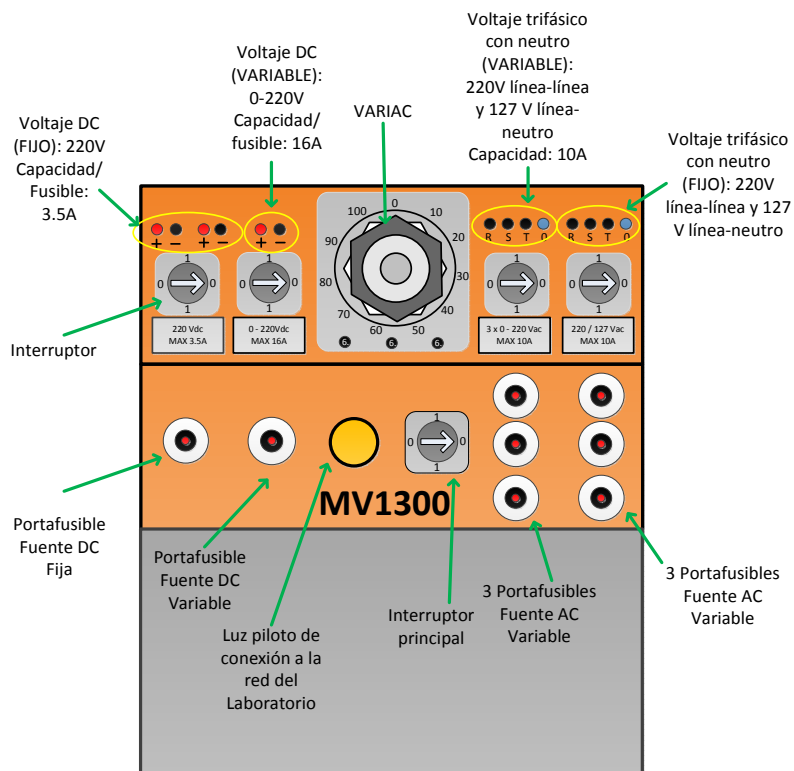


Figura 2.1: Fuente de poder MV1300 y sus terminales.

En el Laboratorio de Electrónica de Potencia existen dos fuentes de poder MV1300, de las cuales una está averiada y dos están en funcionamiento parcial. En ellas, es posible que los interruptores principales y los variac's no funcionen correctamente. En esos casos, emplear directamente el interruptor de cada una de las cuatro fuentes de cada fuente MV1300.

2.2.2. Banco trifásico resistivo MV1100

Dispone de tres resistores independientes que pueden soportar hasta 5A. Cada resistor tiene su propio porta-fusible. Presenta una manivela, que permite variar el valor de la resistencia de los tres resistores

simultáneamente. La resistencia máxima de cada resistor es de aproximadamente 280 ohmios. En la manivela mencionada, es importante tomar en cuenta que en sentido anti-horario, el valor de la resistencia disminuye, por ello la corriente a través de cada resistor aumentará. Observar las Figs. 2.2 y 2.3. Las conexiones disponibles del banco, el voltaje nominal línea-línea a aplicarse y la corriente de línea de acuerdo a la conexión elegida, se muestra en la tabla 2.1.

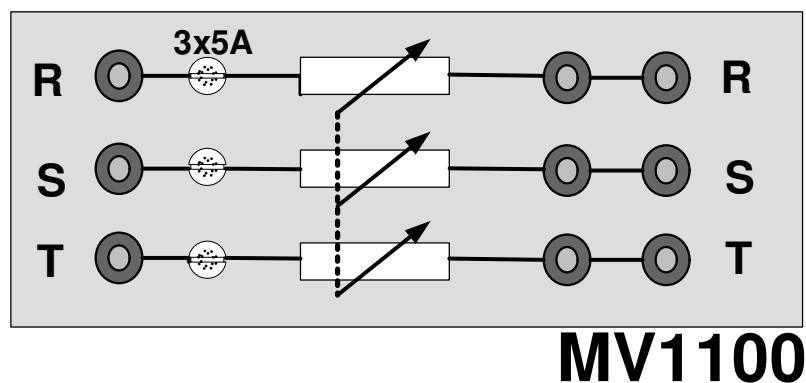


Figura 2.2: Terminales y porta-fusibles del banco resistivo MV1100

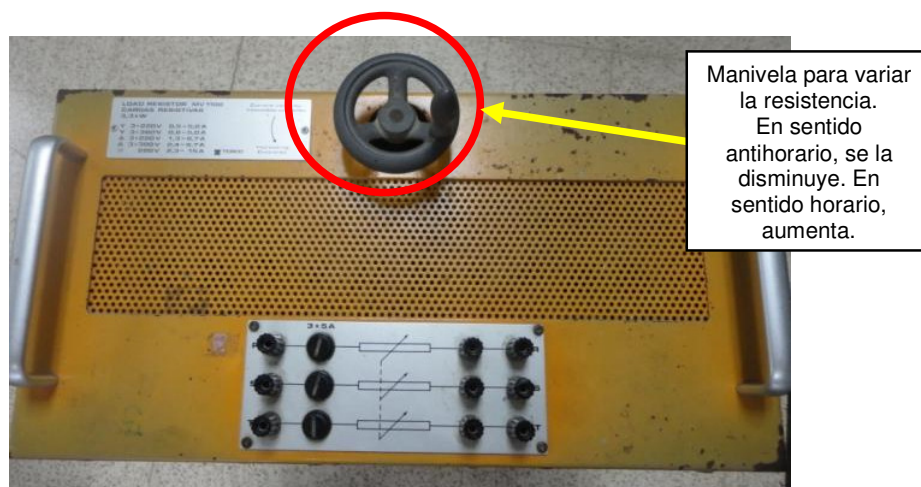


Figura 2.3: Vista superior del banco resistivo MV1100

POTENCIA MAXIMA DE ACUERDO A LA CONEXIÓN ELEGIDA		
CONEXIÓN	VOLTAJE (V)	CORRIENTE MÁXIMA (A)
Y	220	0.5 - 5
Y	380	0.8 - 5
Δ	220	1.3 - 8,7
Δ	380	2.4 - 8,7
//	220	2.3 - 15

Tabla 2.1: Conexiones e información de corriente nominal de acuerdo al voltaje aplicado y a la conexión empleada en el banco resistivo MV1100

2.2.3. Banco trifásico inductivo MV1101

Dispone de tres inductores independientes que pueden soportar hasta 5A. Cada inductor tiene su porta-fusible. Presenta un selector que permite variar el valor de la inductancia de los tres inductores simultáneamente. En la Fig. 2.4 se muestra el banco inductivo MV1101, con el selector en el paso 4. La corriente de línea-línea máxima es de 6.6A en conexión delta. En la Fig. 2.5 se muestra una imagen real del banco inductivo MV1101. La tabla 2.2 muestra el valor de la inductancia de cada inductor para cada paso o posición del selector; esta tabla fue dada por el fabricante del equipo.

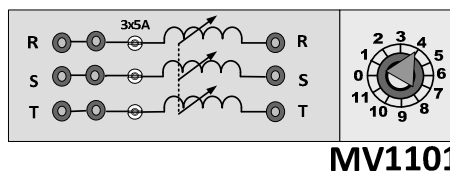


Figura 2.4: Terminales, selector y porta-fusibles del banco inductivo MV1101



Figura 2.5: Imagen real del banco inductivo MV1101

TABLA DE INDUCTANCIAS POR FASE	
PASOS	INDUCTANCIA (mH)
PASO 11	88
PASO 10	97
PASO 9	107
PASO 8	120
PASO 7	139
PASO 6	161
PASO 5	193
PASO 4	242
PASO 3	320
PASO 2	486
PASO 1	955
PASO 0	Circuito Abierto

Tabla 2.2: Valor de inductancia por fase de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101.

2.2.4. Banco trifásico capacitivo MV1102

Dispone de tres capacitores independientes que pueden soportar hasta 5A. Cada inductor tiene su propio porta-fusible. Presenta dos selectores. Uno de ellos permite desconectar los capacitores del circuito al que estén conectados y el otro selector, permite elegir el valor de la capacitancia de los tres capacitores. En la Fig. 2.6 se muestra el banco capacitivo MV1102, con el selector de capacitancia en el paso 4 y el selector de habilitación del banco en la posición de habilitación, es decir en 1. En la Fig. 2.7 se muestra una imagen real del banco capacitivo MV1102. La tabla 2.3 muestra el valor de la capacitancia de cada capacitor para el paso seleccionado; los valores de capacitancia fueron medidos con el multímetro Fluke 87V, dado que no se disponen de los valores de fábrica.

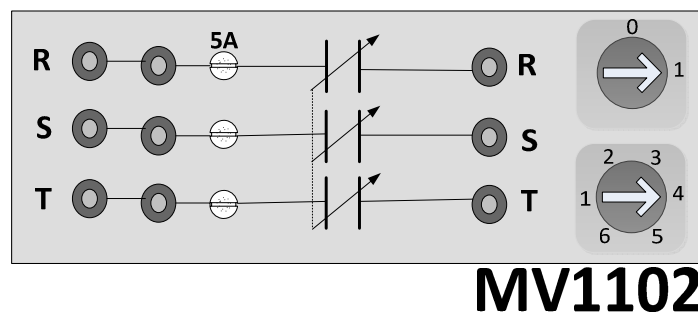


Figura 2.6: Diseño en Microsoft Visio del banco capacitivo MV1102



Figura 2.7: Vista superior del banco capacitivo MV1102

TABLA DE CAPACITANCIAS POR FASE	
PASOS	CAPACITANCIA (uF)
PASO 6	60.5
PASO 5	50.3
PASO 4	40.3
PASO 3	30.2
PASO 2	20.1
PASO 1	10.0

Tabla 2.3: Valor de capacitancia por fase de acuerdo al paso elegido en el banco capacitivo MV1102.

2.2.5. Máquina DC MV1006

Esta máquina eléctrica tiene un devanado paralelo y un devanado serie y puede ser conectada como motor shunt, motor serie, motor compuesto, generador shunt, generador serie o generador compuesto.

La máquina MV1006 tiene también polos de conmutación (inter-polos) que mejoran las características de la máquina.

En la mayoría de las prácticas que requieran emplear la máquina mencionada, se lo hará como *motor de excitación separada*. Sólo en las prácticas 10 y 11, se la empleará como *generador auto-excitado*.

Una imagen real de la máquina MV1006, se emplea en la Fig. 2.8.

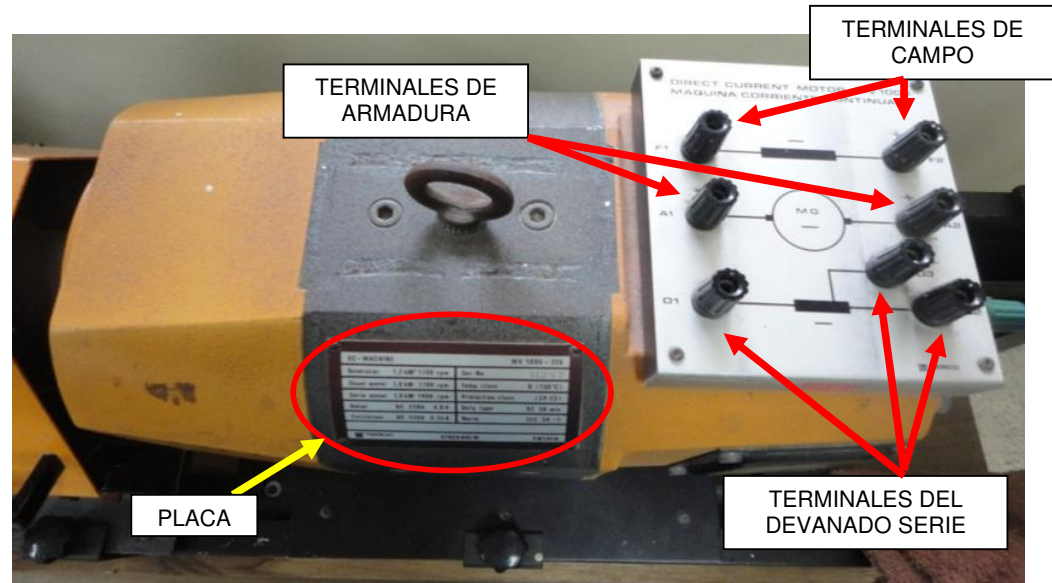


Figura 2.8: Vista superior de la máquina MV1006.

Con respecto al devanado serie de la máquina en mención, el devanado serie, tiene una terminal, la cual es D3 y se encuentra a $2/3$ de este devanado.

La caja de borneras de la máquina DC MV1006 se muestra en la Fig. 2.9. Una imagen real de la placa de la máquina DC MV1006 se muestra en la Fig. 2.10. Los datos de placa de la máquina MV1006 se indican en la tabla 2.4.

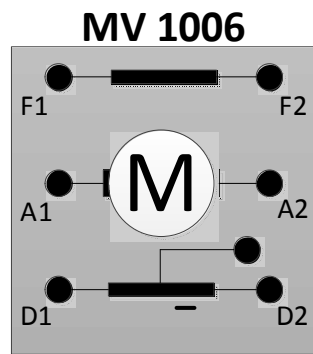


Figura 2.9: Caja de borneras de la máquina MV1006.

DC - MACHINE		MV 1006 - 226	
Generator	1,2 kW 1700 rpm	Ser. No	14236
Shunt motor	1,0 kW 1700 rpm	Temp. class	8 (130°C)
Serie motor	1,0 kW 1400 rpm	Protection class	(IP 23)
Rotor	DC 220V 6,0A	Duty type	S2 30 min
Excitation	DC 220V 0,55 A	Norm	IEC 34 -1
TERCO		STOCKHOLM SWEDEN	

Figura 2.10: Placa de la máquina MV1006.

Máquina - DC		MV 1006-226 TERCO (código)	
GENERADOR	1.2KW 1700 RPM	Número de serie	14236
MOTOR SHUNT	1.0KW 1700 RPM	Clase de temperatura	8 (30°C)
MOTOR SERIE	1.0KW 1400 RPM	Clase de protección	IP 23
EXCITACIÓN	220 [V] 0.55 [A]	Tipo de trabajo	S2 30min
ROTOR	220 [V] 6 [A]	Norma	IEC 34 - 1

Tabla 2.4: Información de placa de la máquina DC MV1006

De la tabla anterior, se rescata que tanto el voltaje nominal de la armadura (Rotor) y del campo es de 220V. La corriente nominal del campo es de 0.55A, mientras que la corriente nominal de la armadura es de 6A. Adicionalmente, la potencia nominal entregada como motor es de 1KW y que la velocidad nominal del motor es de 1700 rpm. Este valor de velocidad es el valor máximo que puede tolerar la parte mecánica de la máquina. Para evitar reducir su vida útil, se recomienda no sobrepasar este valor.

Como información adicional, el momento de inercia de la máquina es de 0.012Kgm². Adicionalmente, el peso de la misma es de 45Kg.

Existen 3 máquinas MV1006 disponibles en el laboratorio.

Una prueba sencilla en la máquina DC consiste en medir la resistencia de armadura y la resistencia de campo. La relación es de 1:100; es decir, que la resistencia de campo es aproximadamente 100 veces mayor que la de armadura. En una medición aleatoria, la resistencia de armadura arrojó el valor de 3.7 Ω y la resistencia de campo es de 337 Ω .

2.2.6. Motor de inducción jaula de ardilla (MIJA) MV1009

Existen 3 motores de inducción jaula de ardilla MV1009 en el Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la Fig. 2.11, se muestra una imagen real de la MIJA MV1009.

Los datos de placa de los motores de inducción jaula de ardilla MV1009, de código de inventario 20835-1 y 20835-3 se muestran en la Tabla 2.5.

Una imagen real de la placa de una de estas MIJA's se muestra en la Fig. 2.12.

Los datos de placa del motor de inducción jaula de ardilla MV1009, de código de inventario 20835-2 se muestran en la Tabla 2.6.

Una foto de la placa de esta MIJA se muestra en la Fig. 2.13.



Figura 2.11: Vista frontal de la MIJA MV1009.

TyP M90 L4		
3 - Mot.	Nr.	150688
ΔY 220/380 V	6.95/4 A	
1,5 KW	S1	cos ϕ 0.75
2 HP	1420 min ⁻¹	50 HZ
Isol.Ki.B	IP 44	
SI	M1	

Tabla 2.5: Información de placa de los motores de inducción jaula de ardilla MV1009, de código 20835-1 y 20835-3.



Figura 2.12: Placa de la MIJA MV1009 código de inventario 20835-1 y 20835-3.

Tipo	MOT 3 M 90 L4					
IP 44	ICL 8	S 1	PROD M89			
Hz	HP	KW	V	A	cos φ	min ⁻¹
50	2	1.5	ΔY 220/380	6.95/4	0.79	1400
50	2	1.5	ΔY 240/415	6.43/3.72		1400
60	2.4	1.8	ΔY 255/440	5.77/3.34		1690

Tabla 2.6: Información de placa del motor de inducción jaula de ardilla MV1009, de código 20835-1

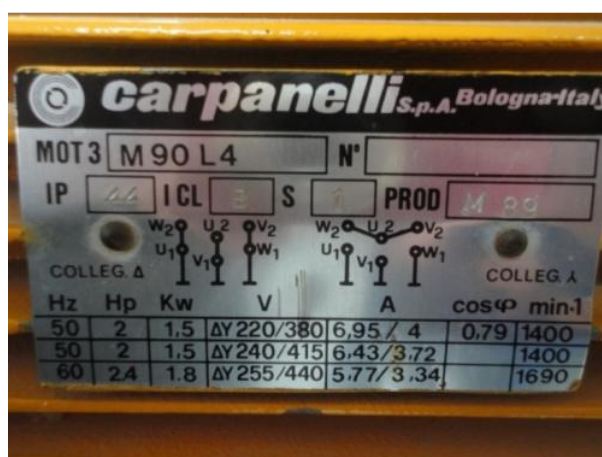


Figura 2.13: Placa de la MIJA MV1009 código de inventario 20835-2.

Con respecto a la figura anterior, la comprensión del diagrama de conexiones se realiza en base al voltaje disponible en la red de alimentación. En el caso del Laboratorio de Electrónica de Potencia, se dispone de $208V_{L-L}$ con neutro. Al referirnos al diagrama de conexiones en la placa del motor, el mínimo voltaje a aplicarse en el motor es de 220V; en este caso la conexión que debe realizarse en el mismo debe ser delta. Dado que el mínimo voltaje disponible en el Laboratorio es de $208V_{L-L}$, se debe conectar el motor en delta y aplicarle este voltaje de línea a línea. La corriente nominal del motor en esta conexión es de 6.95A.

En la Fig. 2.14 se muestra una imagen de la conexión en delta de las cajas de borneras de las MIJA's MV1009 de código de inventario 20835-1 y 20835-3. Para realizar la conexión, se toma en cuenta la siguiente secuencia: U2 con V1, V2 con W1, W2 con U1. En la Fig. 2.15 se muestra una imagen de la conexión en delta de las cajas de borneras de las MIJA's MV1009 de código de inventario 20835-2.

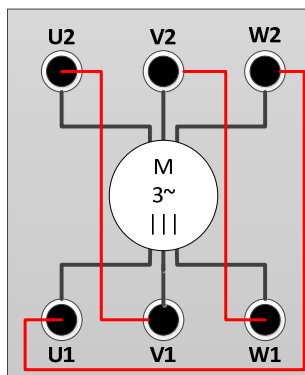


Figura 2.14: Conexión en delta de la caja de borneras de las MIJA MV1009 de código de inventario 20835-1 y 20835-3.

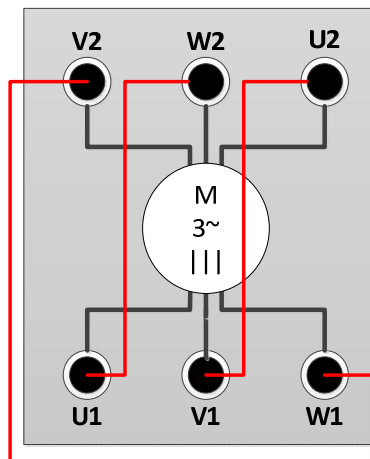


Figura 2.15: Conexión en delta de la caja de borneros de la MIJA MV1009 de código de inventario 20835-2.

Se puede notar en las Figs. 2.14 y 2.15 que las conexiones son diferentes dado que la conexión de las bobinas hacia la caja de borneros en la MIJA de código de inventario 20835-2 es diferente que la de la conexión original de fábrica, la cual es la que se presenta en las MIJA's de código de inventario 20835-1 y 20835-3.

Antes de realizar experimentos con el motor y teniendo la caja de borneros sin conexiones, se recomienda verificar la continuidad de las bobinas y la no continuidad entre ellas o aislamiento. Es decir, probar la continuidad entre U1 y U2, dado que entre estas terminales existe una bobina del estator de la MIJA. Para probar el aislamiento entre bobinas, probar que no exista continuidad entre las terminales U1 y V1, por citar un caso.

2.2.7. Motor de inducción de anillos rozantes MV1007

Existe un motor de este tipo en el Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la Fig. 2.16, se muestra una imagen real de la máquina MV1007. Los datos de placa de la máquina MV1009, se muestran en la Tabla 2.1. Una imagen real de la placa se muestra en la Fig. 2.11.



Figura 2.16: Vista superior de la máquina MV1007.

MOTOR DE INDUCCION DE ANILLOS ROZANTES			
1.5 KW	trifásico	Número de serie	15179
1440 RPM	50 Hz	Clase de temperatura	B (130 ⁰ C)
Y 380 V	4.5 A	Clase de protección	IP 23
Δ 220 V	1.8A	Tipo de trabajo	S2 30 min
cos φ	0.64	Norma	IEC 34 – 1 1969
sec 260V	3.7 A		

Tabla 2.7: Información de placa del motor de inducción de anillos rozantes MV1007



Figura 2.17: Placa de la máquina MV1007

De la Tabla 2.7, se rescata que debido a la disponibilidad de $208V_{L-L}$ en el Laboratorio, se debe conectar la máquina MV1007 en delta. En este caso la corriente nominal del motor es de 7.8A.

En la Fig. 2.18, se muestra la caja de borneras de la máquina MV1007 conectada en delta y los anillos deslizantes en cortocircuito, en caso de que se realice un arranque en vacío, como se realiza en el capítulo 8.

Al igual que con el motor de inducción MV1009, se sugiere comprobar la continuidad de las bobinas y aislamiento entre ellas.

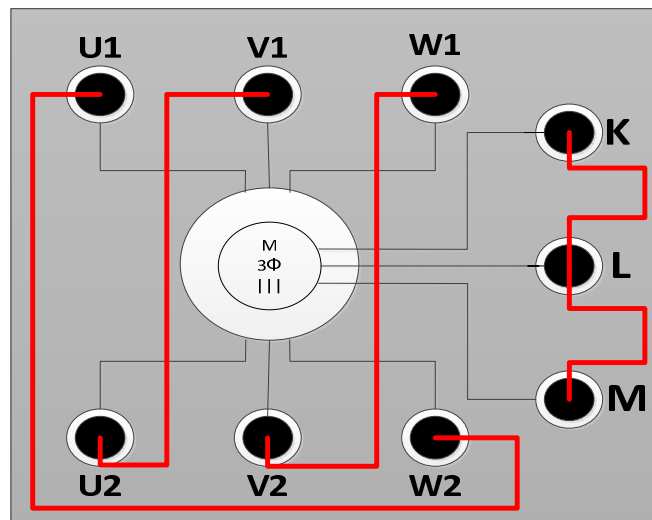


Figura 2.18: Conexión en delta de la caja de borneras de la máquina MV1007 con los anillos rozantes en cortocircuito.

2.2.8. Freno por corrientes de Eddy MV1045

El equipo TERCO MV1045 permite variar la carga mecánica aplicada a un motor eléctrico en base al efecto de freno producido por las corrientes de Eddy. Descripción adicional del funcionamiento electrónico del equipo TERCO MV1045, se muestra en la tesis de Jaime Vera Verzola, "Diseño e implementación de un equipo didáctico para el control y visualización de características dinámicas de motores eléctricos para el Laboratorio de Electrónica de Potencia", en la página 145.

Está formado por dos equipos: el control del freno y el freno como tal.

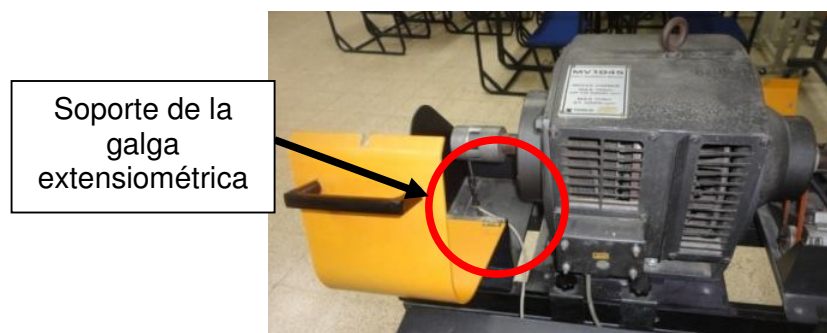
Una imagen real del panel frontal del control del freno se muestra en la Fig. 2.19. Una imagen real del freno y del soporte de la galga extensiométrica se muestra en la Fig. 2.20. Cabe recalcar que en el

Laboratorio, existe únicamente un soporte de galga extensiométrica con su respectiva galga. Una imagen real del equipo MV1045 se muestra en la Fig. 2.21.

En la Fig. 2.22, se muestra un diseño, con la vista frontal del control del freno MV1045.



Figura 2.19: Panel frontal del control del freno por corrientes de Eddy MV1045



Soporte de la
galga
extensiométrica

Figura 2.20: Freno por corrientes de Eddy MV1045 junto con el soporte de la galga extensiométrica (izquierda)



Figura 2.21: Control y freno del equipo MV1045 sobre la mesa de soporte de máquinas Terco.

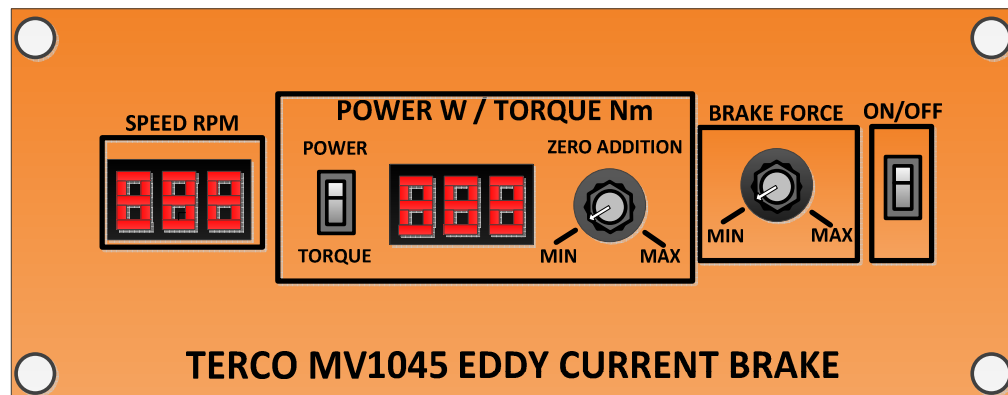


Figura 2.22: Vista frontal del control de freno por corrientes de Eddy MV1045

El indicador de velocidad, muestra la velocidad en RPM en base al voltaje entregado por el taco-generador conectado al equipo MV1045. Se pueden conectar al equipo MV1045 dos tipos de taco-generadores,

ya sea el taco-generador AC MV1025 o bien el taco-generador DC MV1024 como se verá posteriormente.

Con el selector **POWER/TORQUE** se puede seleccionar una de las dos variables a ser visualizadas en el indicador ubicado a la derecha de este selector. El cálculo de potencia se realiza en base a dos factores. El primer factor es el voltaje entregado por el taco-generador conectado al equipo MV1045, el cual es proporcional a la velocidad y el segundo factor es la deflexión de la galga extensiométrica, la cual está conectada al equipo MV1045, y está relacionada con el torque. Recordemos que el producto de estas dos variables mecánicas, torque y velocidad, es la potencia. El torque mostrado en el indicador correspondiente, es el torque mecánico. Aquel es igual al torque eléctrico del motor, cuando el motor se encuentra en estado estable, es decir que la velocidad del motor está fija y no existe aceleración; es decir, que en estado estable se puede observar el torque eléctrico del motor.

El potenciómetro **ZERO ADDITION**, permite calibrar en cero el valor de potencia o torque visualizado en caso de que el potenciómetro **BRAKE FORCE** se encuentre en la posición mínima.

El potenciómetro **BRAKE FORCE**, es el más importante del panel frontal del equipo MV1045. Su función es regular la intensidad del freno aplicado al motor. En las prácticas con la máquina DC MV1006, funcionando como motor, el aumento de carga mecánica es realizado a

partir de la mitad del rango en el cual se puede variar el potenciómetro en mención.

Finalmente, el selector **ON/OFF** permite energizar o apagar el equipo MV1045. En la Fig. 2.23, se muestra un diseño en Microsoft Visio, con la vista posterior del control del freno MV1045.

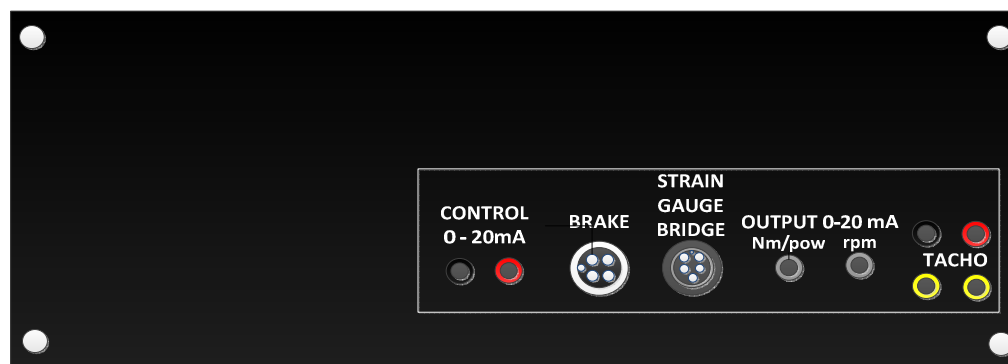


Figura 2.23: Vista posterior del control de freno por corrientes de Eddy MV1045

Las borneras **CONTROL** tienen la misma finalidad que el potenciómetro BRAKE FORCE, es decir, la variación de la carga mecánica; la diferencia radica en la posibilidad de que la misma se puede realizar de forma remota empleando una señal de 0-20mA entregada por un transmisor de corriente y por ende no es necesario que esté presente una persona junto al equipo MV1045. Por ejemplo, se puede enviar hacia estas borneras una señal de 0-20mA a través de una tarjeta de adquisición, donde la variación de corriente se realiza desde el software de la tarjeta de adquisición.

El conector hembra de 4 pines, **BRAKE**, sirve para conectar el freno y su control, es decir, las dos partes del equipo MV1045, por ende este es el único conector más importante al momento de realizar una experimentación, dado que sin estar conectado al freno como tal, no es posible variar la carga mecánica a pesar de variar el potenciómetro BRAKE FORCE.

En el conector hembra de 5 pines, **STRAIN GAUGE BRIDGE**, se conecta la galga extensiométrica al control del equipo. Esta conexión es opcional, su propósito es únicamente medir el torque mecánico aplicado al motor pero no interviene en el proceso de variación de carga mecánica.

En los conectores hembra BNC (empleados en generadores de funciones), **N.n/pow** y **rpm**, se disponen de salidas de corriente de 0-20mA tanto de velocidad como de torque o potencia. Estas salidas de corriente, corresponden a las medidas de velocidad y potencia/torque visualizadas en los indicadores respectivos mostrados en el panel frontal del control del equipo MV1045. El rango de la velocidad mostrada en el panel frontal es de 0-3000 rpm, el de torque es de 0-15 N/m y el de potencia 0-4710W; al conocer los rangos, es posible realizar la conversión de corriente en velocidad, torque o potencia.

Existen dos pares de borneras **TACHO**. En el par de borneras de colores negro y rojo, se debe conectar el taco-generador DC MV1024, mientras que en el par de borneras amarillas, se debe conectar el taco-

generador AC MV1025. Cabe recalcar, que sólo se debe conectar un tipo de taco-generador al mismo tiempo.

Existen 4 controles y 4 frenos por corrientes de Eddy disponibles en el Laboratorio, sin embargo, solamente se encuentran en funcionamiento dos. Los códigos de inventario de los controles en funcionamiento son 20848-1 y 20848-2. Los códigos de inventario de los frenos en funcionamiento son 20848-1 y 20848-3.

2.2.9. Taco-generador DC MV1024

El taco-generador DC es en sí, una máquina DC que funciona como generador de excitación separada. Por medio de una banda de transmisión, su eje se acopla con el eje de la máquina cuya velocidad se desea medir. El extremo del eje del taco-generador DC posee una rueda dentada sobre la cual se sujeta la banda de transmisión. En la máquina a la cual se desea medir su velocidad, se debe verificar que su eje posea también una rueda dentada, para poder colocar el otro extremo de la banda de transmisión. Esto se ilustra en la Fig. 2.24. En la Fig. 2.25 se muestra el taco-generador DC.

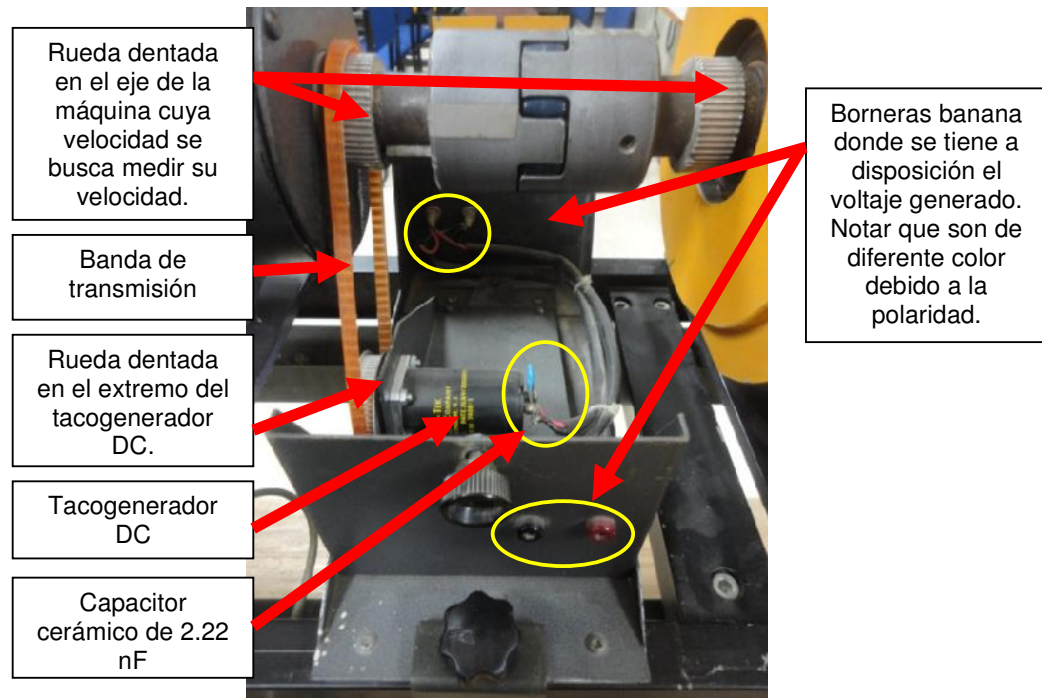


Figura 2.24: Imagen real de la estructura metálica que soporta el tacogenerador DC MV1024



Figura 2.25: Taco-generador DC MV1024

La relación de voltaje versus velocidad del taco-generator se muestra en la Fig. 2.26. Si el motor se encuentra girando a 1000rpm entonces el voltaje generado en las terminales del taco-generator es de 20.8V. El fabricante establece una relación lineal entre la velocidad y el voltaje generado, es decir que si la máquina, a la cual se desea medir su velocidad, gira a 2000rpm, entonces el voltaje generado será de 41.6V.



Figura 2.26: Relación de voltaje vs velocidad dada por el fabricante del taco-generator DC MV1024

En los taco-generadores DC que se disponen en el Laboratorio, la relación voltaje vs velocidad del fabricante no coincide con la obtenida de forma experimental. El método experimental para obtener esta relación consiste en hacer girar la rueda dentada del taco-generator a diferentes velocidades y luego medir el voltaje generado en las borneras del taco-generator DC y simultáneamente con el tacómetro Amprobe TACH20, medir la velocidad en el eje de la máquina que está girando para finalmente obtener una gráfica voltaje generado vs velocidad. El procedimiento será descrito en una sección posterior de este capítulo. En la presente sección se muestran los resultados experimentales en la

cual se obtiene la relación voltaje vs velocidad, de los tres tacogeneradores DC MV1024 disponibles en el Laboratorio.

En esta experimentación, es importante definir el sentido de giro y la terminal de referencia para la medición del voltaje generado. La terminal referida será la bornera de color negro. Observar la Fig. 2.27.

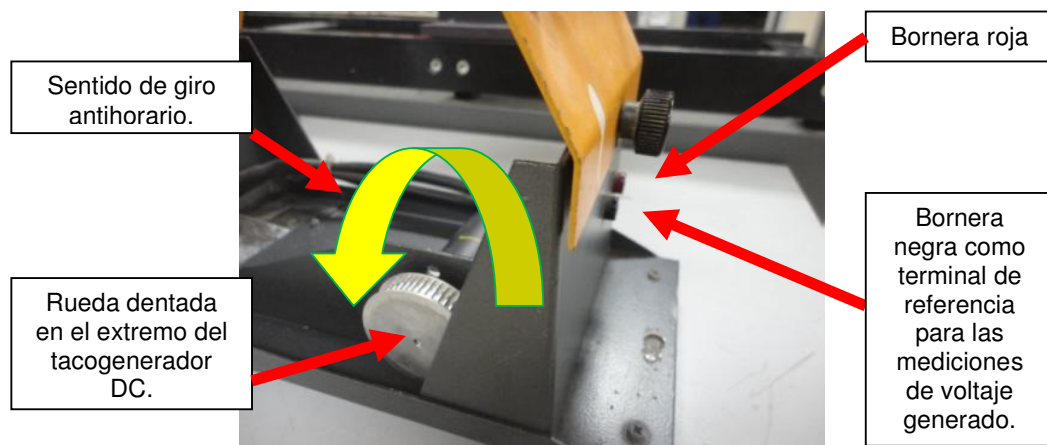


Figura 2.27: Referencias de sentido de giro y de bornera en el tacogenerador DC MV1024

Se obtendrán las relaciones de voltaje generado vs velocidad para cada uno de los tres tacogeneradores DC existentes en el Laboratorio. El voltaje es medido con el multímetro Fluke 87V y la velocidad con el tacómetro Amprobe IR Tach20. El primer tacogenerador será el de código de inventario 20829-1. Si la rueda dentada del tacogenerador DC gira en sentido *horario* y se mide el voltaje en las borneras banana del tacogenerador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.8. Tomar en cuenta que el voltaje generado es negativo en estas condiciones. La gráfica de los datos se muestra en la Fig. 2.28.

TACO GENERADOR DC 20829-1 (sentido <i>horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE GENERADO (V)
253	-4.94
494	-9.63
752	-14.67
1001	-19.53
1251	-24.4
1508	-29.33

Tabla 2.8: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido horario

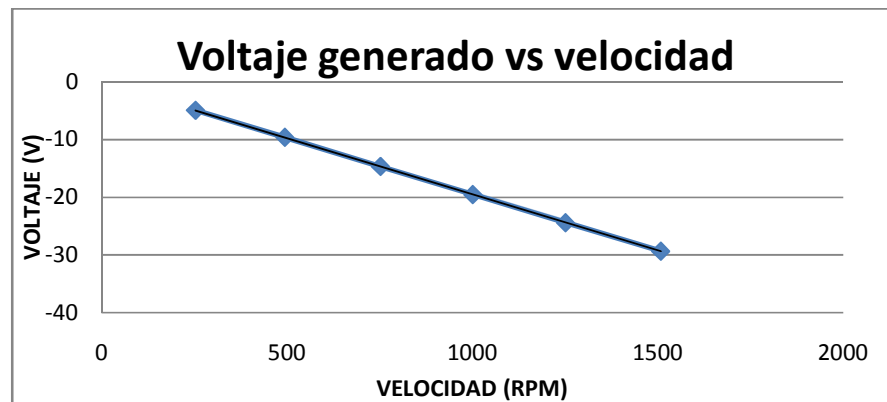


Figura 2.28: Grafica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido horario

En estas condiciones, la relación voltaje generado vs velocidad es de 19.43V/1000rpm.

Si la rueda dentada del taco-generador DC gira en sentido *anti-horario* y se mide el voltaje en las borneras banana del taco-generador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.9. Tomar en cuenta que el voltaje generado es positivo en estas condiciones. La gráfica de los

datos se muestra en la Fig. 2.29. En estas condiciones, la relación voltaje generado vs velocidad es de 19.37V/1000rpm.

TACO GENERADOR DC 20829-1 (sentido <i>anti-horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE GENERADO (V)
253	4.9
501	9.73
749	14.51
1000	19.34
1248	24.19
1500	29.06

Tabla 2.9: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario

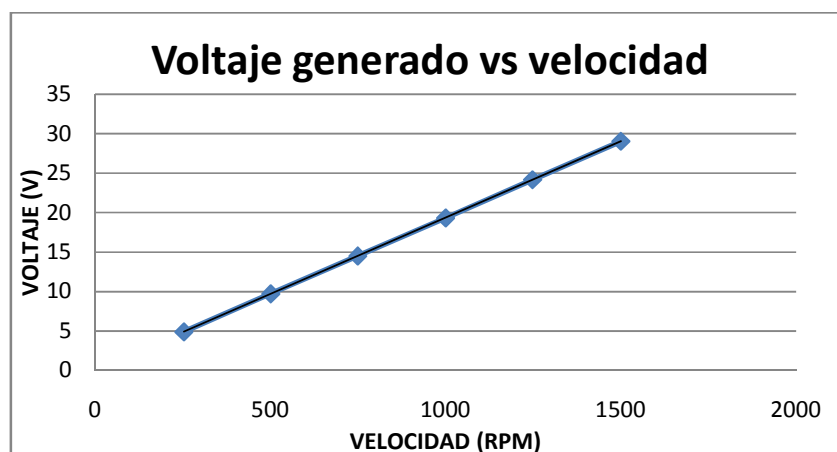


Figura 2.29: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario

El segundo taco-generador es el de código de inventario 20829-2. Si la rueda dentada del taco-generador DC gira en sentido *horario* y se mide el voltaje en las borneras banana del taco-generador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.10. Tomar en cuenta que el voltaje

generado es positivo en estas condiciones. La gráfica de los datos se muestra en la Fig. 2.30. En estas condiciones, la relación voltaje generado vs velocidad es de 20.56V/1000rpm.

TACO GENERADOR DC 20829-2 (sentido <i>horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE GENERADO (V)
252	4.912
500	10.17
748	14.79
1002	19.48
1251	24.72
1503	30.63

Tabla 2.10: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido horario.

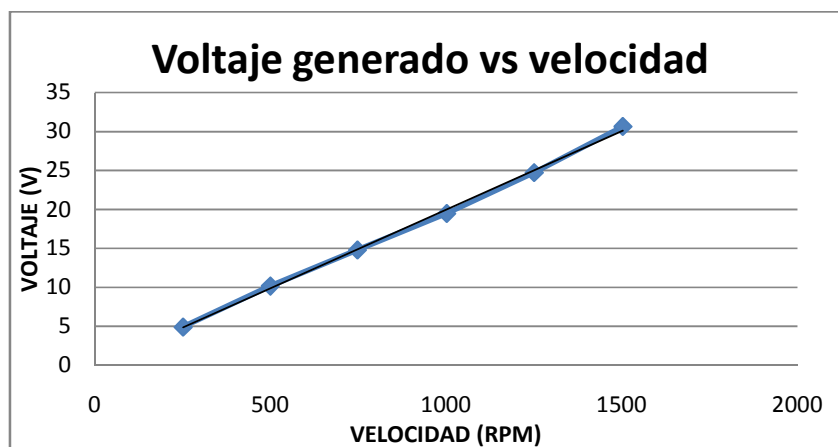


Figura 2.30: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido horario

Si la rueda dentada del taco-generador DC gira en sentido *anti-horario* y se mide el voltaje en las borneras tipo banana del taco-generador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.11. Tomar en cuenta que el voltaje generado es positivo en estas condiciones. La gráfica de los

datos anteriores se muestra en la Fig. 2.31. En estas condiciones, la relación voltaje generado vs velocidad es de 19.55V/1000rpm.

TACO GENERADOR DC 20829-2 (sentido <i>antihorario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE (V)
250	-4.85
498.3	-9.59
750	-14.57
1006	-19.47
1246	-24.13
1500	-29.29

Tabla 2.11: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido anti-horario

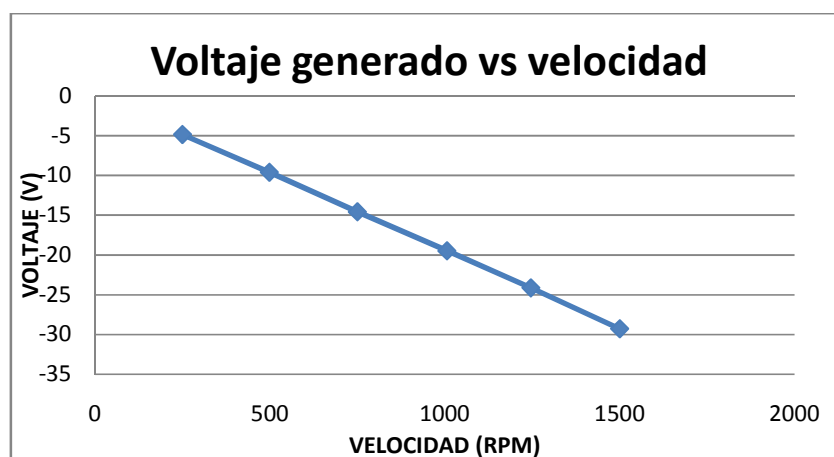


Figura 2.31: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-2 al girar en sentido anti-horario

El tercer taco generador es el de código de inventario 20829-3. Si la rueda dentada del taco-generador DC gira en sentido *horario* y se mide el voltaje en las borneras bananas del taco generador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.12. Tomar en cuenta que el voltaje generado es positivo en estas condiciones. La gráfica de los datos

anteriores se muestra en la Fig. 2.32. En estas condiciones, la relación voltaje generado vs velocidad es de 18.99V/1000rpm.

TACO GENERADOR DC 20829-3 (sentido horario)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE (V)
251	-4.77
497	-9.37
752	-14.33
1000	-19.01
1256	-23.86
1501	-28.51

Tabla 2.12: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido horario

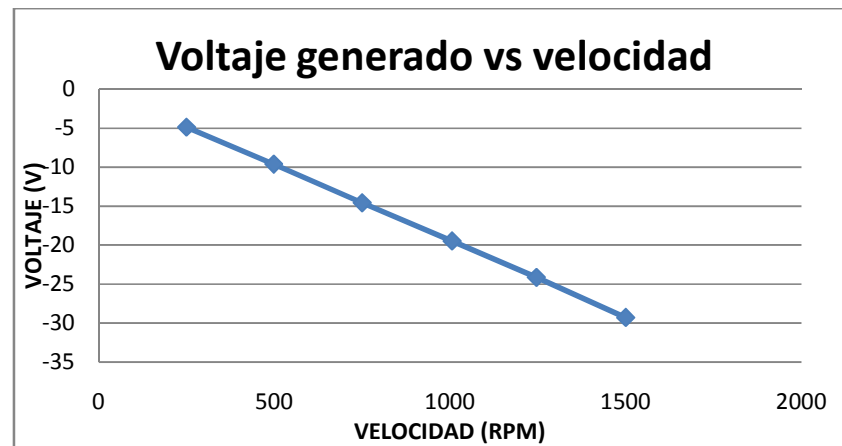


Figura 2.32: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido horario

Si la rueda dentada del taco-generador DC gira en sentido *anti-horario* y se mide el voltaje en las borneras tipo banana del taco-generador DC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.13. Tomar en cuenta que el voltaje generado es positivo en estas condiciones. La gráfica de los datos anteriores se muestra en la Fig. 2.33. En estas condiciones, la

relación voltaje generado vs velocidad es de 18.81V/1000rpm. Este taco-generador, no posee capacitor en sus terminales.

TACO GENERADOR DC 20829-3 (sentido anti-horario)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE(V)
249	4.645
500	9.48
751	14.12
996	18.04
1250	23.45
1500	28.18

Tabla 2.13: Velocidad y voltaje generado del taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido anti-horario

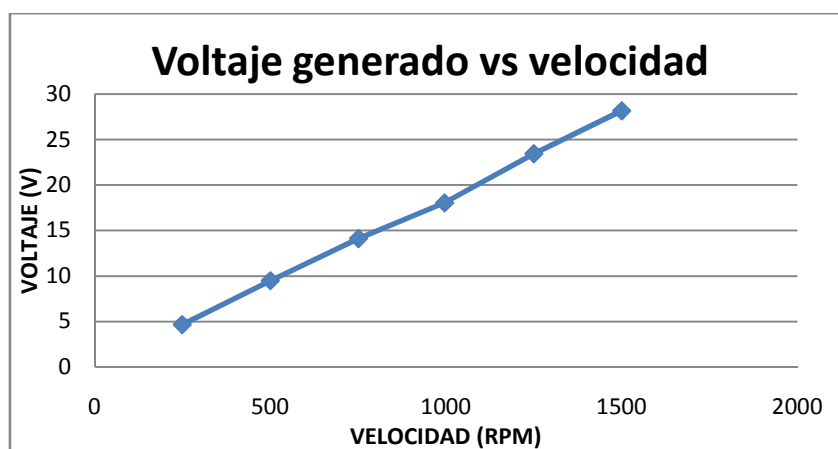


Figura 2.33: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador MV1024 de código 20829-3 al girar en sentido anti-horario

De esta forma se pone a disposición las relaciones de voltaje generado vs velocidad en ambos sentidos de giro de cada taco-generador MV1024 disponible en el Laboratorio de Electrónica de Potencia.

La vista frontal del taco-generador DC MV1024 mostrando las borneras, se muestra en la Fig. 2.34.

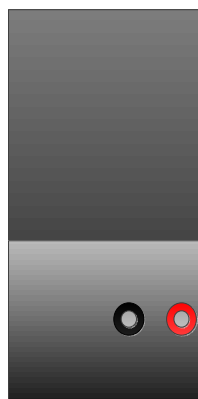


Figura 2.34: Borneras del taco-generator MV1024

2.2.10. Taco-generator AC MV1025

A diferencia del taco-generator DC, el taco-generator AC es un generador síncrono monofásico de imanes permanentes, por ello la frecuencia del voltaje generado será directamente proporcional a la velocidad del rotor. La disposición física del taco-generator AC en la estructura metálica es similar a la del taco-generator DC MV1024. Cabe recalcar que este taco-generator es solamente empleado en la práctica 4 correspondiente al control de velocidad por taco-generator de un motor DC.

En la Fig. 2.35 se muestra una imagen del mismo. En la Fig. 2.36 se muestra el taco-generator AC MV1024 como tal.

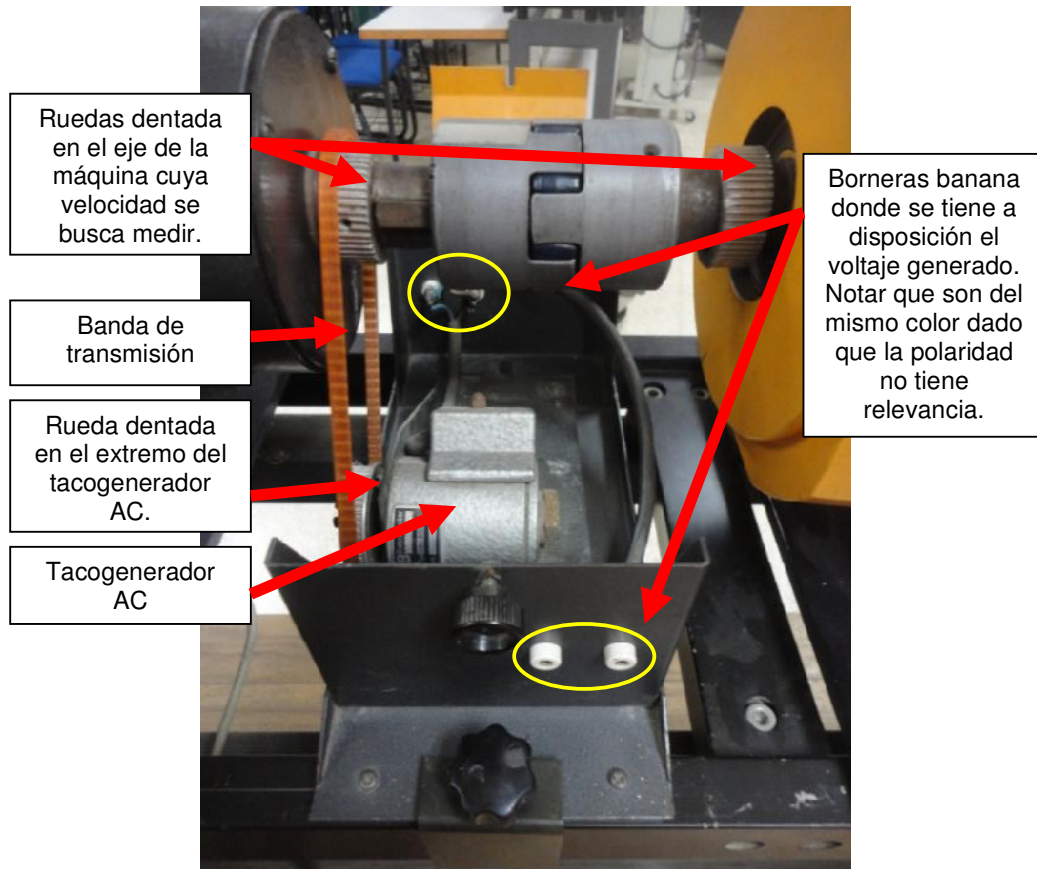


Figura 2.35: Imagen real de la estructura metálica que soporta el taco-generador AC MV1025



Figura 2.36: Taco-generador AC MV1025

En los taco-generadores AC MV1025 que se disponen en el Laboratorio, la relación frecuencia generada vs velocidad del motor será obtenida de forma experimental. Sin embargo, también se mostrará la relación voltaje RMS generado vs velocidad del motor.

En la Fig. 2.37, se define el sentido de giro anti-horario y la medición de frecuencia o voltaje generado RMS será independiente de la bornera que se toma como referencia para la medición de voltaje o frecuencia. La medición de frecuencia se realiza con el Multímetro FLUKE 87V.

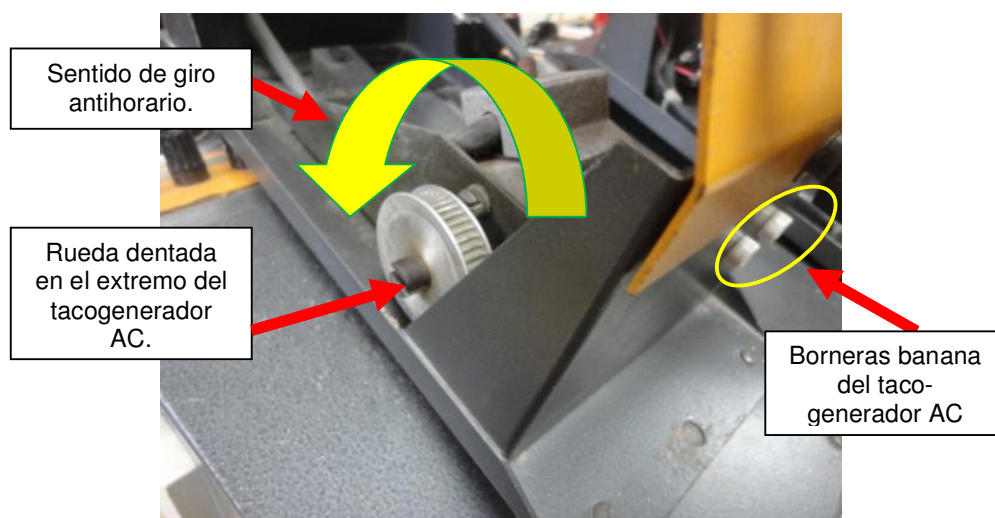


Figura 2.37: Taco-generador AC MV1025

Existen tres de estos tipos de taco-generadores de los cuales, sólo dos están en funcionamiento. El primer taco-generador será el de código de inventario 20830-1. Si la rueda dentada del taco-generador AC gira en sentido *horario* y se mide la frecuencia y el voltaje AC en las bornas tipo banana del taco-generador AC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.14. La gráfica de frecuencia generada vs velocidad se muestra

en la Fig. 2.38. La gráfica del voltaje AC generado vs velocidad se muestra en la Fig. 2.39. En estas condiciones, la relación frecuencia generada vs velocidad es de 49V/1000rpm y la relación voltaje AC generado vs velocidad es de 10V/1000rpm.

TACO-GENERADOR AC 20830-1 (Sentido horario)		
VELOCIDAD (RPM)	FRECUENCIA (Hz)	VOLTAJE AC GENERADO (V)
252	12.55	2.6
499	24.92	5.26
750	31.4	1.78
1005	50.14	10.5
1251	62.37	12.97
1503	74.85	15.57

Tabla 2.14: Velocidad, frecuencia y voltaje AC del taco-generator MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario.

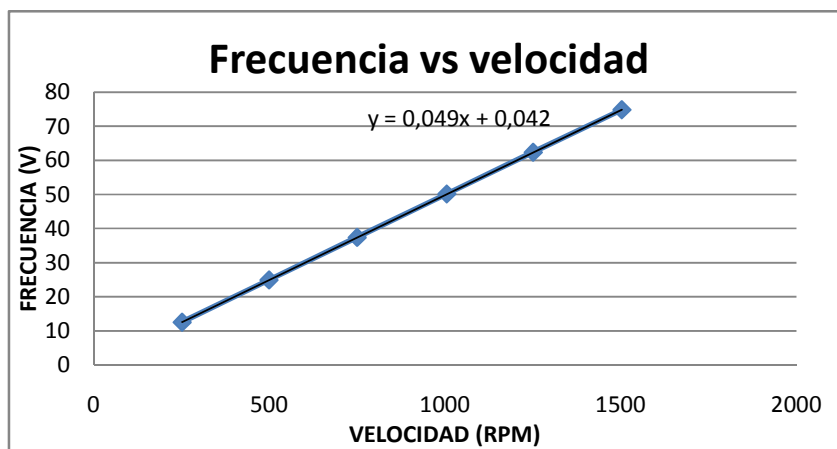


Figura 2.38: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco-generator MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario

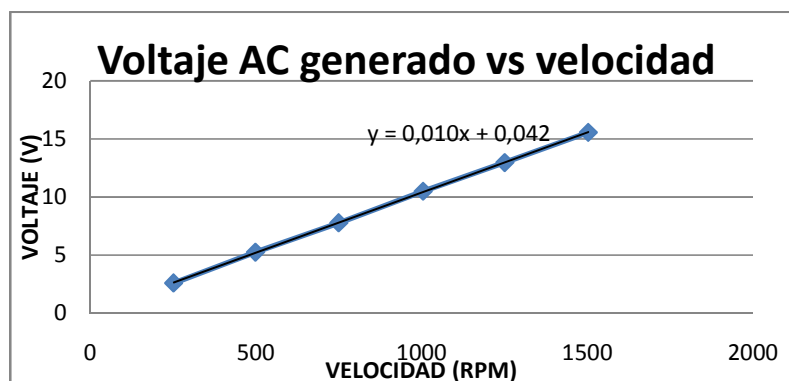


Figura 2.39: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el taco-generador MV1025 de código 20830-1 al girar en sentido horario

El segundo taco-generador será el de código de inventario 20830-3. Si la rueda dentada del taco-generador AC gira en sentido *horario* y se mide la frecuencia y el voltaje AC en las borneras tipo banana del taco-generador AC, el registro de datos se muestra en la tabla 2.15. La gráfica de frecuencia generada vs velocidad se muestra en la Fig. 2.40. La gráfica del voltaje AC generado vs velocidad se muestra en la Fig. 2.41. Al igual que el taco-generador de código 20830-1, la relación frecuencia generada vs velocidad también es de 49V/1000rpm y la relación voltaje AC generado vs velocidad también es de 10V/1000rpm.

TACO GENERADOR DC 20830-3 (Sentido horario)		
VELOCIDAD (RPM)	FRECUENCIA (Hz)	VOLTAJE AC GENERADO (V)
251	12.54	2.6
502	25	5.25
754	31.7	1.85
1006	49.95	10.42
1249	62.3	12.91
1500	74.58	15.48

Tabla 2.15: Velocidad, frecuencia y voltaje AC del taco-generador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.

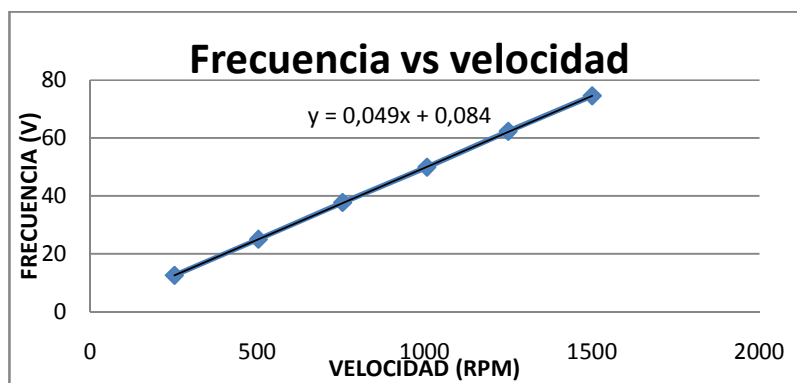


Figura 2.40: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco-generador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario

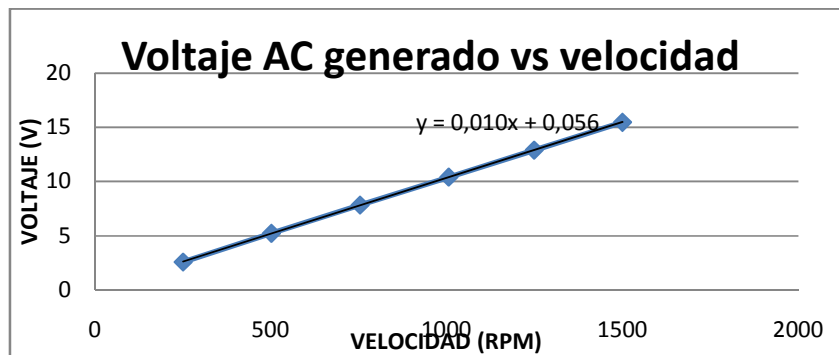


Figura 2.41: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el taco-generador MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario

De esta forma, se tiene a disposición las relaciones de frecuencia generada vs velocidad y de voltaje AC generado vs velocidad de los taco-generadores MV1025 en funcionamiento del Laboratorio de Electrónica de Potencia.

2.2.11. Osciloscopio FLUKE 192B

El osciloscopio portátil Fluke 192B se muestra en la Fig. 2.42. Una imagen mostrando las borneras de conexión de las puntas de medición se muestra en la Fig. 2.43.



Figura 2.42: Osciloscopio Fluke 192B.



Figura 2.43: Vista superior del osciloscopio Fluke 192B.

El teclado del osciloscopio se muestra en la Fig. 2.44.

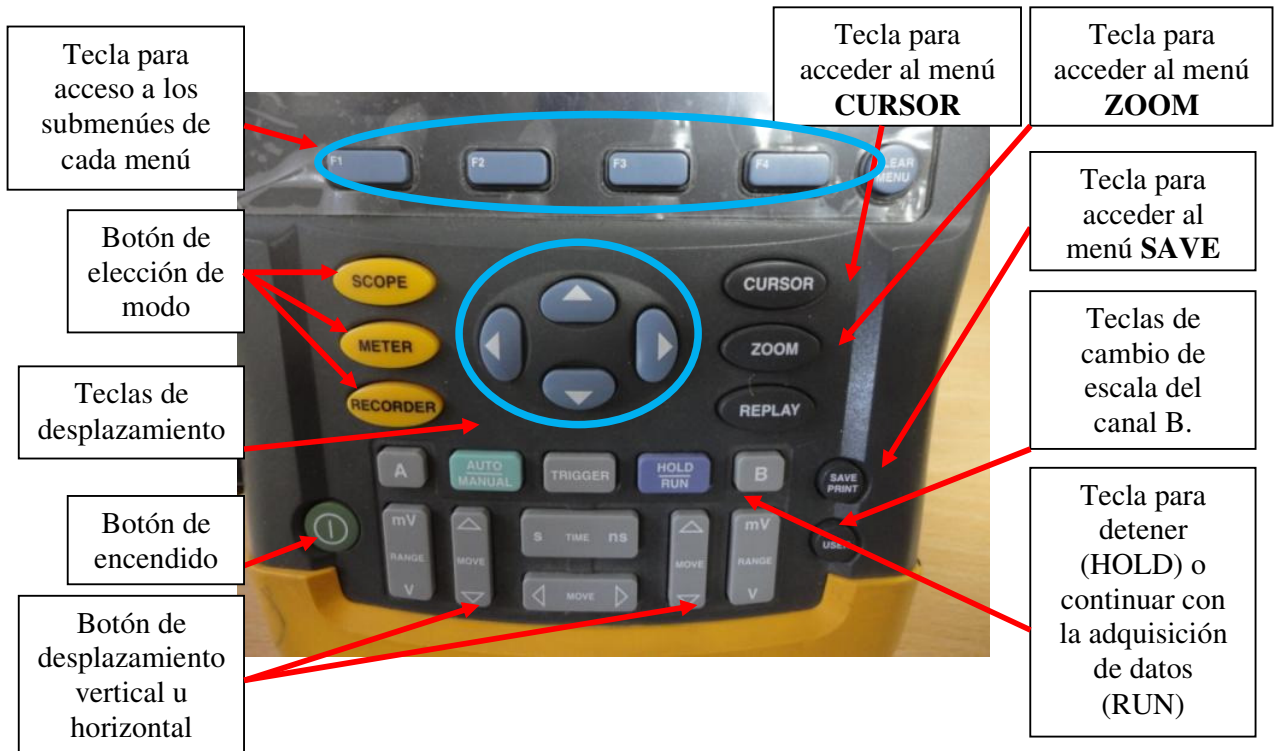


Figura 2.44: Teclado del osciloscopio Fluke 192B.

Las puntas de prueba de voltaje se muestran en la Fig. 2.45 y 2.46.

La sensibilidad de las puntas de prueba de prueba de voltaje es de 10:1, como se muestra en la Fig. 2.41. La punta de prueba de corriente de modelo **80i-110s AC/DC** se muestra en la Fig. 2.48. La punta de prueba de corriente de **80i-110s AC/DC** es posible seleccionar entre dos sensibilidades 100mV/A o 10mV/A. Estas se muestran en la Fig. 2.49. Generalmente, se empleará la sensibilidad de 10mV/A. El cable óptico con salida USB para la comunicación entre el osciloscopio y el PC se muestran en la Fig. 2.50. Este cable es compatible con el analizador de energía Fluke 434.



Figura 2.45: Punta de prueba de voltaje gris a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.



Figura 2.46: Punta de prueba de voltaje roja a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.

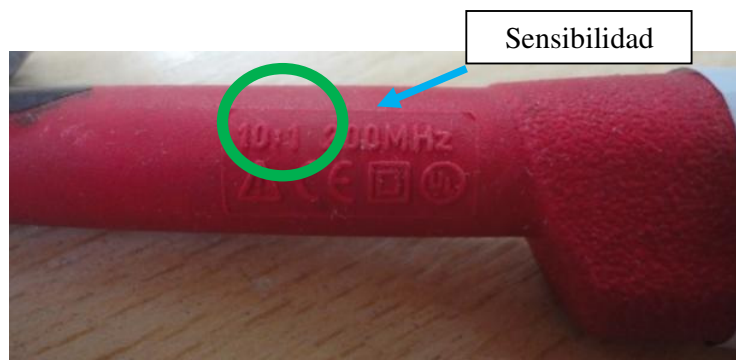


Figura 2.47: Sello que muestra la sensibilidad de la punta de prueba de voltaje roja a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.



Figura 2.48: Punta de prueba de corriente a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.

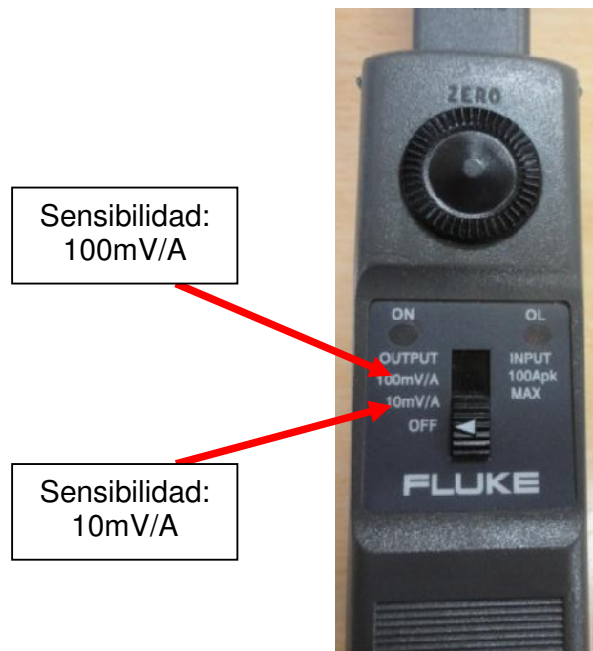


Figura 2.49: Sello que muestra la sensibilidad de la punta de prueba de corriente a emplearse en el osciloscopio Fluke 192B.



Figura 2.50: Cable de comunicación entre el PC y el osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.

El puerto óptico del osciloscopio se muestra en la Fig. 2.51.



Figura 2.51: Puerto óptico del osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.

Es importante tomar en consideración la orientación del cable a conectarse en el puerto óptico del osciloscopio para asegurar la comunicación. El cable conectado al puerto óptico se muestra en la Fig. 2.52. Esta orientación es similar en el analizador de energía Fluke 434. El cargador de baterías BC109/108 se muestra en la Fig. 2.53. Para seleccionar una medición de una señal en el canal A, presionar el botón **SCOPE**, y aparece el submenú mostrado en la Fig. 2.54.



Figura 2.52: Conexión del cable de comunicación en el osciloscopio Fluke 192B o el analizador de energía Fluke 434.

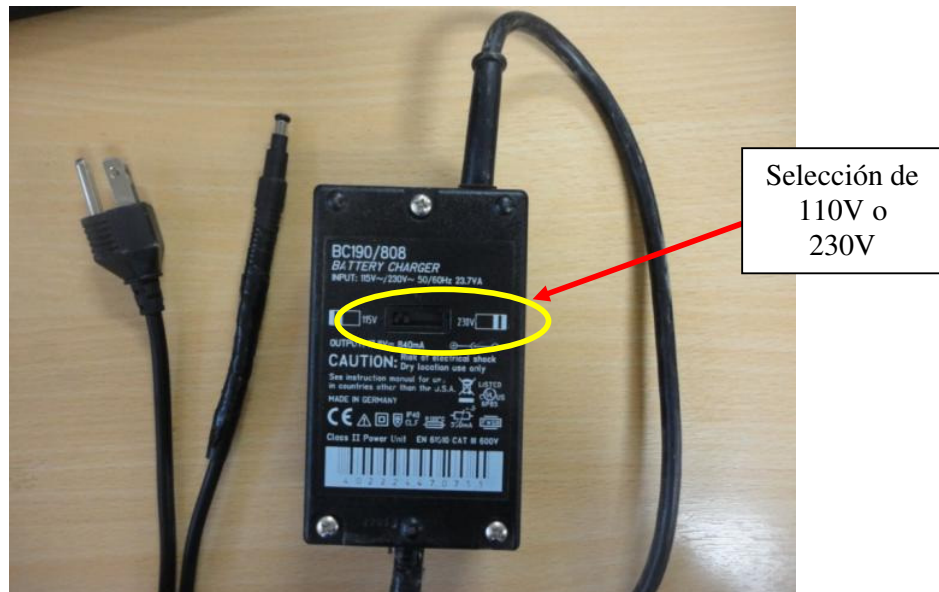


Figura 2.53: Cargador de baterías BC190/808 del osciloscopio Fluke 192B.

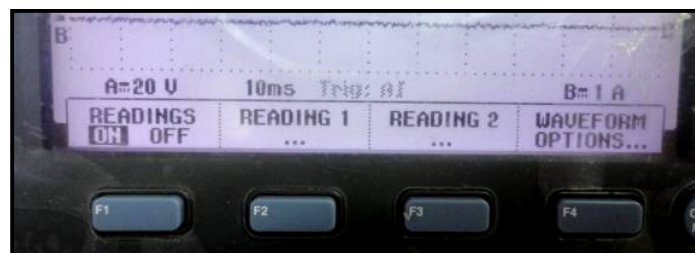


Figura 2.54: Submenú SCOPE en el osciloscopio Fluke 192B.

Pulsar el botón **F2** para seleccionar **READING 1** ó **READING 2** y con las direccionales elegir el canal del cual se requiere obtener la medición, es decir, **ON A** u **ON B**; se elige **OFF**, si se desactiva la medición o **READING**. Luego presionar la tecla **F4** para aceptar. A continuación elegir, la medición a elegir. En la Fig. 2.55 se muestra la medición de voltaje promedio en el canal A.

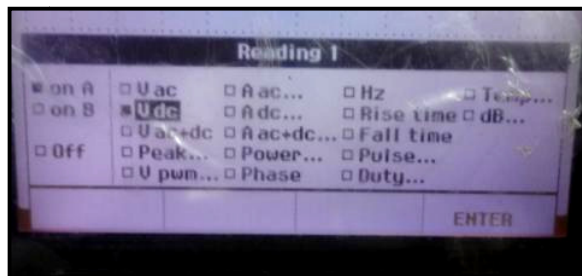


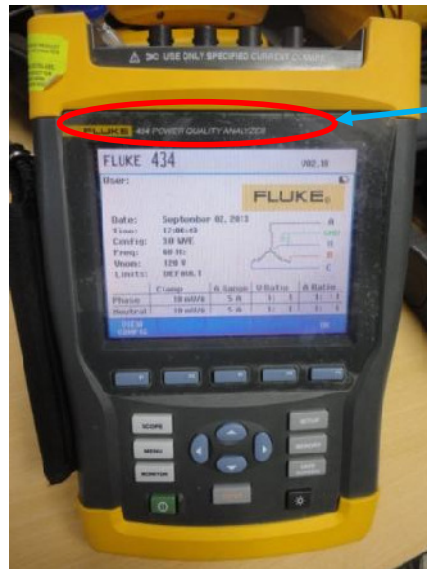
Figura 2.55: Submenú READING 1 en el osciloscopio Fluke 192B.

En caso de requerirse la sensibilidad de la punta de prueba de voltaje o corriente, observar las Figs. 2.47 y 2.49.

El uso del menú **SAVE**, del menú **CURSOR**, del menú **TRIGGER** y detalles adicionales se muestran en el manual Fluke 192B. La forma de descarga de imágenes y uso del software ScopeMeter 4, se muestran en el manual correspondiente.

2.2.12. Analizador de energía FLUKE 434

El analizador de energía portátil Fluke 434 se muestra en la Fig. 2.56. Una imagen mostrando las borneras de conexión de las puntas de medición se muestra en la Fig. 2.51. Una imagen mostrando las borneras de conexión de las puntas de medición se muestra en la Fig. 2.58. Las puntas de prueba de voltaje se muestran en la Fig. 2.59. Las puntas de prueba de corriente a emplearse en las prácticas se muestran en la Fig. 2.60. El modelo de estas puntas de prueba de corriente es **80i-110s AC/DC**. Es el mismo empleado con el osciloscopio. El cargador de baterías BC430 del Analizador de energía Fluke 434, se muestra en la Fig. 2.61.



Analizador de energía Fluke 434

Figura 2.56: Analizador de energía Fluke 434.



Conexión para puntas de prueba de voltaje

Conexión para el cargador de baterías BC430

Conexión para puntas de prueba de corriente

Figura 2.57: Vista superior del analizador de energía Fluke 434.



Tecla para acceso a los submenús de cada menú

Botones del menú SCOPE, MENU y MONITOR

Botón de encendido

Teclas de desplazamiento

Botones del menú SETUP, MEMORY y SAVE SCREEN

Botón para iluminación del LCD

Botón ENTER

Figura 2.58: Teclado del analizador de energía Fluke 434.



Figura 2.59: Puntas de prueba de voltaje del Analizador de energía Fluke 434



Figura 2.60: 4 puntas de prueba de corriente del Analizador de energía Fluke 434



Figura 2.61: Cargador de baterías del analizador de energía Fluke 434.

2.2.13. Multímetro FLUKE 87V

Una imagen real del multímetro Fluke 87V en la selección de medición de resistencia, se muestra en la Fig. 2.62. En caso de requerirse medir la corriente que fluye a través de un cable, se debe comprobar previamente si el fusible correspondiente se encuentra en correcto estado, tal como se muestra en la Fig. 2.63. Si el fusible se encuentra en correcto estado, el display del instrumento mostrará de forma alternante la palabra LEAD y una medición de 0.1Ω . Para verificación de continuidad, ajustar la perilla en la opción resistencia y luego presionar el botón que permite habilitar una alarma sonora como se muestra en la Fig. 2.64. Con este instrumento se puede medir el voltaje promedio y eficaz, la corriente promedio y eficaz. Detalles adicionales se muestran en el manual Fluke 87V.



Figura 2.62: Multímetro Fluke 87V.



Figura 2.63: Multímetro Fluke 87V en modo resistencia y conexión necesaria mostrando el estado del fusible



Figura 2.64: Botón de habilitación de alarma sonora.

2.2.14. Tacómetro AMPROBE TACH20

Una imagen real del tacómetro infrarrojo **TACH20** se muestra en la Fig. 2.65. Al momento de realizar una medición de velocidad en el eje de una máquina rotaria, es necesario emplear el modo RPM. Se debe retirar el acople mecánico de la parte superior del tacómetro para poder emplearlo como infrarrojo. El acople mecánico se muestra en la Fig. 2.66. Es necesario emplear una banda reflectora en el eje de la máquina cuya velocidad se desea medir. Esto se muestra en la Fig. 2.61. Para

empezar a muestrear la velocidad en el eje del motor, se necesita mantener presionado el botón **ON/OFF**. Se debe apuntar con el tacómetro hacia el área alrededor de la cual va a rotar la máquina como se muestra en la Fig. 2.68. Un diseño del tacómetro infrarrojo se muestra en la Fig. 2.69.



Figura 2.65: Tacómetro infrarrojo TACH20.



Figura 2.66: Acople mecánico del tacómetro infrarrojo TACH20.

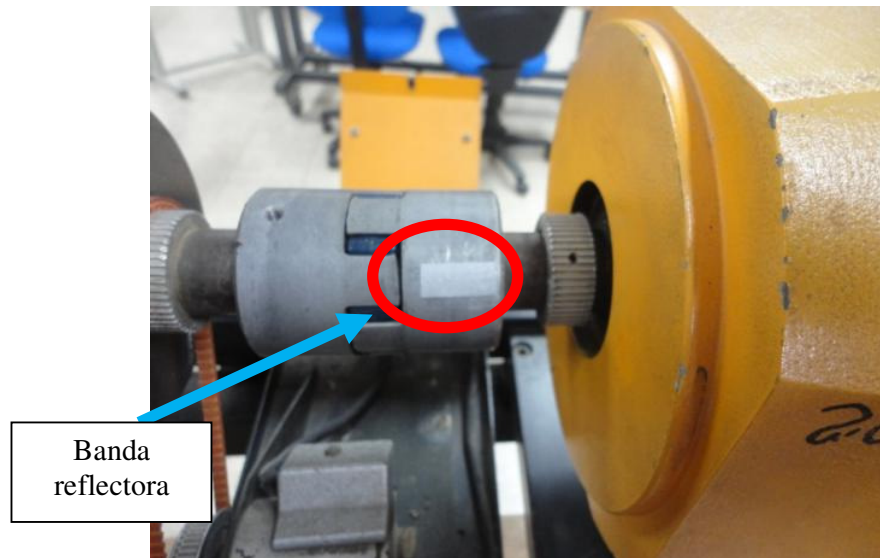


Figura 2.67: Banda reflectora en el matrimonio de dos máquinas.

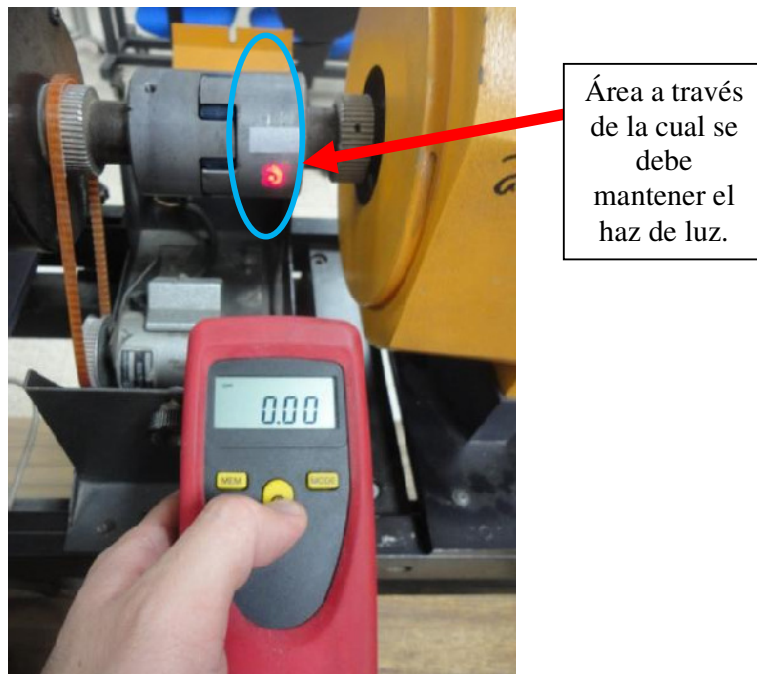


Figura 2.68: Tacómetro TACH20 apuntando hacia el área del matrimonio a través de la cual rotará la banda reflectora.



Figura 2.69: Diseño del tacómetro infrarrojo TACH20.

2.2.15. Interruptor trifásico TERCO MV1500

Una imagen real del interruptor TERCO MV1500 se muestra en la Fig. 2.70. Existe conducción a través del interruptor cuando el selector se encuentra en la posición 1 y sin conducción cuando se encuentra en la posición 0. Un diseño del interruptor TERCO MV1500 se muestra en la Fig. 2.71.

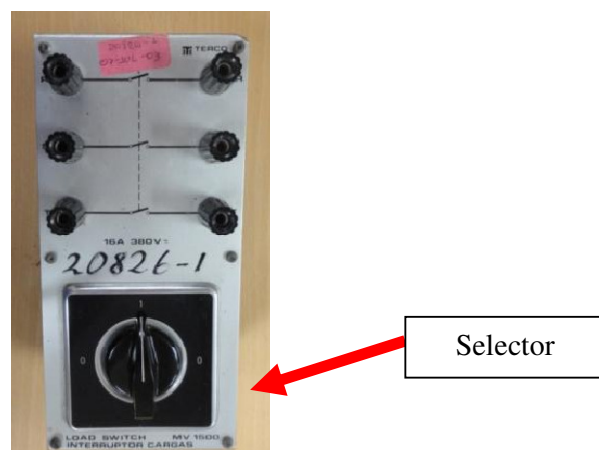


Figura 2.70: Interruptor TERCO MV1500.

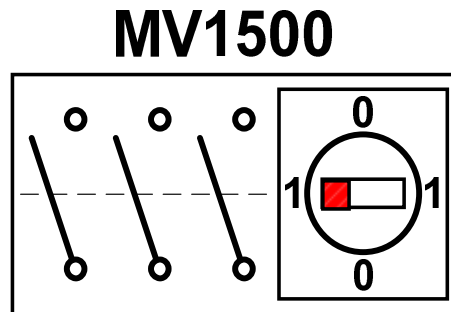


Figura 2.71: Diseño del Interruptor TERCO MV1500.

2.2.16. Cables banana.

Existen de cuatro tamaños en el Laboratorio. De 32cm, de 56cm, de 107cm y de 206cm. En la Fig. 2.72 se muestran los 4 tamaños de los cables banana.



Figura 2.72: Cables banana.

2.3. Medición indirecta de inductancia y capacitancia por medio del ángulo de desfase entre voltaje y corriente en una carga R-L y R-C

En esta sección se describe el primer experimento de la práctica.

2.3.1. Objetivos

Comprobar experimentalmente los valores de inductancia y capacitancia dados por el fabricante del banco de inductores MV1100 y el banco de capacitores MV1101.

Familiarizarse con el uso de funciones básicas del osciloscopio Fluke 192B.

2.3.2. Conexiones eléctricas de equipos e instrumentos para la medición de inductancia

Al realizar las conexiones, dirigirse a la información referente a los instrumentos en la sección 2.2.

Previo a realizar la conexión mostrada en la Fig. 2.73, verificar que el interruptor correspondiente a la fuente de voltaje alterna fija se encuentre en la posición 0. Conectar la fuente de alimentación MV1300 a la red trifásica y proceda con las conexiones de la Fig. 2.73.

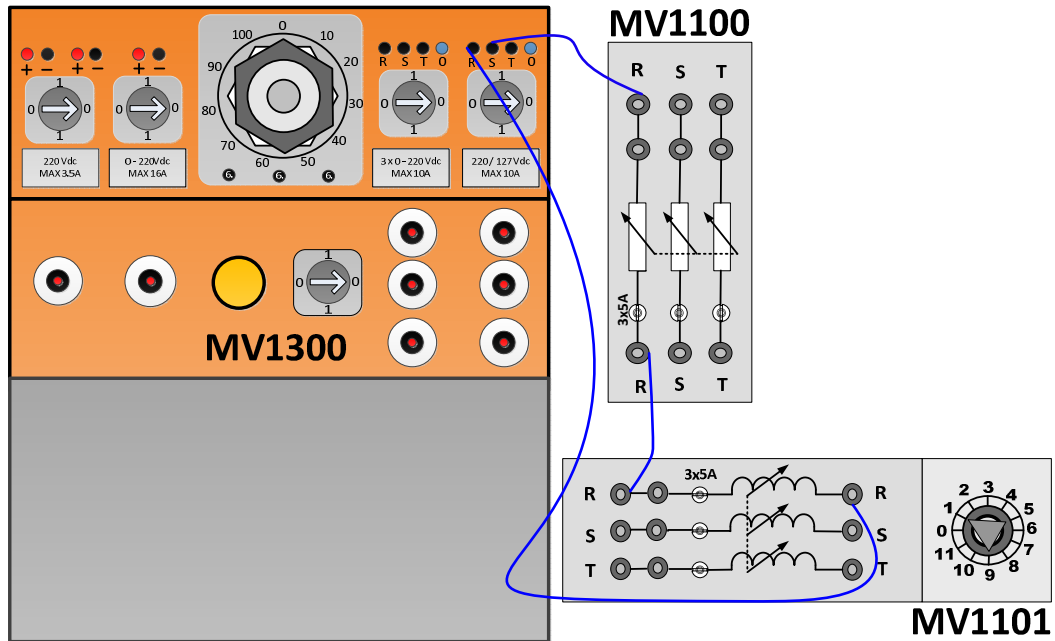


Figura 2.73: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100 y el banco de inductores MV1101.

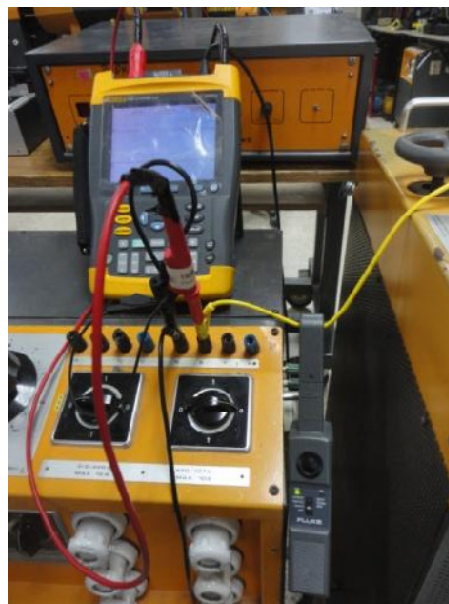
A continuación proceder a fijar la resistencia del resistor R en 100Ω , para ello emplear el multímetro Fluke 87V y luego fijar el paso del inductor R del banco de inductores MV1101 de código 20841-3, en 1.

Emplear el osciloscopio Fluke 192B, para adquirir las señales de voltaje y la corriente en la carga RL. Observar la Fig. 2.74 la cual muestra las conexiones reales. La conexión de los instrumentos de medición se muestra en la Fig. 2.75.



Figura 2.74: Conexión reales para la medición de inductancia.

Punta de
prueba de
voltaje
conectada al
canal A

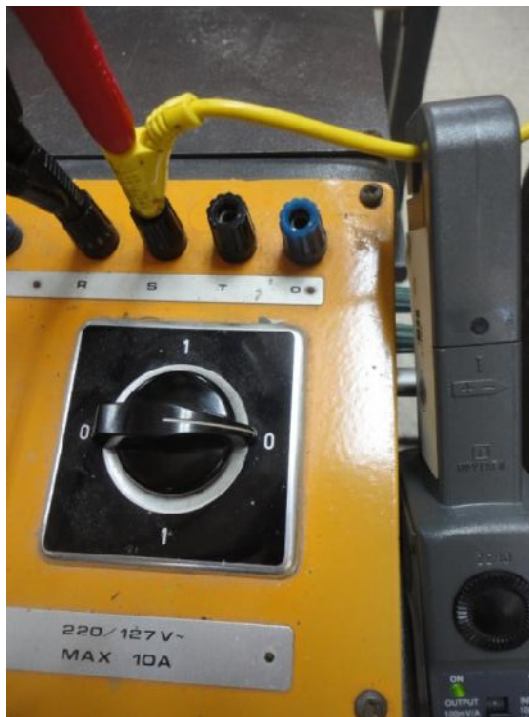


Punta de
prueba de
corriente
conectada al
canal B

Figura 2.75: Conexión de los instrumentos de medición previa a la medición de inductancia.

La punta de prueba de voltaje del canal A, se conecta entre las terminales S y R de la fuente fija de voltaje alterno en la fuente de poder MV1300; la referencia de voltaje positiva es la terminal S. La punta de prueba de corriente debe sentir la corriente que sale de la terminal S de la fuente; este es el sentido de referencia de la corriente, el cual coincide con el señalado en el instrumento. Esto se muestra en la Fig. 2.76.

Referencia positiva de la punta de prueba de voltaje: terminal S.



Referencia de la punta de prueba de corriente: desde la referencia positiva de voltaje (terminal S) hacia la carga RL.

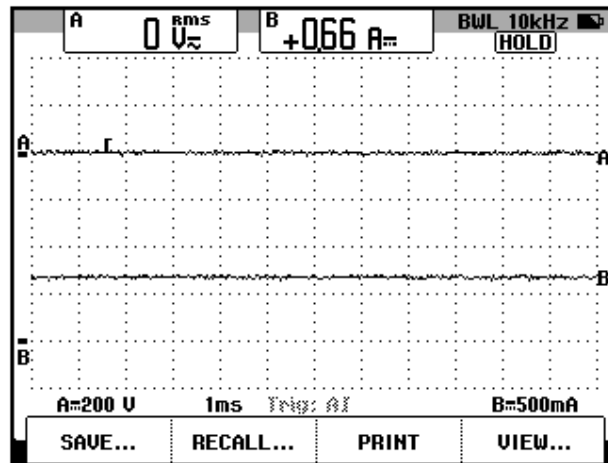
Figura 2.76: Referencia de la punta de prueba de voltaje y de la punta de prueba de corriente previo a la medición de inductancia.

2.3.3. Procedimiento experimental en la medición de inductancia.

Realizar los ajustes necesarios en el menú **SCOPE** del osciloscopio para mostrar la medición de voltaje RMS en el canal A y de corriente DC en el canal B; esto fue explicado previamente en la sección 2.2.11.

Ajustar las escalas de voltaje en 200V y la escala de corriente en 500mA. Emplear los botones **RANGE** de cada canal.

A continuación, es necesario calibrar la punta de prueba de corriente. Esto consiste en anular el nivel DC que tenga este instrumento. La punta de prueba de voltaje no es calibrable por el estudiante. En la Fig. 2.77, se muestra el canal B con un nivel DC de corriente de 0.66A.



Medición de corriente promedio.

Figura 2.77: Medición de corriente mostrando un nivel DC previa a la experimentación con la medición de inductancia. (Ch1: Vout, Ch2: Iout)

De esta forma, se muestra que es recomendable mostrar la medición de corriente promedio, para calibrar la punta de prueba de corriente. A continuación, ajustar la perilla de **ZERO** del instrumento, hasta que la medición de corriente DC sea aproximadamente cero, como se muestra en la Fig. 2.78.

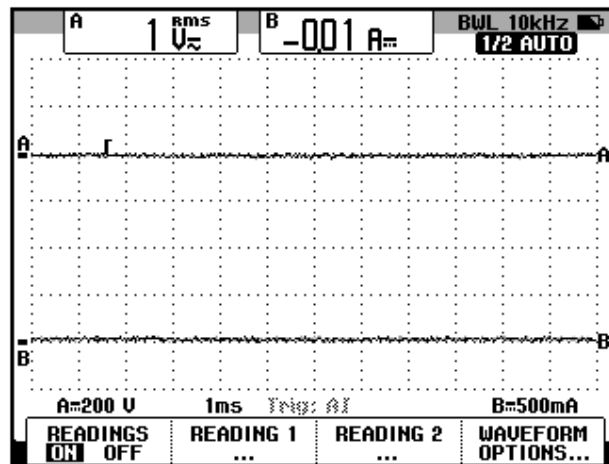
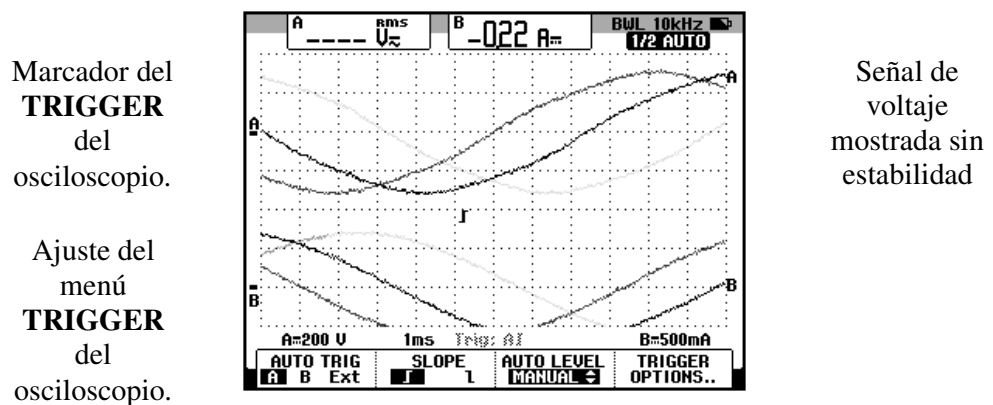


Figura 2.78: Medición de corriente sin nivel DC considerable previa a la experimentación con la medición de inductancia. (Ch1: Vout, Ch2: Iout)

Conmutar el switch de la fuente de voltaje alterno fijo, para permitir el paso de corriente hacia la carga RL.

Con respecto al osciloscopio Fluke 192B, en caso de que el menú **TRIGGER** no esté ajustado correctamente, es posible que las señales de los canales no se observen estables, como se muestra en la Fig. 2.79.



Marcador del **TRIGGER** del osciloscopio.

Ajuste del menú **TRIGGER** del osciloscopio.

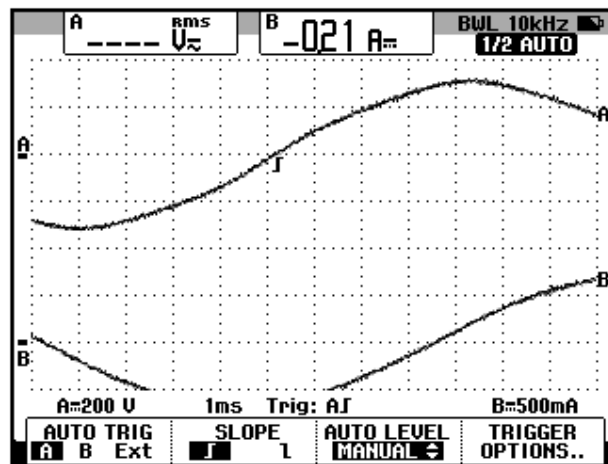
Señal de voltaje mostrada sin estabilidad

Figura 2.79: Marcador del Trigger del osciloscopio en posición incorrecta, mostrando inestabilidad en las señales adquiridas. (CH1: Vout, CH2: Iout)

Previo a la solución de este inconveniente, acceder al submenú **TRIGGER OPTIONS** y configurarlo eligiendo las opciones **Automatic** y luego **>15Hz**.

Continuando, emplear las teclas de desplazamiento verticales para ubicar el marcador del trigger del osciloscopio hacia el área del osciloscopio limitada por el valor máximo y mínimo de la señal del canal A, como se observa en la Fig. 2.80. El ajuste del menú **TRIGGER** también se observa en la Fig. 2.80. Cabe recalcar que se debe haber accedido a este menú, para desplazar el marcador.

Nueva
posición del
marcador del
TRIGGER
del
osciloscopio.



Área del
osciloscopio
limitada por
el máximo y
mínimo de la
señal del
canal A.

Figura 2.80: Marcador del trigger del osciloscopio en posición correcta. (CH1: Vout, CH2: Iout)

Finalmente reubicar las señales adquiridas empleando la tecla **MOVE** hasta poder hacer coincidir el cruce por cero del voltaje con un cruce entre las grillas horizontales y verticales, como se muestra en la Fig. 2.81.

Cruce por
cero de la
señal de
voltaje.

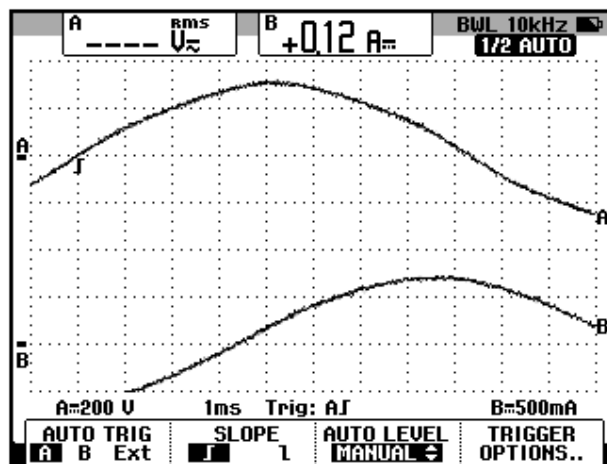


Figura 2.81: Desplazamiento horizontal del cruce por cero ascendente de la señal del canal A. (CH1: Vout, CH2: Iout).

Emplear el menú **CURSOR**, para medir el desfase entre la señal de voltaje y la de corriente. Emplear la tecla **F1** para elegir un par de cursores horizontales. Emplear la tecla **F2** del osciloscopio para alternar entre los cursores que se desean desplazar: horizontal o vertical. Emplear la tecla **F3** para medir el intervalo de tiempo correspondiente al desfase. La tecla **F4** permite desplazar los cursores a través de la señal del canal A. El ajuste del menú **CURSOR** se muestra en la Fig. 2.82. En esta figura, se observa que primero se fija el cursor izquierdo y luego el cursor derecho a través del canal B.

Es importante notar que en el submenú **AUTO TRIG**, del menú **TRIGGER**, se eligió el canal A, dado que la señal del canal A, que corresponde al voltaje, no se modificará al cambiar los pasos del banco de inductores, como sí lo hará la corriente. Si eligiera el canal B, como referencia en el submenú **AUTO TRIG**, al cambiar la corriente, se

modificaría el cruce por cero de la misma, con lo que el cursor donde se fija el cursor izquierdo (observar Fig. 2.82) también debe ser reajustado.

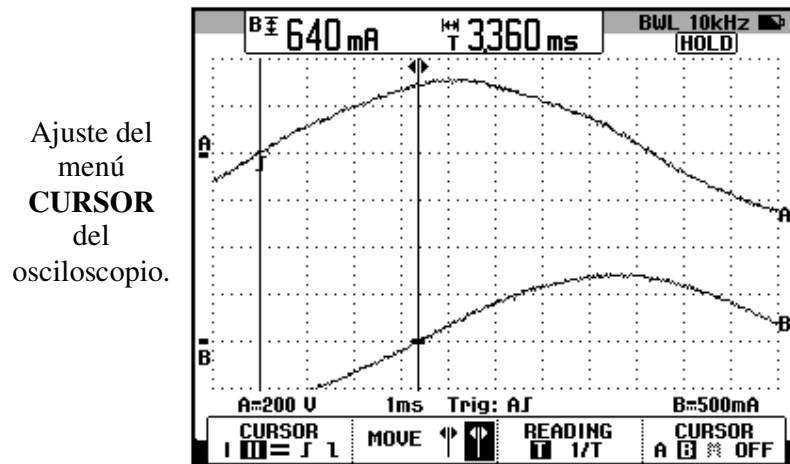


Figura 2.82: Ajuste del menú CURSOR para la medición de inductancia.

Para obtener el valor en grados del desfase, emplear la fórmula 2.1.

$$\phi = \Delta t [ms] \times \frac{180^\circ}{8.33ms} \quad [2.1]$$

$$\phi = 3.36ms \times \frac{180^\circ}{8.33ms}$$

$$\phi = 72.61^\circ$$

La fórmula se base en el hecho de que en una onda de voltaje alterna, el semiperiodo de la misma, es decir 8.33ms, corresponde a 180° eléctricos.

Observando la Fig. 2.82, se comprueba que la corriente atrasa al voltaje en 72.61°.

A continuación, el cálculo de la inductancia, se puede realizar empleando la fórmula 2.2, la cual se basa en el triángulo de impedancias.

$$L = \frac{R \times \tan(\phi)}{2\pi f} \quad (2.2)$$

Reemplazando valores:

$$L = \frac{100 \times \tan(49.27^\circ)}{2 \times \pi \times 60\text{Hz}}$$

$$L = 847\text{mH}$$

Este procedimiento se puede realizar para los demás pasos de inductancia del inductor R del banco de inductores MV1101 de código 20841-3. En la tabla 2.16, se muestran los resultados.

TABLA DE INDUCTANCIAS DEL INDUCTOR R DEL BANCO INDUCTIVO MV1100 de código 201841-3.			
PASOS	Δt[ms]	FASE[°]	INDUCTANCIA (mH)
PASO 11	1	21.61	105
PASO 10	1.08	23.34	115
PASO 9	1.18	25.50	126
PASO 8	1.3	28.09	142
PASO 7	1.46	31.55	163
PASO 6	1.64	35.44	189
PASO 5	1.88	40.62	228
PASO 4	2.12	45.81	273
PASO 3	2.48	53.58	360
PASO 2	2.88	62.23	512
PASO 1	3.36	72.61	847
PASO 0	Circuito Abierto		

Tabla 2.16: Tabla de inductancia del inductor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101 de código 20841-3.

Comparando la tabla 2.2 con la tabla 2.16, se obtiene la tabla 2.17, que muestra adicionalmente el margen de error entre el valor indicado por el

fabricante y el valor medido indirectamente. En las prácticas se tomará en cuenta el valor obtenido experimentalmente.

PASOS	INDUCTANCIA DEL FÁBRICANTE[mH]	INDUCTANCIA MEDIDA INDIRECTAMENTE[mH]	PORCENTAJE DE ERROR [%] TOMANDO COMO REFERENCIA EL VALOR MEDIDO EXPERIMENTALMENTE
PASO 11	88	105	16
PASO 10	97	115	15.6
PASO 9	107	126	17.8
PASO 8	120	142	15.49
PASO 7	139	163	14.7
PASO 6	161	189	14.8
PASO 5	193	228	15.35
PASO 4	242	273	11.3
PASO 3	320	360	11.1
PASO 2	486	512	5
PASO 1	955	847	12.7
PASO 0	Circuito Abierto		

Tabla 2.17: Tabla que muestra la inductancia del inductor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1101 de código 20841-3, obtenida de forma experimental y el valor dado por el fabricante. Porcentaje de error entre ambas.

2.3.4. Conexiones eléctricas de equipos e instrumentos para la medición de capacitancia.

Nuevamente, al realizar las conexiones, revisar la información referente a los instrumentos en la sección 2.2. Previo a realizar la conexión mostrada en la Fig. 2.83, verificar que el interruptor correspondiente a la fuente de voltaje alterna fija se encuentre en la posición 0. Proceder con las conexiones de la Fig. 2.83; en esta figura se ilustra que basta

reemplazar el banco de inductores por el banco de capacitores, por ello no se mostrarán las conexiones reales.

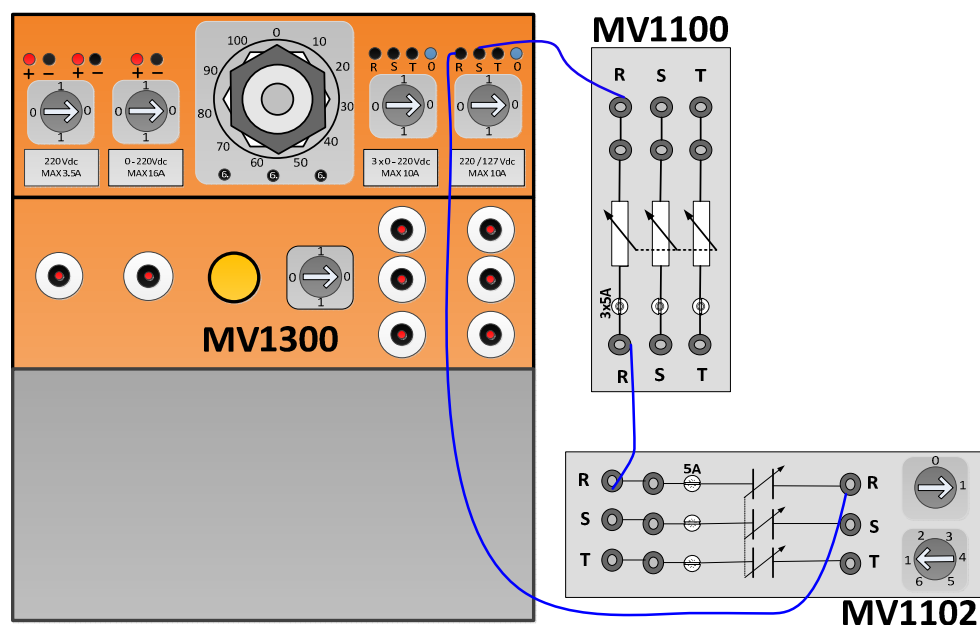


Figura 2.83: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100 y el banco de capacitores MV1102

A continuación proceder a fijar la resistencia del resistor R en 100Ω , para ello emplear el multímetro Fluke 87V y luego fijar el paso del capacitor R del banco de capacitores MV1102 de código 20841-2, en 1. Tomar en consideración, el switch de habilitación del banco: seleccionar 1.

Emplear el osciloscopio Fluke 192B, para adquirir las señales de voltaje y la corriente en la carga RC. La conexión real de los instrumentos es la misma que la que se muestra en las Figs. 2.75 e 2.76.

2.3.5. Procedimiento experimental en la medición de capacitancia.

El menú **SCOPE** y **TRIGGER** fueron ajustados previamente. Conmutar el interruptor de la fuente de voltaje alterno fija. El ajuste del cruce por cero de la señal del canal A, tendrá otra ubicación como se observa en al Fig. 2.84. Es necesario, reubicar el cruce por cero de la señal de voltaje, para poder observar el cruce por cero de la señal de la corriente, la cual es adquirida a través del canal B.

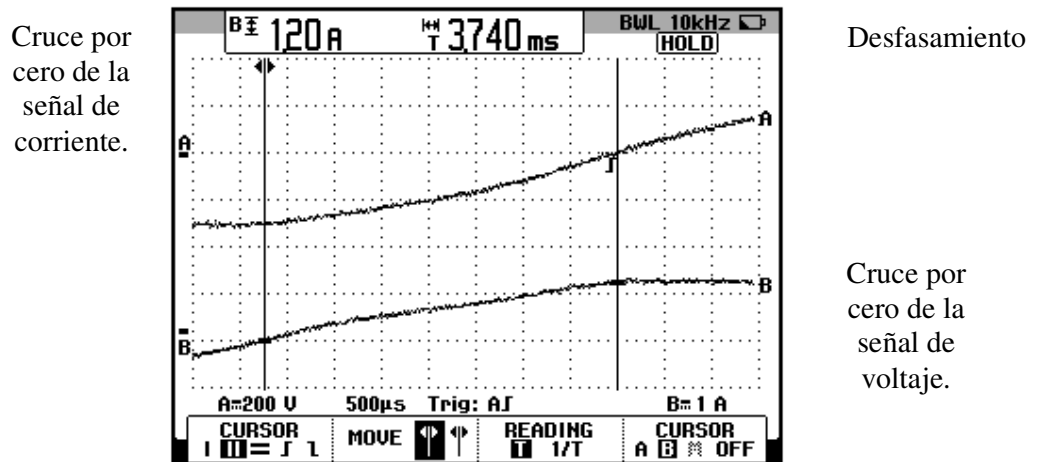


Figura 2.84: Cruce por cero ascendente de la señal del canal A. Desfasamiento entre el voltaje y la corriente en la carga RC. (CH1: Vout, CH2: Iout).

Para obtener el valor en grados del desfasamiento, emplear la fórmula 2.1.

$$\phi = 3.74ms \times \frac{180^\circ}{8.33ms}$$

$$\phi = 80.82^\circ$$

Observando la Fig. 2.80, se comprueba que la corriente atrasa al voltaje en 80.82° .

A continuación, el cálculo de la capacitancia, se puede realizar empleando la fórmula 2.3.

$$C = \frac{1}{2\pi f R \tan(\theta)} \quad (2.3)$$

Reemplazando valores:

$$C = \frac{1}{2\pi(60\text{Hz})(100\Omega) \tan(80.82^\circ)}$$

$$C = 4.29\mu\text{F}.$$

Este procedimiento se puede realizar para los demás pasos de inductancia del inductor R del banco de inductores MV1101 de código 20841-3. En la tabla 2.18, se muestran los resultados.

TABLA DE INDUCTANCIAS DEL CAPACITOR R DEL BANCO CAPACITIVO MV1102 de código 201841-2.			
PASOS	Δt[ms]	FASE[°]	CAPACITANCIA (μF)
PASO 6	1.02	22.04	65.52
PASO 5	1.22	26.36	53.53
PASO 4	1.52	32.85	41.08
PASO 3	1.98	42.79	28.66
PASO 2	2.6	56.18	17.77
PASO 1	3.74	72.61	4.29

Tabla 2.18: Capacitancia del capacitor R de acuerdo al paso elegido en el banco inductivo MV1102 de código 20841-2.

Comparando la tabla 2.3 con la tabla 2.18, se obtiene la tabla 2.19, que muestra adicionalmente el porcentaje de error entre el valor obtenido a través del fabricante y el valor medido indirectamente.

Debido a que el multímetro.

En las prácticas se tomarán en cuenta los valores registrados en la Tabla 2.3, debido a que sus valores son más confiables.

PASOS	CAPACITANCIA MEDIDA CON MULTÍMETRO FLUKE 87V (μF)	CAPACITANCIA MEDIDA INDIRECTAMENTE(μF)	PORCENTAJE DE ERROR [%] TOMANDO COMO REFERENCIA EL VALOR CON MULTÍMETRO FLUKE 87V
PASO 6	60.5	65.52	8.3
PASO 5	50.3	53.53	6.4
PASO 4	40.3	41.08	1.9
PASO 3	30.2	28.66	5.1
PASO 2	20.1	17.77	11.6
PASO 1	10.0	4.29	57

Tabla 2.19: Capacitancia del capacitor R de acuerdo al paso elegido en el banco capacitivo MV1101 de código 20841-3, obtenida de forma experimental y el valor dado por el multímetro FLUKE 87V. Porcentaje de error entre ambas.

2.4. Mejoramiento del factor de potencia en un sistema con carga RL monofásica

En esta sección se describe el segundo experimento de la práctica.

2.4.1. Objetivos

Mejorar el factor de potencia de una carga RL monofásica en serie empleando el banco de capacitores MV1102.

Familiarizarse con el uso de funciones básicas del analizador de energía Fluke 434.

2.4.2. Conexiones eléctricas de los equipos y de instrumentos.

Al realizar las conexiones, referirse a la información referente a los instrumentos en la sección 2.2. Previo a realizar la conexión mostrada en la Fig. 2.85, verificar que el interruptor correspondiente a la fuente de voltaje alterna fija se encuentre en la posición 0 y que el interruptor de habilitación del banco capacitivo esté en 0. Verificar que la fuente de alimentación MV1300 esté conectada a la red trifásica. Proceder con las conexiones de la Fig. 2.85.

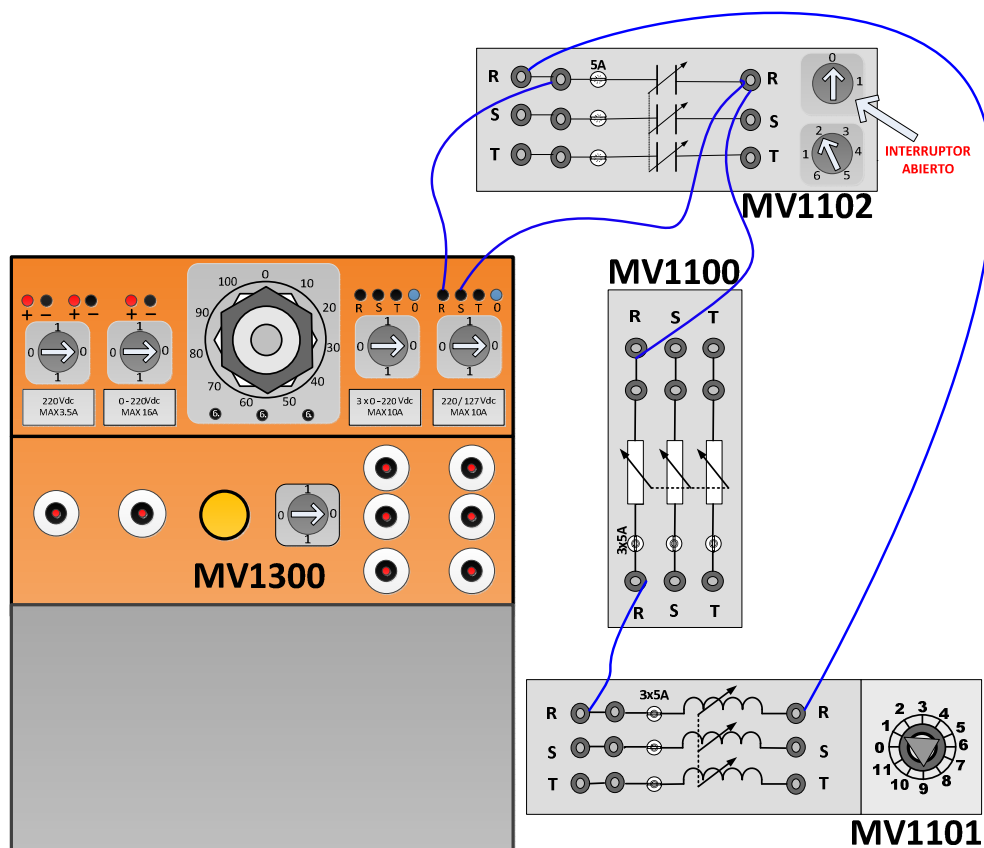


Figura 2.85: Conexión eléctrica entre la fuente de poder MV1300, el banco de resistores MV1100, el banco de inductores MV1101 y el banco de capacitores MV1102.

Notar que la conexión de la carga RL es serie y que la conexión del capacitor se encuentra en paralelo con la carga RL.

Fijar la resistencia del resistor R en 95Ω y luego fijar el paso del inductor R del banco de inductores MV1101 de código 20841-3, en 11, correspondiente a 105mH de acuerdo a la tabla 2.16. No ajustar el paso del banco capacitivo. Es posible emplear cualquier de los tres bancos capacitivos existentes en el Laboratorio, dado que los valores de las capacitancias para un paso dado coincide.

Observar la Fig. 2.86 la cual muestra las conexiones reales de los equipos e instrumentos.



Figura 2.86: Conexión reales para el mejoramiento del factor de potencia en un sistema con carga RL.

Al encender el analizador de energía Fluke 434, acceder al menú **SETUP**. Configurarlos como se muestra en la Fig. 2.87. La configuración de cada submenú se realizará a continuación; para acceder a cada uno de ellos, presionar el botón **ENTER** del teclado del instrumento. La configuración del submenú **FREQ**, se muestra en la Fig. 2.88.

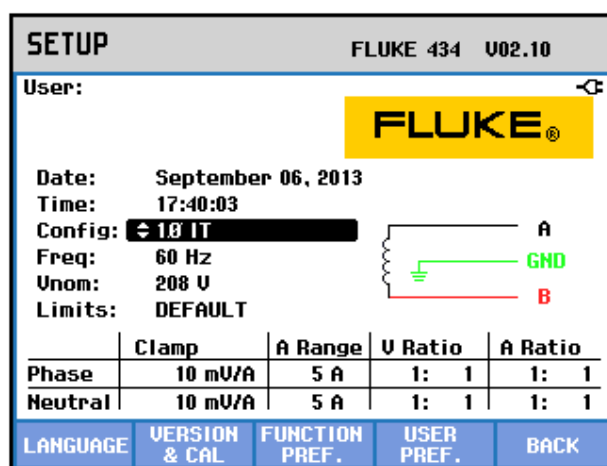


Figura 2.87: Configuración del menú **SETUP** del analizador de energía **FLUKE**

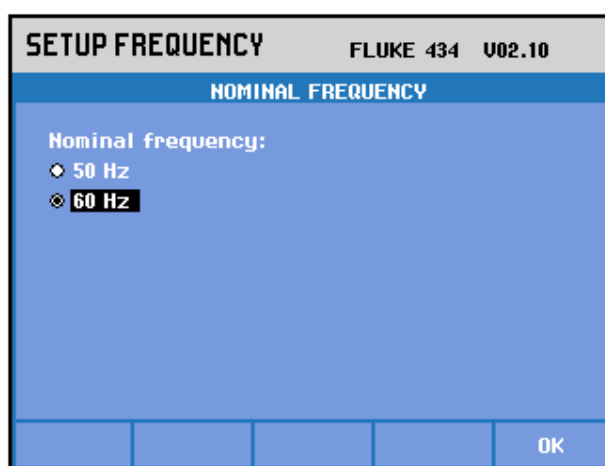


Figura 2.88: Configuración del submenú **FREQ** del menú **SETUP** del analizador de energía **FLUKE**

Emplear las teclas de desplazamiento para elegir entre las diferentes opciones. Emplear las teclas funcionales para aceptar. En este caso, presionar **F5**, aceptar (OK). Se elige la frecuencia nominal de 60Hz, dado que en nuestro país, la frecuencia nominal del voltaje 60Hz.

La configuración del submenú **VNOM**, se muestra en la Fig. 2.89. La elección de este valor es una referencia para las escalas de voltaje en el menú **SCOPE**. La configuración del submenú **LIMITS**, se muestra en la Fig. 2.90. La configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de fase, se muestra en la Fig. 2.91. La punta de prueba de corriente se especifica en la sección 2.2.12. La configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de neutro, se muestra en la Fig. 2.92. La sensibilidad de las puntas de prueba de voltaje para el analizador de energía Fluke 434 es de 1:1.

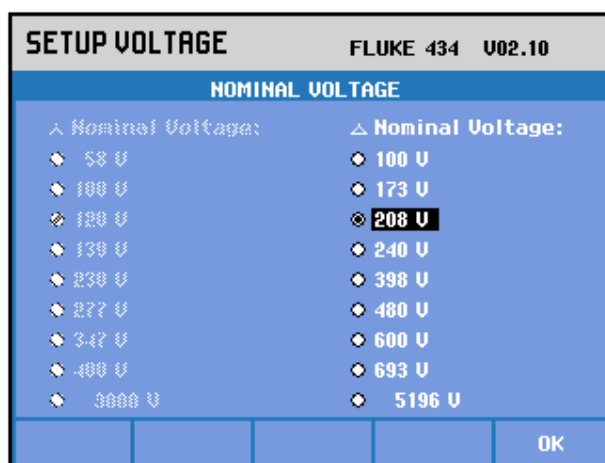


Figura 2.89: Configuración del submenú FREQ, opción NOMINAL VOLTAGE en el menú SETUP del analizador de energía FLUKE

SETUP LIMITS		FLUKE 434	U02.10
ADJUST LIMITS			
Active Limits: DEFAULT		01/01/03 00:00:01	
LIMITS SUMMARY:			
RMS	> 187.2 U < 228.8 U	95.0% of time	
THD	< 8%	95.0% of time	
P1t	< 1	95.0% of time	
Dip	< 187U	20/week	
Swell	> 229U	20/week	
↔	< 2%	95.0% of time	
Hz	> 59.4 < 60.6	99.5% of time	
RECALL	SAVE	EDIT	VIEW BACK

Figura 2.90: Configuración del submenú **FREQ**, opción **ADJUST LIMITS** en el menú **SETUP** del analizador de energía **FLUKE**.

SETUP SCALING		FLUKE 434	U02.10
AMPS AND VOLTS SCALING			
	PHASE	NEUTRAL	
Amp clamp:	◀ 10 mV/A ▶	10 mV/A	
Amp range:	5 A	5 A	
Amp ratio:	1:1	1:1	
Volt ratio:	1:1	1:1	
	PHASE NEUTRAL	OK	

Sensibilidad de las puntas de prueba de corriente

Figura 2.91: Configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de fase, del menú **SETUP** del analizador de energía **FLUKE 434**

SETUP SCALING		FLUKE 434 U02.10	
AMPS AND VOLTS SCALING			
	PHASE	NEUTRAL	
Amp clamp:	10 mV/A	10 mV/A	
Amp range:	5 A	5 A	
Amp ratio:	1:1	1:1	
Volt ratio:	1:1	◀ 1:1 ▶	
	PHASE	OK	
	NEUTRAL		

Figura 2.92: Configuración del submenú referente al escalamiento de las puntas de prueba de voltaje y corriente de neutro, en el menú SETUP del analizador de energía FLUKE 434

En la Fig. 2.93, se observa que en el submenú **CONFIG.**, se ha elegido la opción **1Φ 1T**. Este submenú se muestra en la Fig. 2.93. Al presionar el botón **OK**, se muestran las conexiones entre el analizador de energía y el sistema analizado. Estas se muestran en la Fig. 2.94. En la Fig. 2.95, el nodo A, representa la terminal S de la fuente de voltaje alterno. El nodo B, representa la terminal R de la fuente de voltaje alterno. La conexión de la punta de prueba de corriente debe tomar en cuenta el sentido de la corriente.

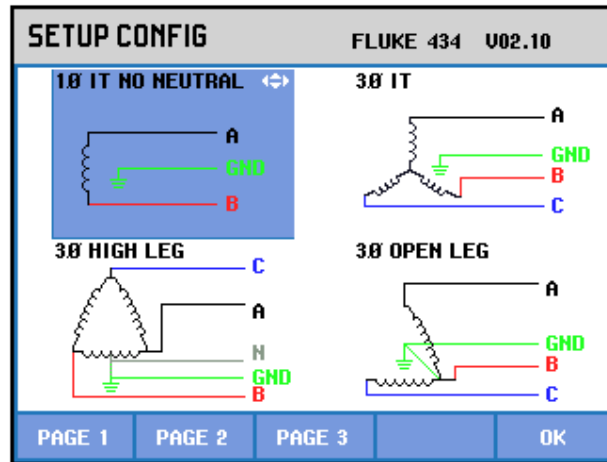


Figura 2.93: Configuración del submenú SETUP en el analizador de energía FLUKE 434

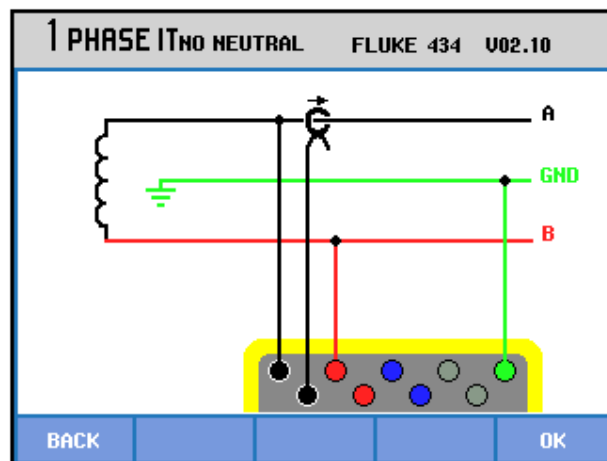


Figura 2.94: Conexiones entre el analizador de energía FLUKE 434 y el sistema analizado.

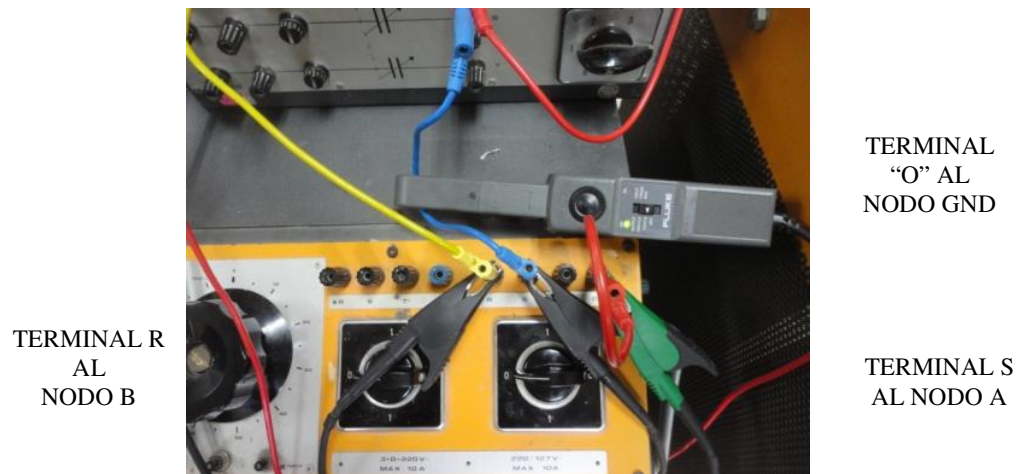


Figura 2.95: Conexiones reales de las puntas de prueba de voltaje y corriente en el sistema analizado.

2.4.3. Procedimiento experimental para la corrección del factor de potencia.

Conmutar el interruptor de la fuente de voltaje alterno fija. A continuación, acceder al menú **SCOPE** del analizador de energía. El oscilograma correspondiente se muestra en la Fig. 2.96. En ella, se puede notar la referencia de 208V en la escala de voltaje, realizada previamente en el menú **SETUP**. Para diferenciar, las señales de voltaje y corriente, se puede observar en el oscilograma, que señal de voltaje resalta más que la de corriente. La de voltaje es graficada con color negro oscuro mientras que la de corriente, lo es con un color negro claro. Adicionalmente, se observa que la corriente atrasa al voltaje. Al presionar la tecla **F3**, se accede al diagrama fasorial. El mismo muestra el desfase entre la corriente y el voltaje. Este se muestra en la Fig. 2.97.

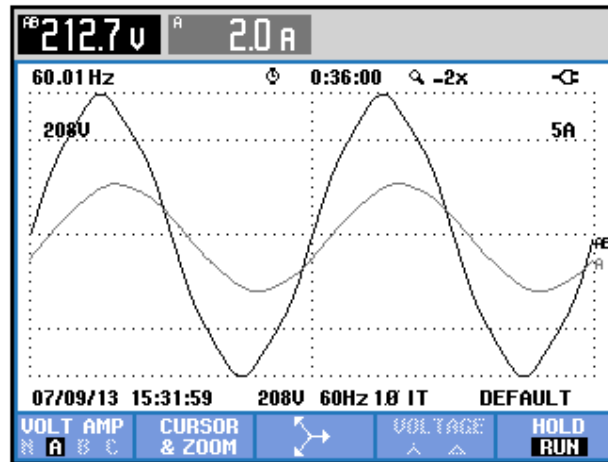


Figura 2.96: Señales de voltaje y corriente en el sistema analizado. (CH1: Vout, CH2: Iout)

Frecuencia detectada por el instrumento.

Desfase entre el voltaje y la corriente.

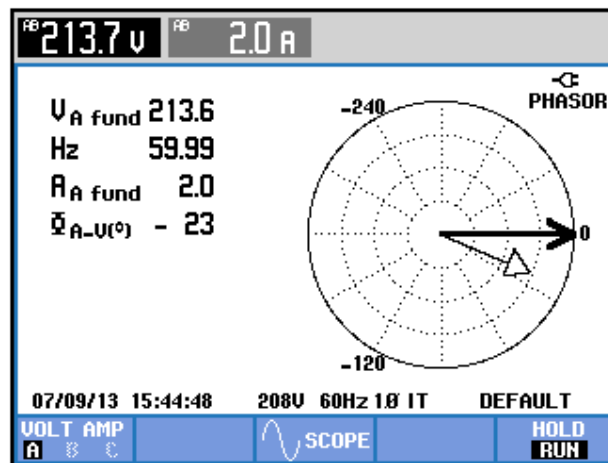


Figura 2.97: Diagrama fasorial mostrando los fasores de voltaje y corriente de la carga RL.

Asumimos una frecuencia fija de 60Hz. La inductancia correspondiente al paso 11 en el inductor R, es de 105mH, lo que implica que la reactancia inductiva es de 39.58Ω ; si la resistencia en el resistor R es de 95Ω , entonces, el valor del ángulo de desfase es calculado empleando el triángulo de impedancias, es decir:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{39.58\Omega}{95\Omega} \right)$$

$$\phi = 22.62^\circ$$

Con esto, se comprueba el buen funcionamiento del instrumento ya que el valor calculado se aproxima al indicado por el instrumento. A continuación, presionar el botón **MENU** y luego al submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** como se muestra en la Fig. 2.98. En la Fig. 2.99, se muestra el factor de potencia en el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA**.

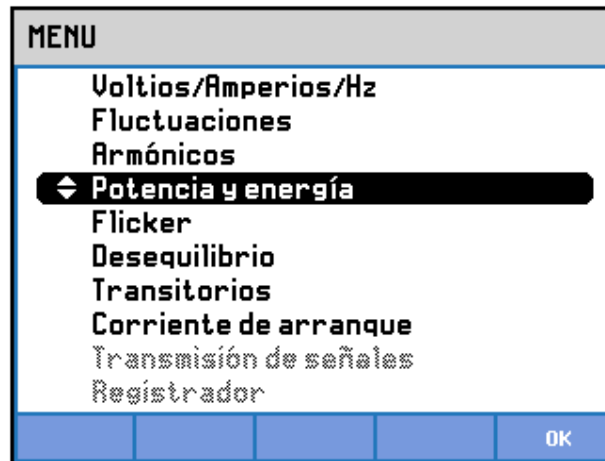
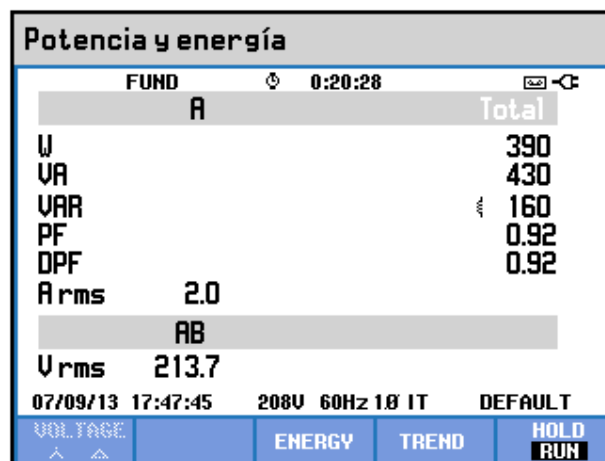


Figura 2.98: Selección del submenú POTENCIA Y ENERGÍA en el menú MENU.



Factor de potencia inductivo.

Figura 2.99: Factor de potencia PF=0.92 inductivo en la carga RL.

Habilitar el banco de capacitores y fijarlo en el paso 2. El diagrama fasorial se muestra en la Fig. 2.100. Es posible intentar pasos diferentes para observar como varia el desfase del fasor corriente con respecto al del voltaje. En la Fig. 2.101, se muestran el voltaje y la corriente en fase. En la Fig. 2.102, se muestra el factor de potencia resultante, el cual es aproximadamente la unidad, con lo cual se ha mejorado el factor de potencia.

Desfase
entre el
voltaje y la
corriente.

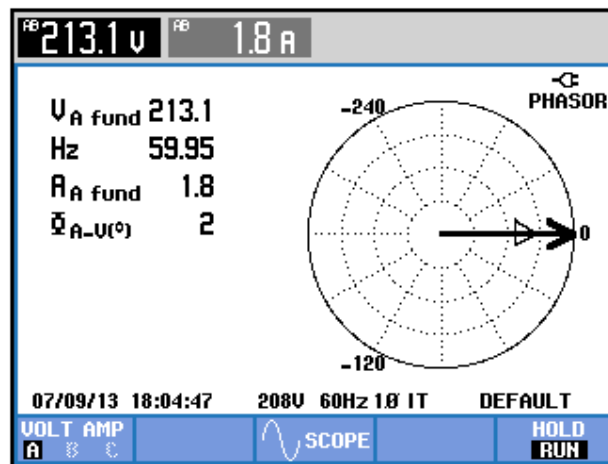


Figura 2.100: Diagrama fasorial mostrando los fasores de voltaje y corriente de la carga RL.

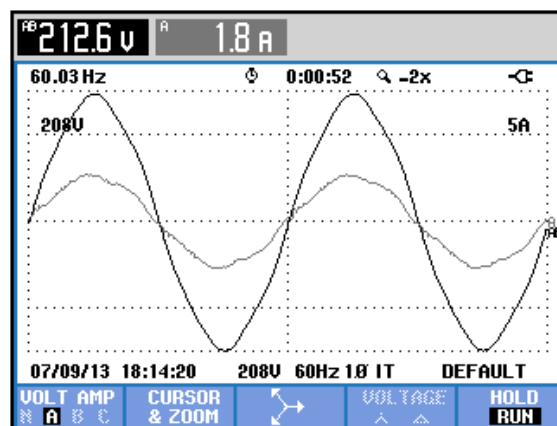


Figura 2.101: Oscilograma mostrando las señales de voltaje y corriente de la carga RL.

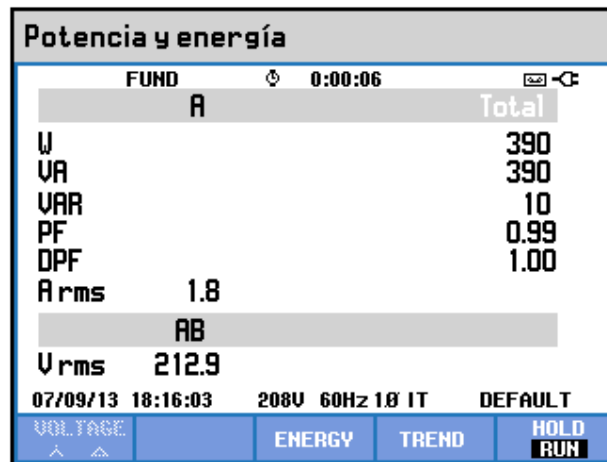


Figura 2.102: Factor de potencia mejorado en la carga RL.

2.5. Obtención de las curvas de tacómetros DC y AC.

En esta sección se describe el tercer experimento de la práctica.

2.5.1. Objetivos

Familiarizarse con el uso de la máquina DC MV1006, el tacogeneradores DC MV1024 y el tacogenerador AC MV1025.

2.5.2. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado DC vs velocidad del motor.

Realizar las conexiones mostradas en la Fig. 2.103. Revisar que los interruptores de habilitación de cada una de las cuatro fuentes de poder de la MV1300, se encuentren deshabilitados. Se sugiere revisar las secciones 2.2.5, 2.2.9, 2.2.10 y 2.2.14. En la Fig. 2.104, se muestran las

conexiones eléctricas reales entre la fuente MV1300 y el motor DC MV1006. Notar que el tacogenerador es DC.

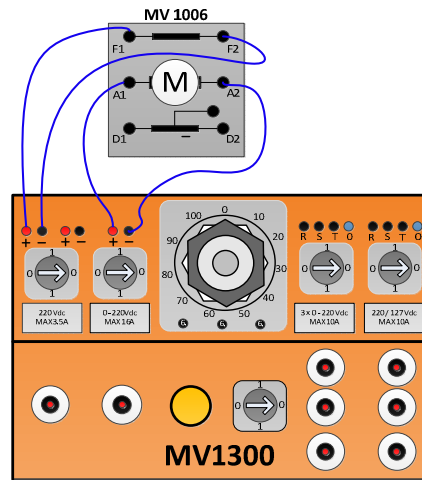


Figura 2.103: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador DC MV1024.

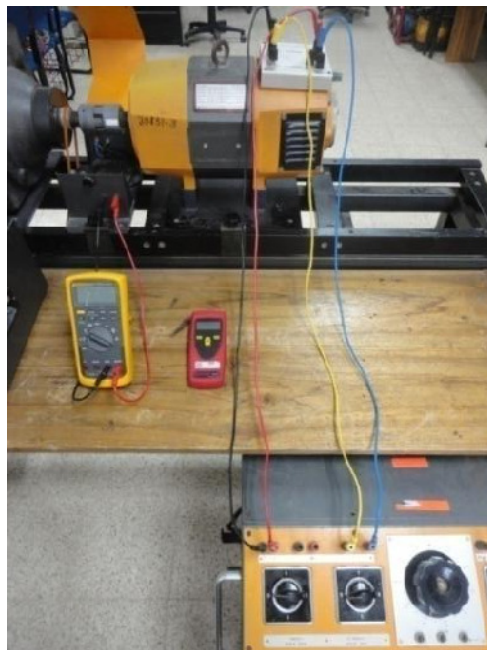


Figura 2.104: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador DC MV1024.

2.5.3. Procedimiento experimental para la obtención de la curva de voltaje generado vs velocidad del motor.

Proceder con la habilitación del interruptor de la fuente DC fija. Esto permite que se habilite el flujo de campo de la máquina DC. A continuación verificar que el el VARIAC se encuentre en la posición mínima, para garantizar que al habilitar la fuente DC variable, no se produzca un arranque directo. Luego de esto, habilitarla con el interruptor correspondiente.

Simultáneamente, girar el VARIAC hasta que la velocidad aumente en forma gradual en pasos de 250 rpm. Medir la velocidad en el eje con el tacómetro TACH20 y luego medir el voltaje DC generado con el multímetro FLUKE 87V. No es necesario controlar el voltaje en la armadura del motor DC, dado que la fuente DC variable entrega un voltaje de hasta 220V.

Es importante recalcar que las conexiones mostradas en la Fig. 2.103, permiten que el sentido de giro del tacogenerador DC sea antihorario, tal como se ilustra en la Fig. 2.27. Adicionalmente, el tacogenerador DC empleado es el de código de inventario 20829-1. La máquina DC empleada es la 20831-3. Es posible que los resultados varíen de acuerdo a la máquina DC empleada y al tacogenerador DC empleado.

En la tabla 2.20, se muestran los resultados experimentales. Se observa linealidad. La relación voltaje generado vs velocidad es de 19.32 V/rpm.

Des-energizar la MV1300. La gráfica de los datos anteriores se muestra en la Fig. 2.105.

TACO GENERADOR DC 20829-1 (sentido <i>anti-horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE GENERADO (V)
251	4.88
501	9.74
751	14.58
1001	19.37

Tabla 2.20: Velocidad y voltaje del taco-generador MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario

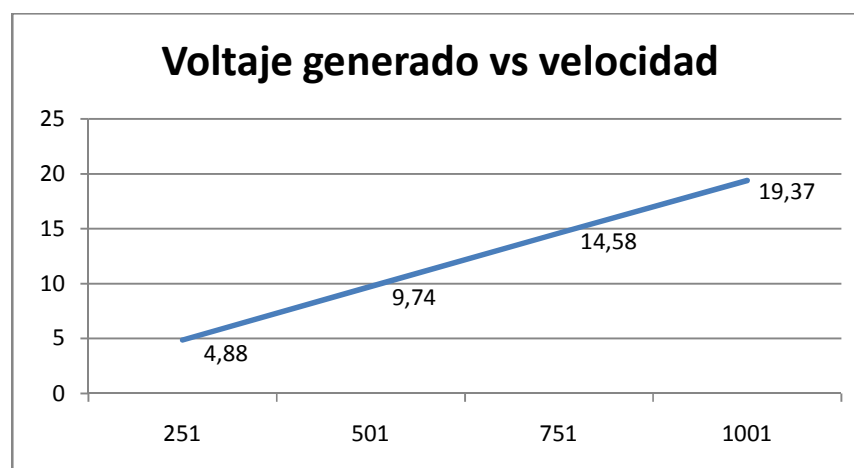


Figura 2.105: Gráfica de la curva voltaje generado vs velocidad en el taco-generador DC MV1024 de código 20829-1 al girar en sentido anti-horario

2.5.4. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado AC y de frecuencia generada vs velocidad del motor.

Realizar las conexiones eléctricas mostradas en la Fig. 2.106. Notar que en comparación con las de la Fig. 2.103, las conexiones hacia la armadura han sido invertidas para poder permitir que el giro del motor

cambie. Esto se refleja en el sentido de giro del taco-generador AC MV1025. Las conexiones reales se muestran en la Fig. 2.107.

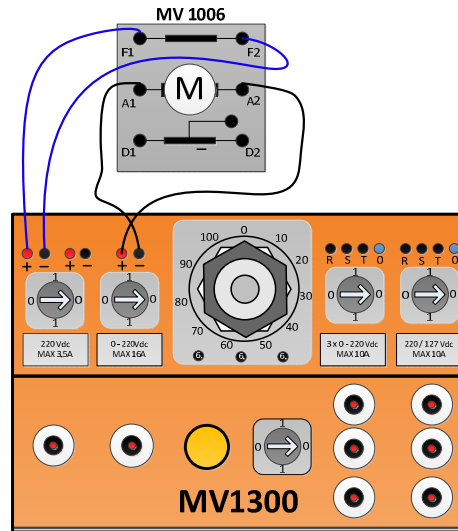


Figura 2.106: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas de los taco-generadores AC MV1025.

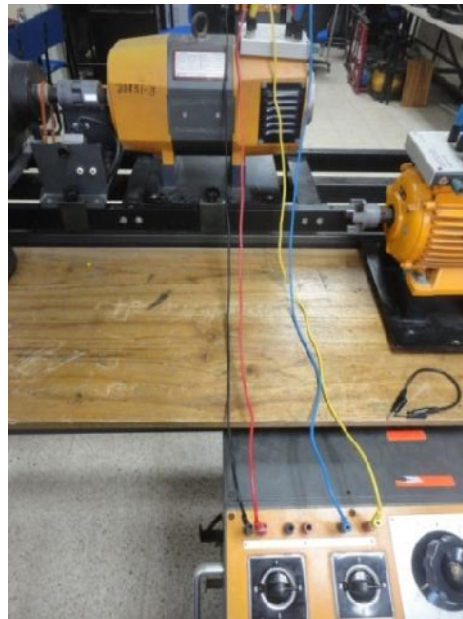


Figura 2.107: Conexiones eléctricas entre la fuente MV1300 y la caja de borneras de la máquina DC MV1006 para la obtención de curvas del taco-generador AC MV1025.

2.5.5. Procedimiento experimental para la obtención de la curva de voltaje generado AC y frecuencia generada vs velocidad del motor.

El procedimiento es similar al realizado en la sección 2.5.3; la diferencia radica en que el sentido de giro del taco-generador AC ocurre en sentido horario para las conexiones mostradas en la Fig. 2.107. Adicionalmente, es necesario obtener la medición AC del voltaje generado en el taco-generador. Simultáneamente al capturar esta medición, es posible obtener la medición de la frecuencia del voltaje AC generado. Para ello, luego de obtener la medición de voltaje AC generado, únicamente presionar el botón **Hz %** del multímetro FLUKE 87V. El taco-generador AC empleado es el de código 20830-3. Las tablas 2.20 y 2.21 resumen los resultados.

En las Figs. 2.108 y 2.109 se pueden observar la linealidad de las relaciones voltaje generado y frecuencia vs velocidad del motor. La relación voltaje generado vs velocidad del motor es de 10.41V/1000rpm. La relación de frecuencia generada vs velocidad del motor es de 49.82Hz/1000rpm.

TACO GENERADOR AC 20830-3 (sentido <i>horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	VOLTAJE AC GENERADO (V)
251	2.58
500	5.21
750	7.79
998	10.36

Tabla 2.21: Voltaje AC generado vs velocidad del taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.

TACO GENERADOR AC 20830-3 (sentido <i>horario</i>)	
VELOCIDAD (RPM)	FRECUENCIA GENERADA (Hz)
251	12.50
500	25.05
750	37.35
998	49.72

Tabla 2.22: Frecuencia generada vs velocidad del taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.

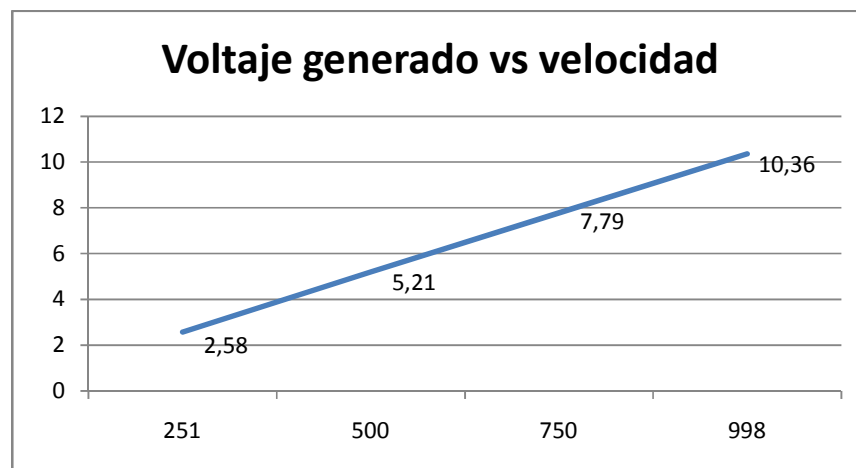


Figura 2.108: Gráfica de la curva voltaje AC generado vs velocidad en el taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.

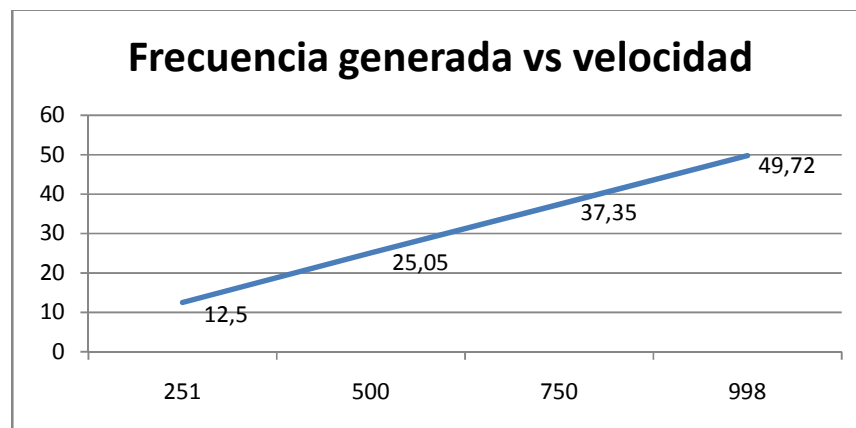


Figura 2.109: Gráfica de la curva frecuencia generada vs velocidad en el taco-generador AC MV1025 de código 20830-3 al girar en sentido horario.

2.6. Obtención de curvas velocidad versus corriente de armadura de un motor DC de excitación separada alimentado con voltaje de armadura constante.

En esta sección se describe el cuarto experimento de la práctica.

2.6.1. Objetivos

Familiarizarse con el uso del freno por corrientes de Eddy MV1045 con el fin de variar la carga mecánica en un motor DC.

2.6.2. Conexiones eléctricas de los equipos para la obtención de la curva voltaje generado DC vs velocidad del motor.

Revisar la sección 2.2.8 que indica el uso del freno de corrientes de Eddy MV1045. Revisar que los interruptores de habilitación de las fuentes DC fija y variable no lo estén. Realizar las conexiones entre el motor DC y la fuente MV1300 mostradas en la Fig. 2.103. Conectar el panel posterior del control de freno de corrientes de Eddy MV1045 como se muestra en la Fig. 2.110. La conexión entre la galga extensiométrica y el control del freno de corrientes de Eddy es opcional como se indicó en la sección 2.2.8.

Una vista general del experimento se muestra en la Fig. 2.111. Con respecto a los instrumentos de medición, en primer lugar, adquirir el voltaje y corriente promedio de armadura en el canal A y B respectivamente. Se sensorá la velocidad en el eje de la máquina DC.



Figura 2.110: Conexiones reales entre el freno de corrientes de Eddy y su control.

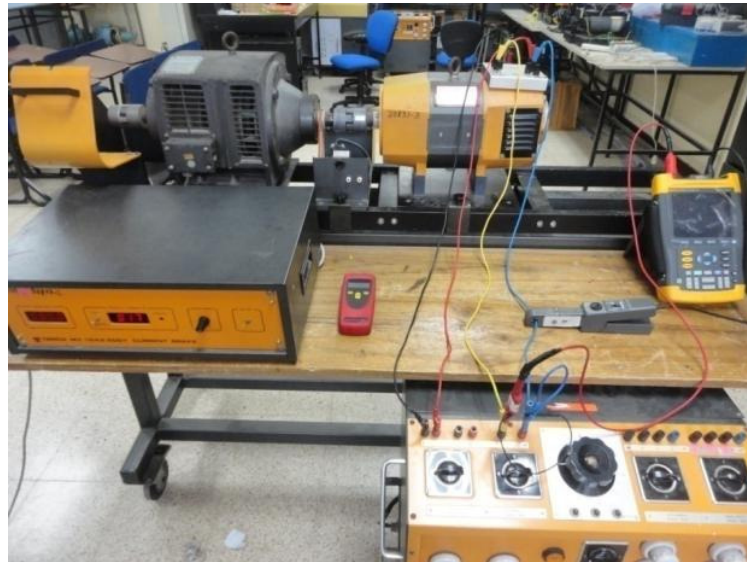


Figura 2.111: Conexiones reales en la experimentación para la obtención de la curva de corriente de armadura vs velocidad de la máquina DC MV1006 en conexión excitación separada.

2.6.3 Procedimiento experimental para la obtención de la curva de velocidad vs corriente de armadura.

Ajustar la posición del potenciómetro BRAKE FORCE en mínimo. ÇA continuación, energizar el campo de la máquina MV1006 empleando el interruptor de la fuente DC fija de la fuente MV1300. Luego, verificar que el variac se encuentra en la posición mínima. A continuación, energizar la fuente DC variable. Empleando el variac, ajustar el voltaje de armadura hasta que la velocidad en el eje del motor sea de 1000rpm aproximadamente, como se muestra en la Fig. 2.112.



Figura 2.112: Ajuste de la velocidad en 1000rpm previo a la obtención de la curva de corriente de armadura vs velocidad de la máquina DC MV1006 en conexión excitación separada.

Observar el oscilograma de voltaje y corriente promedio de armadura mostrado en la Fig. 2.113. Esta es la corriente en vacío del motor. Tomar en consideración, las escalas verticales y de tiempo. Adicionalmente, es importante hacer notar la configuración del menú

TRIGGER, en ella, se muestra que el menú **SLOPE** está configurado con flanco ascendente en el canal A. De esta forma al desplazar el marcador del trigger hacia el área limitada por el máximo y mínimo de la señal del canal A como se explicó en la sección 2.3.3, se observa que el marcador coincide con un flanco positivo de la señal de este canal.

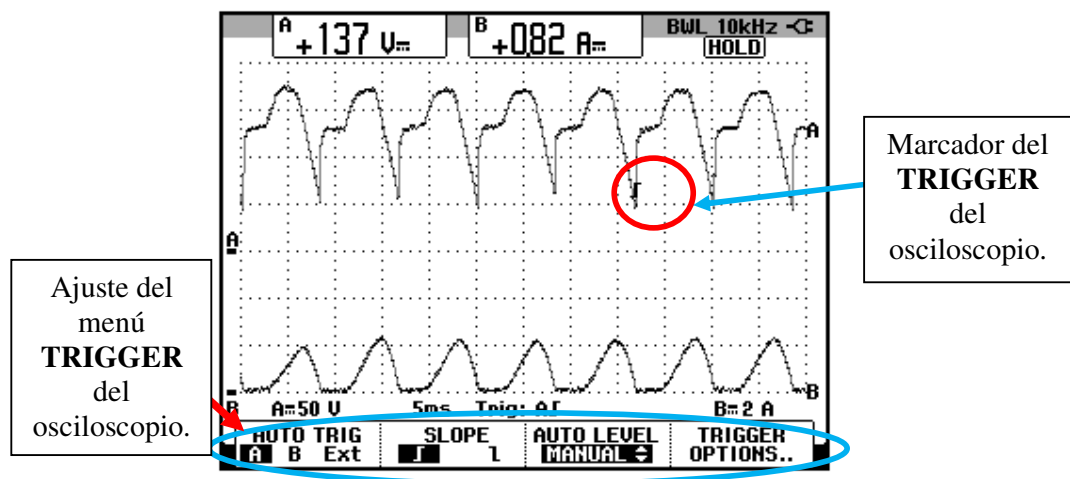


Figura 2.113: Oscilograma de voltaje y corriente de armadura. Mediciones promedio. (CH1: Vout, CH2: Iout)

A continuación, encender el equipo MV1045 y girar lentamente el potenciómetro **BRAKE FORCE** hasta que la corriente de armadura aumente en pasos de 1A. Registrar la nueva velocidad de la máquina MV1006. En la tabla 2.22, se muestra el registro de datos hasta 6A, la cual es la corriente nominal de armadura de la máquina DC MV1006. La curva de corriente de armadura vs velocidad del motor se muestra en la Fig. 2.114.

CORRIENTE ARMADURA (A)	VELOCIDAD(RPM)	VOLTAJE ARMADURA(V)
0.82	1003	137
1.92	748	101
3.00	631	90.6
3.93	555	83.9
4.97	475	76.9
5.93	404	70.8

Tabla 2.22: Corriente de armadura, voltaje de armadura y velocidad del motor DC MV1006.

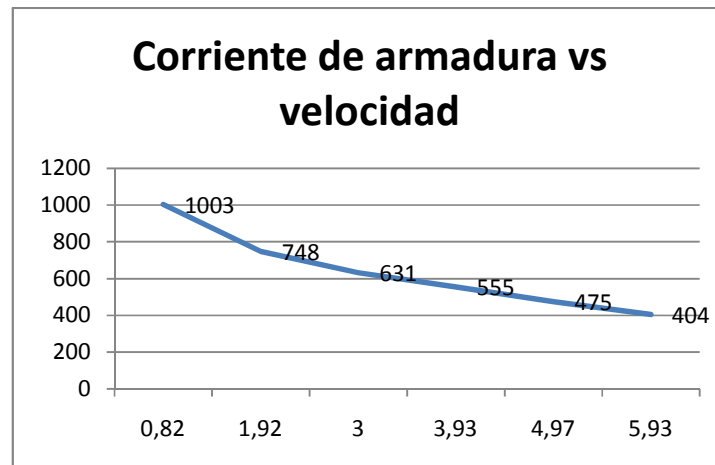


Figura 2.114: Curva de velocidad vs corriente de armadura en la máquina MV1006 funcionando como motor en excitación separada.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS RECTIFICADORES MONOFÁSICOS CONMUTADOS POR LÍNEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLÉS MAWDSLEY'S

3.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica, procedimientos de uso del drive y conexiones entre el drive y las cargas eléctricas.

En el presente capítulo se analizan las topologías de cuatro convertidores AC-DC monofásicos: convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado, convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central, convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado, convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado. Se calculan figuras de mérito en las diferentes topologías empleando carga resistiva y un ángulo de disparo fijo, se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y se

obtienen las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente de los semiconductores empleados en cada topología para una carga resistiva-inductiva y un ángulo de disparo fijo.

3.1.1. Listado de equipos a emplearse

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación:

- Drive Mawdsley's
- Osciloscopio FLUKE 192B o 192C
- Analizador de energía FLUKE 434 o 435
- Multímetro FLUKE 87V
- Banco de resistencias TERCO MV 1100
- Banco de inductores TERCO MV1101
- Interruptor TERCO MV 1500
- Cables de tipo banana.

3.1.2. Procedimientos de uso del drive

3.1.2.1. Conexión de instrumentos de medición

- Considerar que en la terminal 1, el voltaje es mayor que en la terminal 6 y que la corriente circula desde la terminal 1 a la carga y de esta, regresa al drive por la terminal 6.

- Con respecto a los oscilogramas de voltaje y corriente y análisis de armónicos, conectar la punta de prueba de voltaje en las terminales 1 y 6 del drive y la punta de prueba de corriente considerando la señal que indica el sentido de la corriente; es necesario calibrar la punta de corriente a través de su perilla ZERO.

3.1.2.2. Energización del Drive

- Verificar que todos los breakers de la Mawdsley's estén repuestos (abiertos).
- Conectar el convertidor de potencia Mawdsley's a la red trifásica del Laboratorio.
- Verificar que la lámpara de ENCENDIDO, lo esté.

3.1.2.3. Energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
- Fijar positivamente (+) el selector REFERENCE POLARITY.
- Accionar el breaker del transformador monofásico.
- Accionar el breaker S superior.
- Accionar el breaker DC de la carga.

3.1.2.4. Des-energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
- Reponer el breaker DC de la carga.
- Reponer el breaker S superior.
- Reponer el breaker del transformador monofásico.

Al realizar este procedimiento es necesario medir el voltaje de referencia, es decir el voltaje entre las terminales T1 y CONTROL COMMON, en caso de que el ángulo de disparo sea el mismo para la siguiente variante del experimento y evitar su reajuste a través del osciloscopio.

3.1.3. Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.

3.1.3.1. Carga resistiva.

En la Fig. 3.1 se detalla la conexión respectiva.

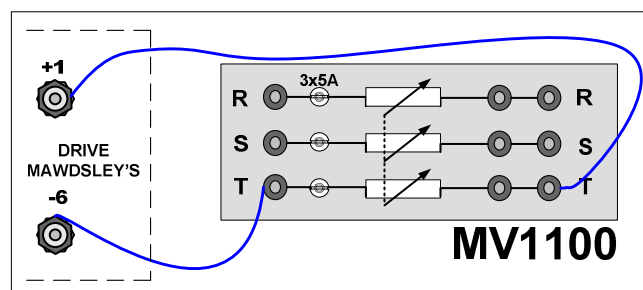


Figura 3.1: Conexión del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's

3.1.3.2. Carga resistiva-inductiva.

En la Fig. 3.2 se detalla la conexión respectiva.

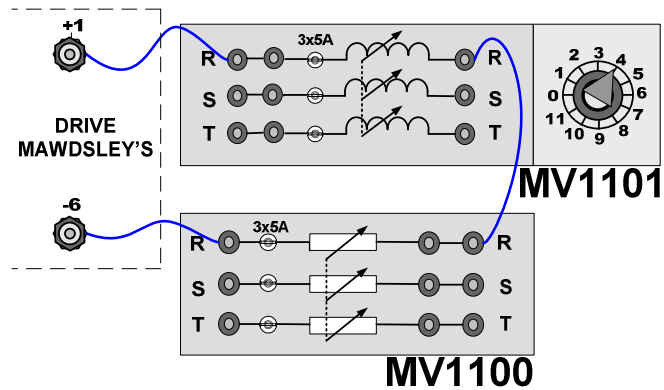


Figura 3.2 Conexión del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's.

3.1.3.3. Carga resistiva-inductiva con diodo de paso libre.

Cambiar la posición del interruptor MV1500. En la posición 1, el interruptor trifásico permite la conducción. Referirse al circuito de potencia, al inicio de cada experimento. Observar la Fig. 3.3.

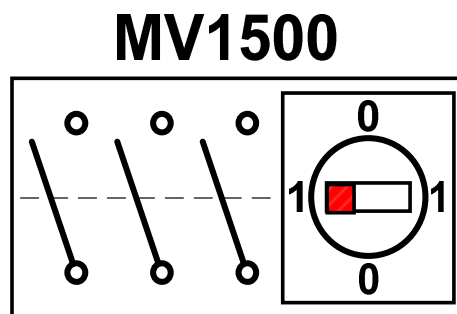


Figura 3.3 Conexión de un diodo de paso libre empleando el interruptor MV1500

3.2. Convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado

En esta sección se desarrolla el primer experimento de la práctica.

3.2.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de media onda controlado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

3.2.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado se muestra en la Fig. 3.4. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 3.5. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 3.6:

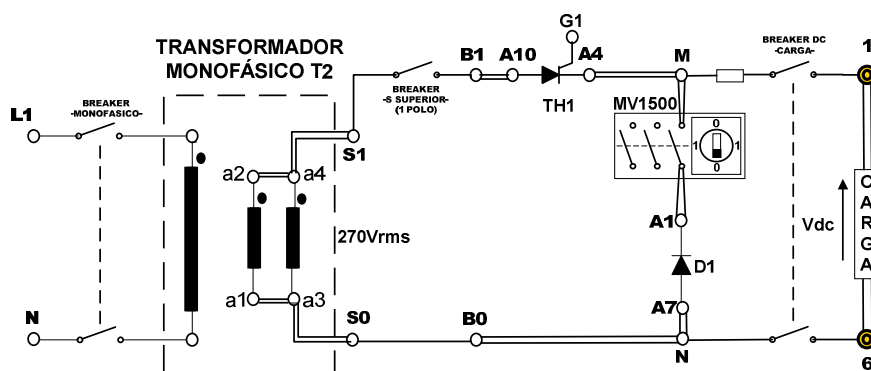


Figura 3.4: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de media onda

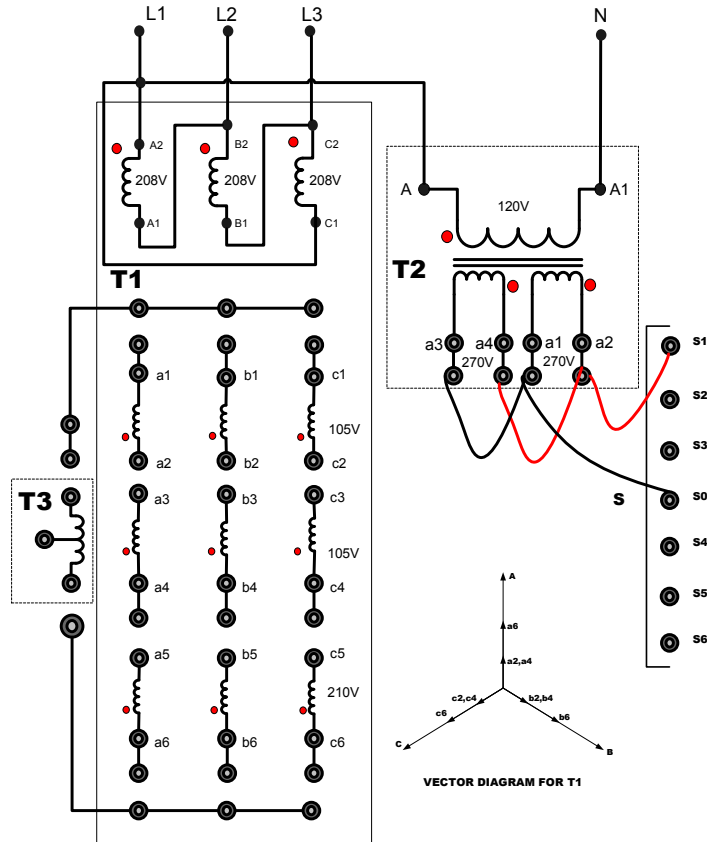


Figura 3.5: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el convertidor AC-DC monofásico de media onda

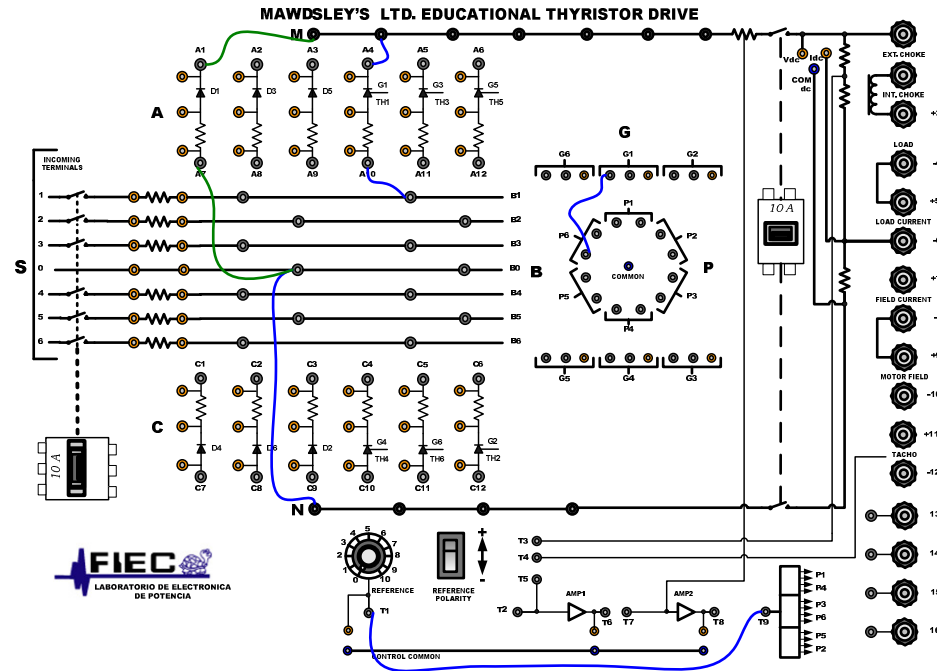


Figura 3.6: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de media onda en el panel frontal del Drive Mawdsley's

3.2.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=0^\circ$. El oscilograma del voltaje del secundario del transformador y el pulso P6 para $\alpha=0^\circ$, se muestra en la Fig. 3.7. El oscilograma del voltaje de salida y la corriente de salida para $\alpha=0^\circ$, se muestra en la Fig. 3.8. Se muestra también, en la lectura 1 y en la lectura 2, la medición promedio del voltaje y la corriente, respectivamente. En el oscilograma de la Fig. 3.9, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En

el oscilograma de la Fig. 3.10, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

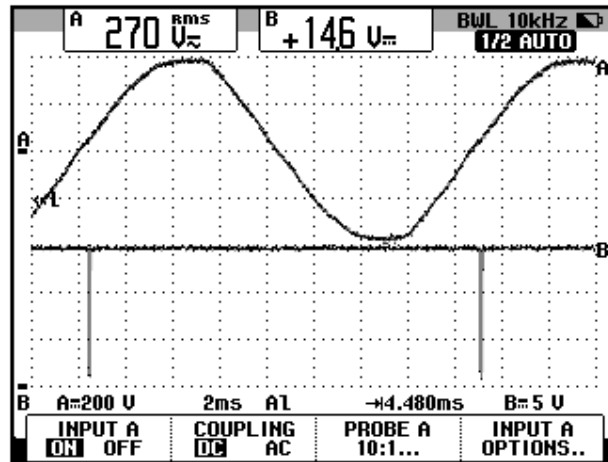


Figura 3.7: Oscilograma de las señales en S1-S0 (vin) y P6 (vp6); (CH1: vin, CH2: vp6).

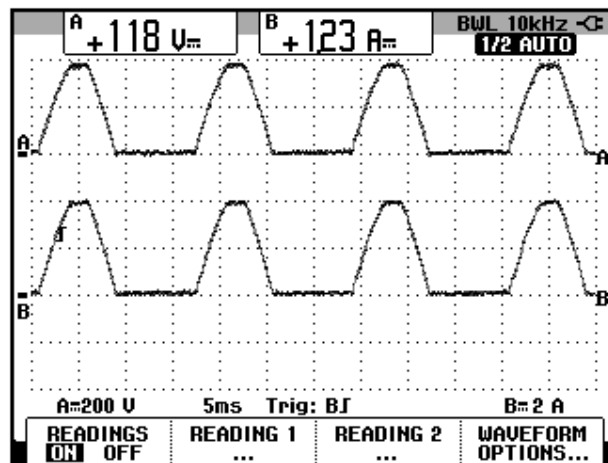


Figura 3.8: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).

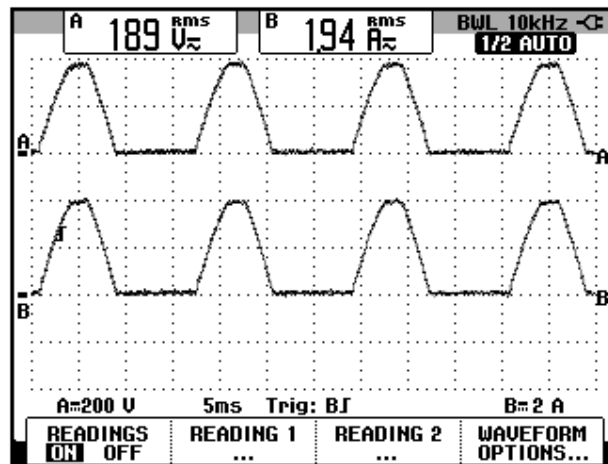


Figura 3.9: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).

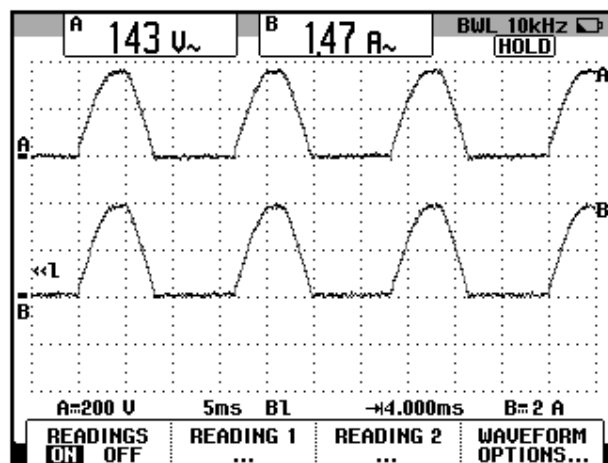


Figura 3.10: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida (CH1: vout, CH2: iout).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=0^\circ$, se calcula en base a la fórmula 3.1 [1]:

$$P_{OUT(DC)} = V_{OUT(DC)} * I_{OUT(DC)} \quad (3.1)$$

$$P_{OUT(DC)} = 145.14 [W]$$

Empleando la fórmula 3.2 es posible calcular el valor experimental de $P_{OUT(AC)}$, para $\alpha=0^\circ$ [1]:

$$P_{OUT(AC)} = V_{OUT(RMS)} * I_{OUT(RMS)} \quad (3.2)$$

$$P_{OUT(AC)} = 346 [W]$$

La eficiencia del convertidor se calcula con la fórmula 3.3 [1]:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}} \quad (3.3)$$

$$\eta = 0.42$$

El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida, se calcula con la fórmula 3.4 [1]:

$$FF = \frac{V_{OUT(RMS)}}{V_{OUT(DC)}} \quad (3.4)$$

$$FF = 1.6$$

El factor de rizo (RF, de *ripple factor*), que es una medida del contenido alterno residual [1]:

$$RF = \frac{V_{OUT(AC)}}{V_{OUT(DC)}} \quad (3.5)$$

$$RF = 1.21$$

El factor de utilización de transformador (TUF, de *transformer utilization factor*), se calcula con la fórmula 3.6 [1]:

$$TUF = \frac{P_{OUT(DC)}}{V_S I_S} \quad (3.6)$$

$$TUF = 0.28$$

3.2.4. Análisis de armónicos del voltaje de salida del convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

En esta sección se configura el analizador de energía de acuerdo a la conexión del secundario del transformador y luego se realiza el análisis de armónicos del voltaje de salida, el cual tiene la misma forma de onda que la corriente.

3.2.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar en el analizador de energía, el menú SETUP del analizador de energía, como se muestra en la Fig. 3.11. En el submenú CONFIG., elegir la configuración 1Ø 1T NO NEUTRAL, tal como se muestra en la Fig. 3.12.

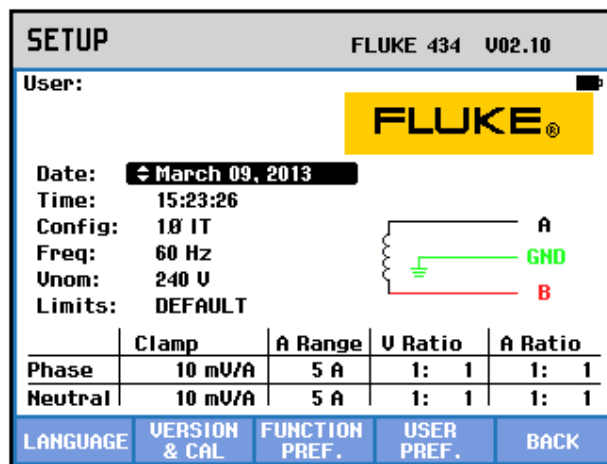


Figura 3.11: Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434

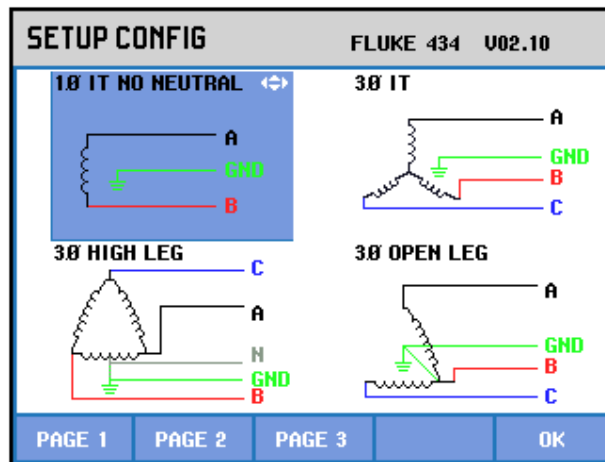


Figura 3.12: Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC monofásico de media onda empleando el analizador de energía Fluke 434

Realizar las conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente entre el analizador y el convertidor AC-DC monofásico de media onda. El modelo de la punta de prueba de corriente debe ser **80i-110s AC/DC CURRENT PROBE**, es decir la misma empleada con el osciloscopio Fluke 192B. Las conexiones se muestran en la Fig. 3.13. El nodo de tierra del drive está conectado a la estructura metálica del mismo. El nodo de tierra está ubicado en la parte posterior del drive, por ello, la punta de prueba de voltaje de tierra debe ser conectada al nodo de tierra del drive. Esto se muestra en la Fig. 3.14.

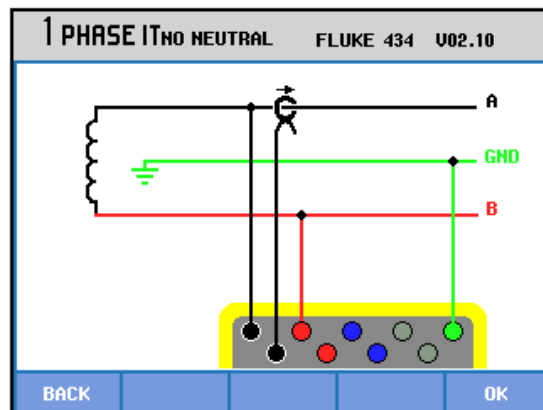


Figura 3.13: Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al convertidor AC-DC monofásico de media onda

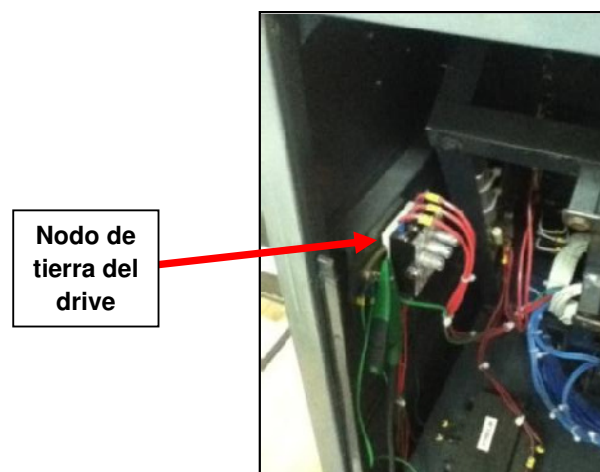


Figura 3.14: Conexión de la punta de prueba de voltaje al nodo de tierra en la parte posterior del Drive Mawdsley's.

3.2.4.2. Obtención de armónicos del voltaje de salida empleando el analizador de energía Fluke 434

La serie de Fourier de una señal periódica como el voltaje de salida se puede expresar de la forma mostrada en la fórmula 3.7 [2].

$$v_o(t) = V_o + \sum_{n=1}^{\infty} C_n * \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (3.7)$$

En base a la fórmula 3.7, se observa que se requieren tres parámetros para definir el voltaje de salida como una serie de Fourier:

- V_o , que representa la componente promedio ó DC.
- C_n , que representa el valor pico de una componente armónica de orden n. Cada armónica es una señal senoidal; conociendo su valor pico, el valor eficaz (RMS) se lo calcula dividiendo el valor pico para $\sqrt{2}$.
- φ_n , que representa el desfaseamiento de una componente armónica de orden n, con respecto a la fase de la componente fundamental (n=1).

El analizador de energía Fluke 434, permite visualizar estos tres parámetros.

Al acceder al MENÚ, elegir el submenú ARMÓNICOS Esto se muestra en la Fig. 3.15. La medición de THD, se muestra en la Fig. 3.16. La componente promedio, se muestra en la Fig. 3.17. Los parámetros de la armónica fundamental, se muestran en la Fig. 3.18. Los parámetros de la segunda armónica, se muestran en la Fig. 3.19. Los parámetros de la tercera armónica, se muestran en la Fig. 3.20. Los parámetros de la cuarta armónica, se muestran en la Fig. 3.21. Los parámetros de la quinta

armónica, se muestran en la Fig. 3.22. En la Tabla 3.1, se resumen los resultados obtenidos.

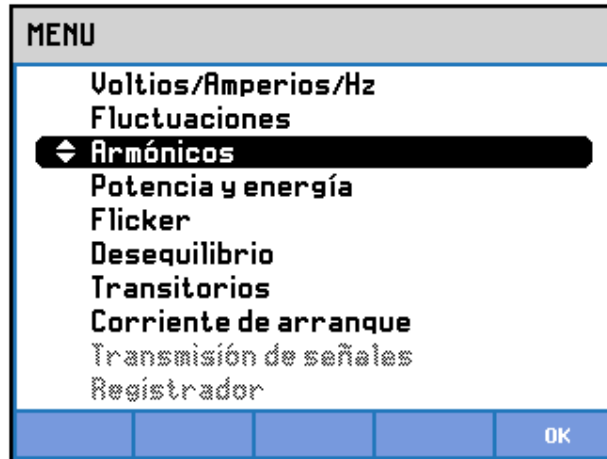


Figura 3.15: Acceso al submenú Armónicos del menú principal en el analizador de energía Fluke 434

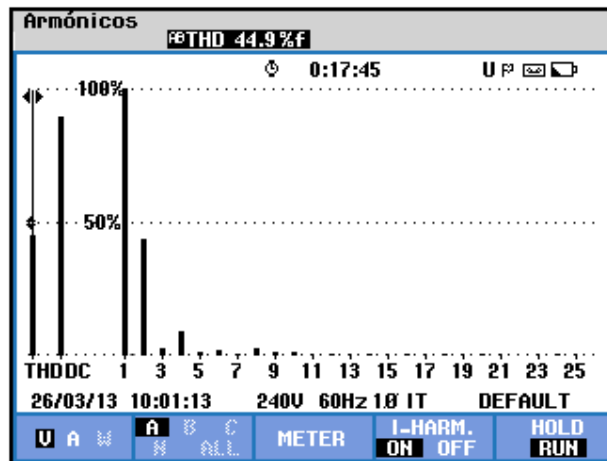


Figura 3.16: Medición de THD de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

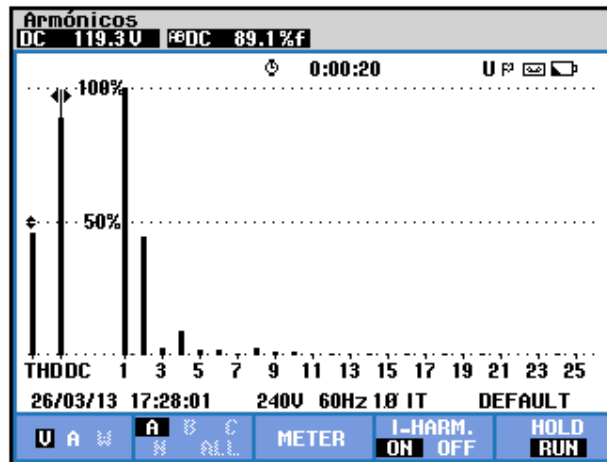


Figura 3.17: Medición de la componente promedio del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

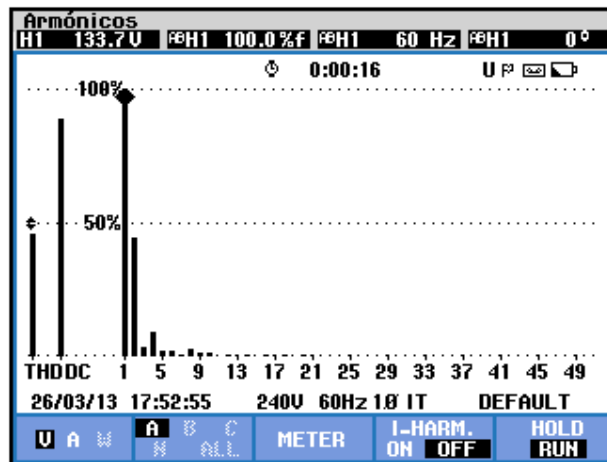


Figura 3.18: Medición de la armónica fundamental del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

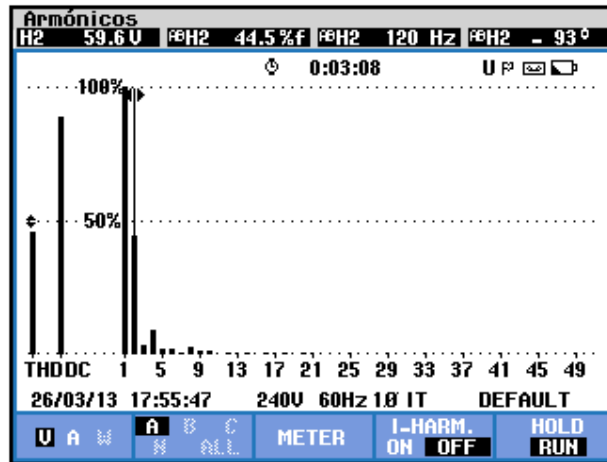


Figura 3.19: Medición de la segunda armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

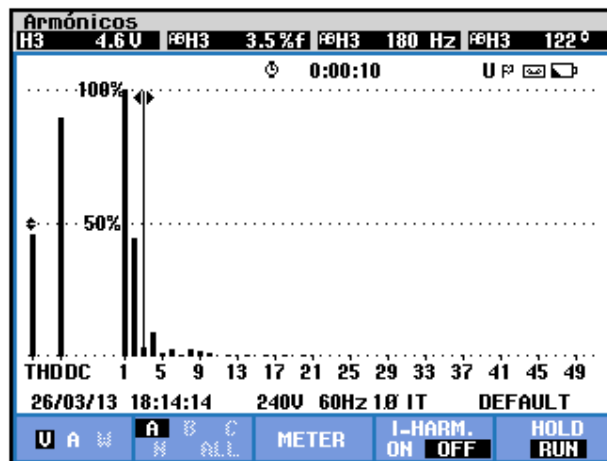


Figura 3.20: Medición de la tercera armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

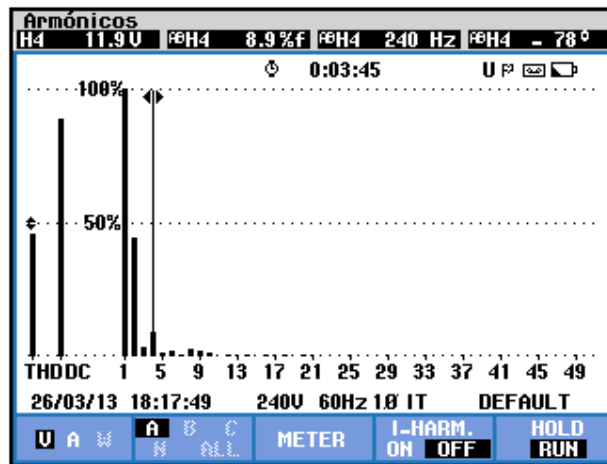


Figura 3.21: Medición de la cuarta armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

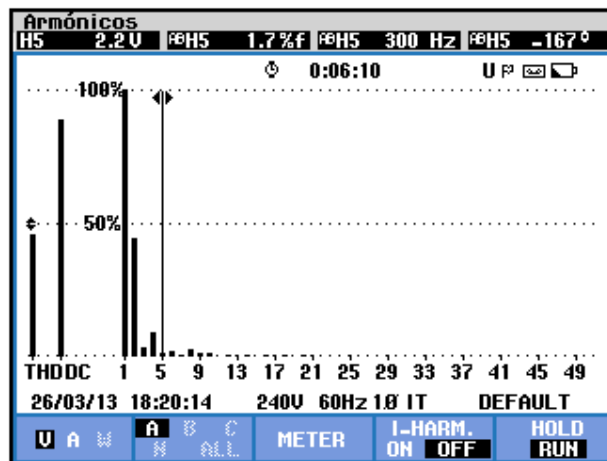


Figura 3.22: Medición de la quinta armónica de voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para α cercano a 0 grados y carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

THD	V_o [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [$^\circ$]
0.449	119.3	1	133.7	0
		2	59.6	-93
		3	4.6	122
		4	11.9	-78
		5	2.2	-167

Tabla 3.1: Resultados experimentales para los parámetros de las cinco primeras componentes armónicas del voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda para $\alpha=0^\circ$ y carga resistiva

Se puede observar que las armónicas pares tienen mayor trascendencia que las armónicas impares.

El desfase entre el voltaje del secundario del transformador y la corriente del secundario del transformador, así como el valor eficaz de la armónica fundamental de la corriente salida se muestra en la Fig. 3.23.

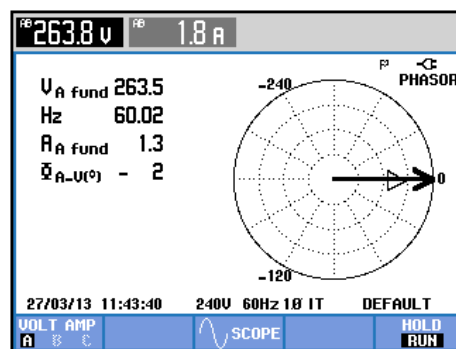


Figura 3.23: Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico en el convertidor AC-DC empleando el analizador de energía Fluke 434

En el submenú POTENCIA Y ENERGÍA se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**, el cual está definido como el coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente del secundario del transformador. Estos parámetros se muestran en la Fig. 3.24.

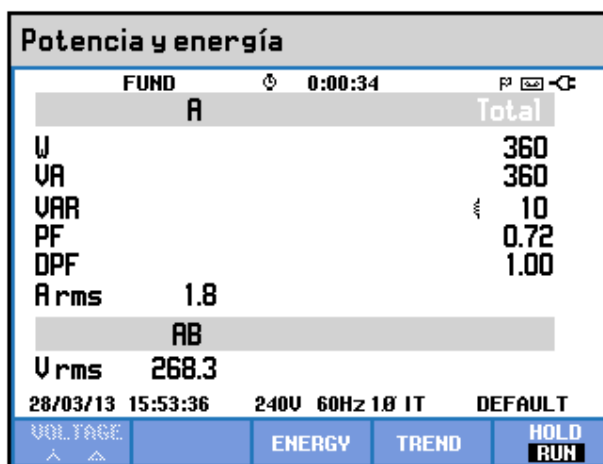


Figura 3.24: Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con carga R y $\alpha=0^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

3.2.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 125Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a 330mH.

El ángulo de la carga, el cual se lo calcula con la fórmula:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi fL}{R}\right) \quad (3.8)$$

Donde f , es la frecuencia de la señal fundamental de voltaje ó corriente de salida, la cual es de 60Hz para el convertidor AC-DC monofásico de media onda.

$$\phi = 45^\circ$$

La fórmula 3.9 permite calcular el intervalo de tiempo requerido para ajustar el ángulo de disparo en 45° .

$$t_\alpha = \frac{8.33ms}{180^\circ} * (\Delta \alpha) \quad (3.9)$$

$$t_\alpha = 2.0825ms$$

El valor más próximo es 2.080ms. Ver Fig. 3.25. En el oscilograma de la Fig. 3.26, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. La medición del ángulo de conducción se muestra en la Fig. 3.27.

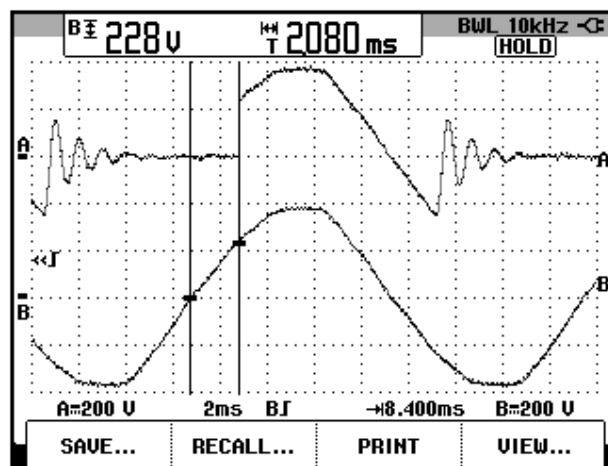


Figura 3.25: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=45^\circ$. (CH1: Vout, CH2: Vin).

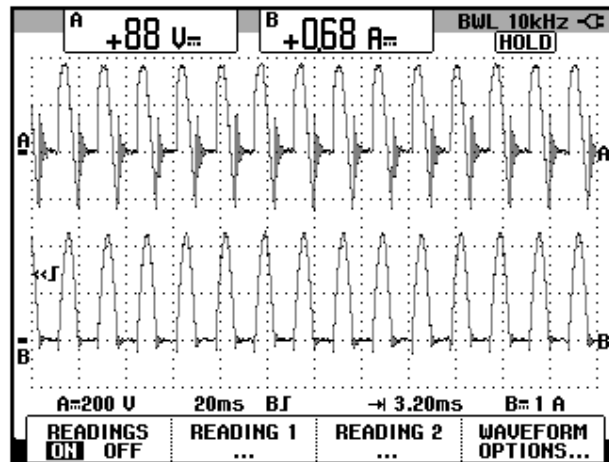


Figura 3.26: Oscilograma que muestra la medición promedio de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL con un ángulo de carga de 45 grados

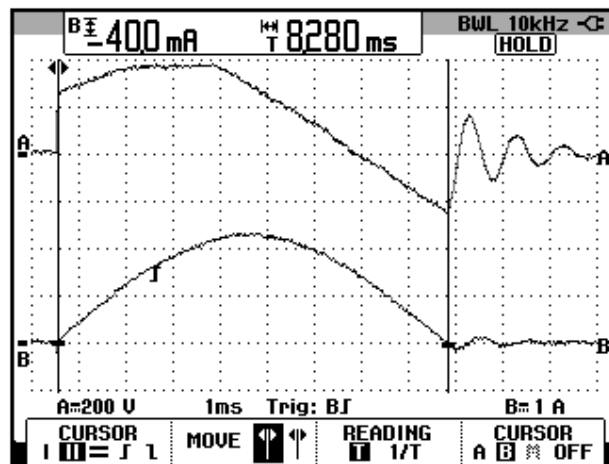


Figura 3.27: Oscilograma que muestra la medición del ángulo de conducción γ en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL con un ángulo de carga de 45 grados

El cálculo del valor del ángulo de conducción γ en grados, se realiza empleando la fórmula 3.10:

$$\Delta \alpha = \frac{180^\circ}{8.33ms} * t_\alpha \quad (3.10)$$

Por ende,

$$\gamma = 178.9^\circ$$

Donde,

$$\beta = \alpha + \gamma \quad (3.11)$$

Conociendo que $\alpha=45^\circ$,

$$\beta = 223.9^\circ$$

3.2.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

En el oscilograma de la Fig. 3.28, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.29, se muestra la corriente de salida y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.30, se muestra el voltaje en la resistencia y el voltaje en el inductor.

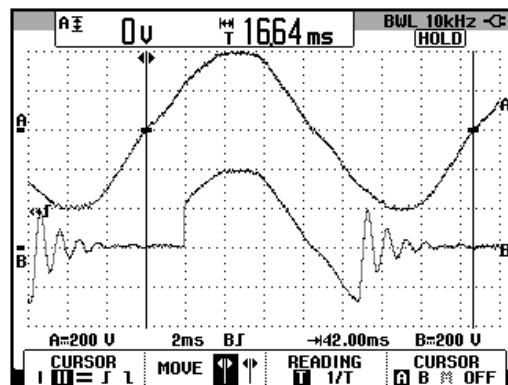


Figura 3.28: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$ (CH1: V_{in} , CH2: V_{out}).

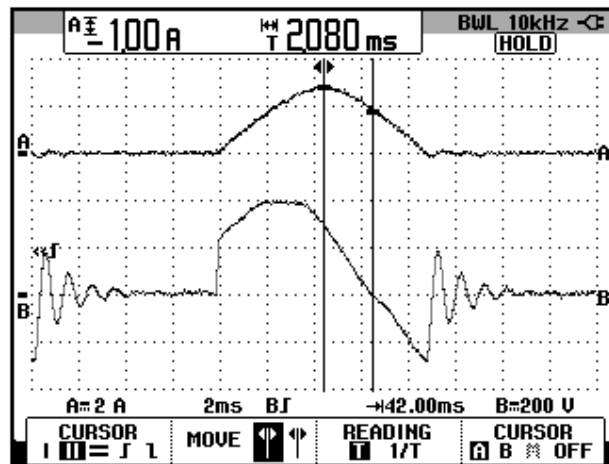


Figura 3.29: Oscilograma que muestra la corriente de salida y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$. (CH1: i_{out} , CH2: V_{out}).

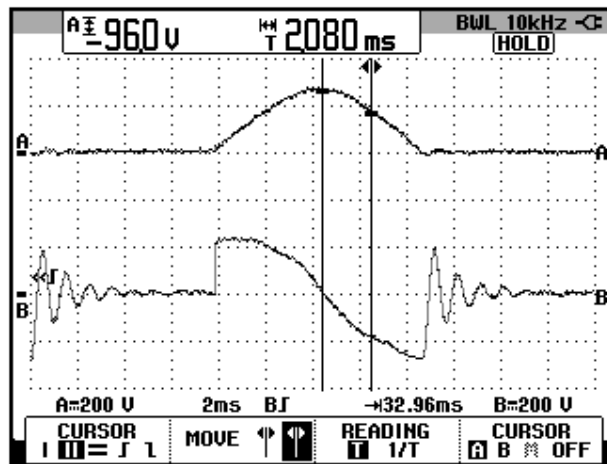


Figura 3.30: Oscilograma que muestra el voltaje en la resistencia y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico con carga resistiva-inductiva y $\alpha=45^\circ$. (CH1: V_R CH2: V_L).

3.2.7. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva con la activación del diodo de paso libre empleando el osciloscopio Fluke 192B.

En el oscilograma de la Fig. 3.31, se muestra el voltaje de salida y la corriente de entrada al convertidor analizado. En el oscilograma de la Fig. 3.32, se muestra el voltaje de salida y la corriente que circula a través del diodo de paso libre. En el oscilograma de la Fig. 3.33, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida.

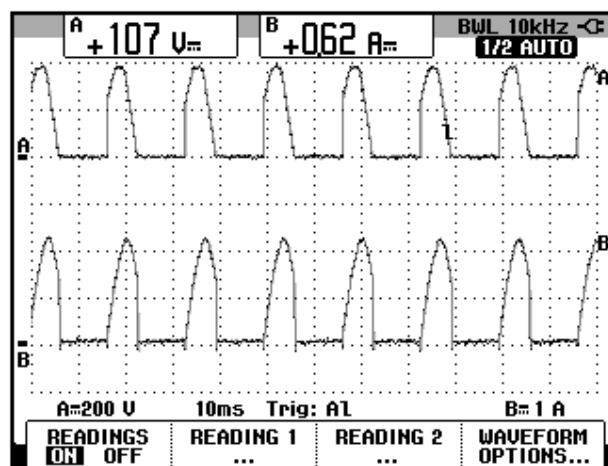


Figura 3.31: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: i_{in}).

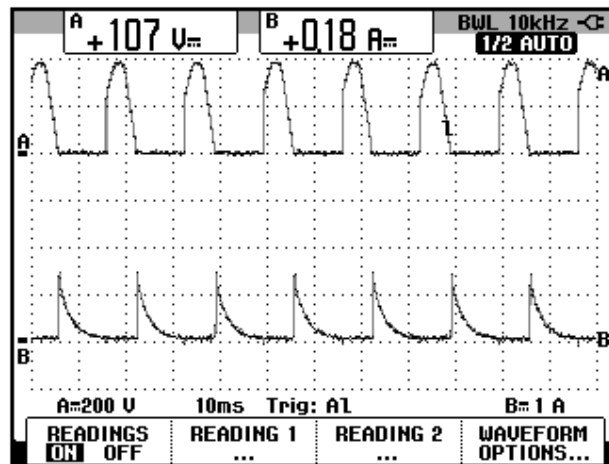


Figura 3.32: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente interna del convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: I_{d1}).

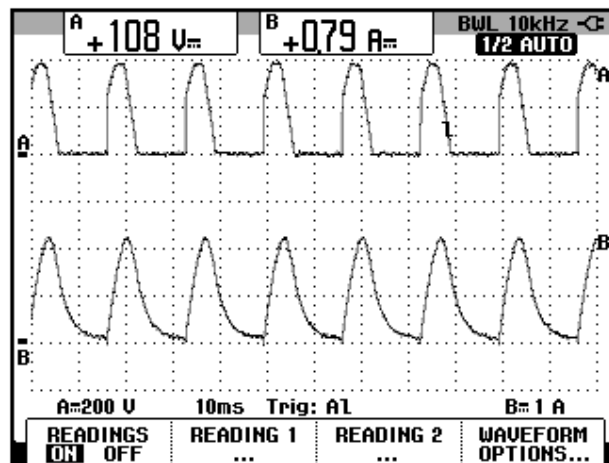


Figura 3.33: Oscilograma que muestra en el canal B, la forma de la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de media onda con $\alpha=45$ grados y carga RL donde $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ y diodo de paso libre (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

3.3. Convertidor AC-DC monofásico de onda controlado completa con tap central.

En esta sección se desarrolla el segundo experimento de la práctica.

3.3.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa controlado con tap central, calculando las figuras de merito, realizando el análisis de armónicos y visualizando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

3.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado se muestra en la Fig. 3.34. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 3.35. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior se muestran en la Fig. 3.36.

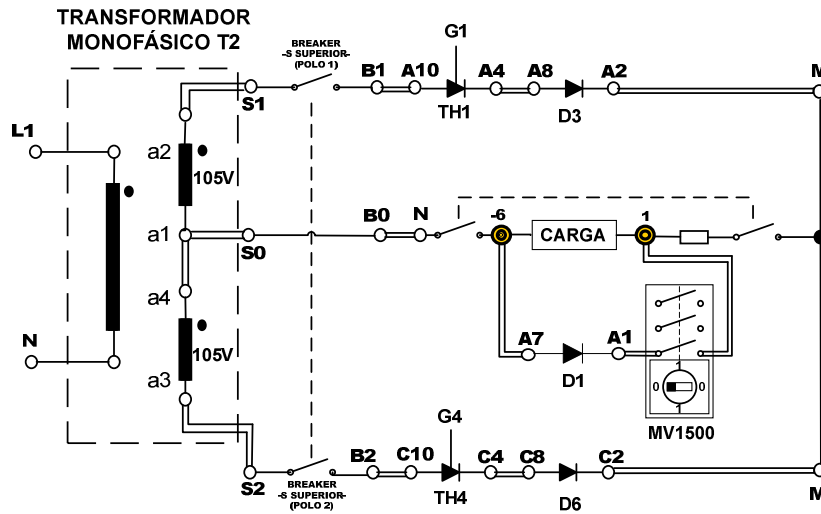


Figura 3.34: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central

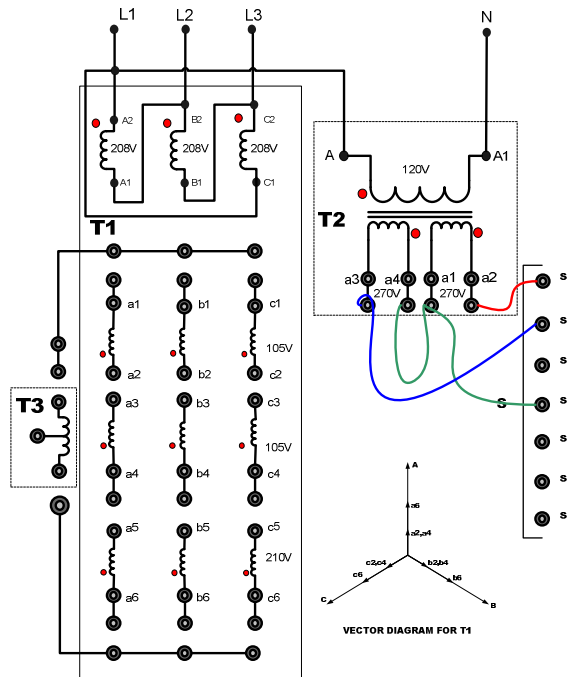


Figura 3.35: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el convertidor AC-DC monofásico de de onda completa con tap central

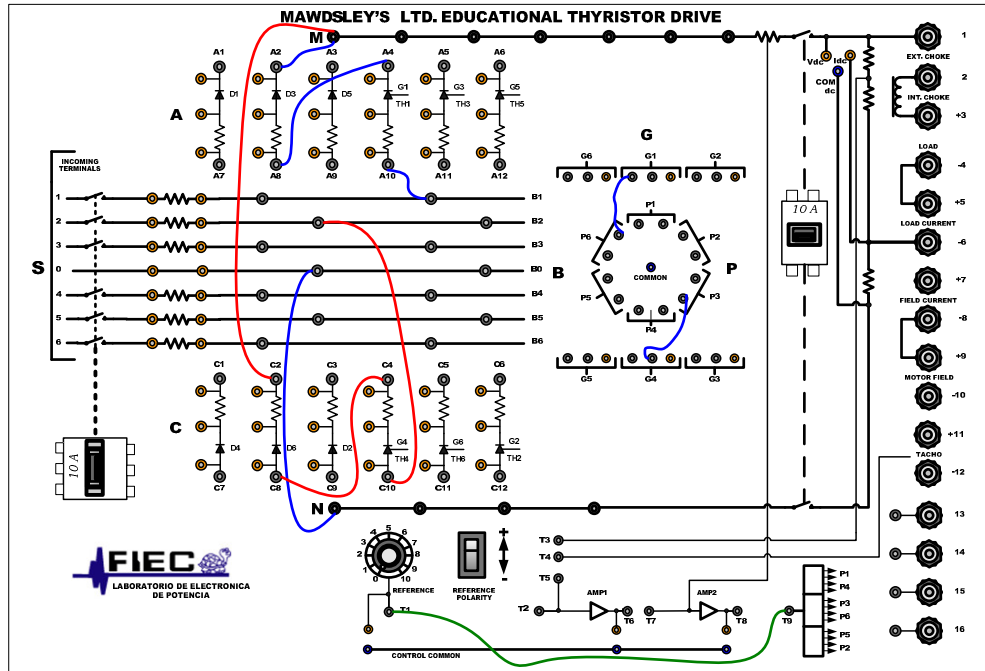


Figura 3.36: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central en el panel frontal del Drive Mawdsley's

3.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=0^\circ$. En el oscilograma de la Fig. 3.37, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.38, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.39, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

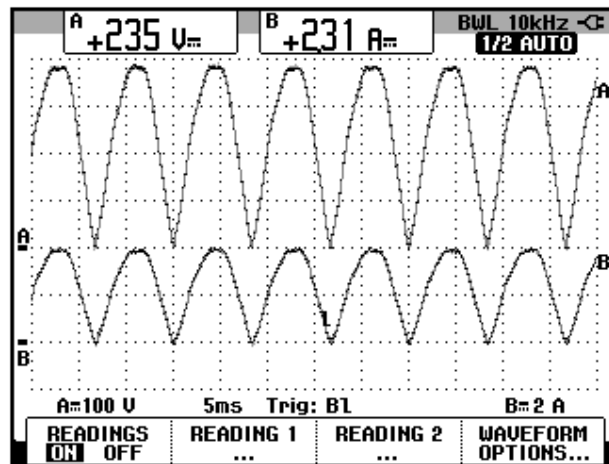


Figura 3.37: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).

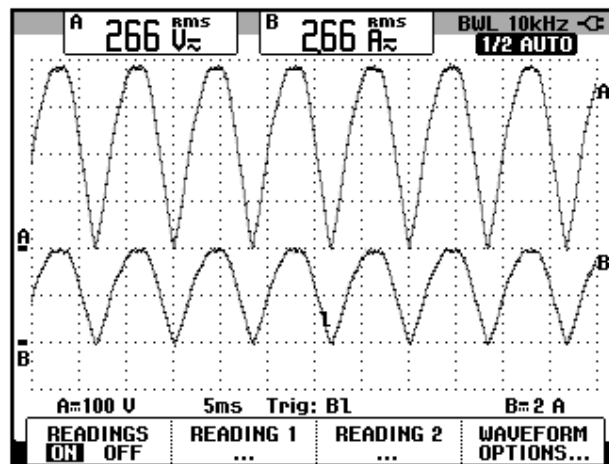


Figura 3.38: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).

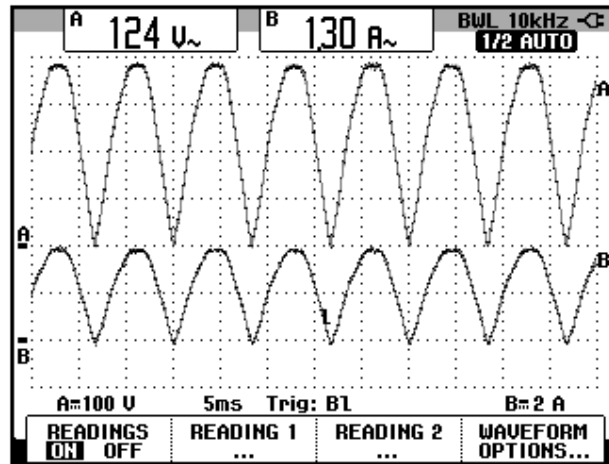


Figura 3.39: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central (CH1: vout, CH2: iout).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=0^\circ$, se calcula en base a la fórmula 3.1:

$$P_{OUT(DC)} = V_{OUT(DC)} * I_{OUT(DC)} \quad (3.1)$$

$$P_{OUT(DC)} = 542.85 [W]$$

Empleando la fórmula 3.2 es posible calcular el valor experimental de $P_{OUT(AC)}$, para $\alpha=0^\circ$:

$$P_{OUT(AC)} = V_{OUT(RMS)} * I_{OUT(RMS)} \quad (3.2)$$

$$P_{OUT(AC)} = 709 [W]$$

La eficiencia del convertidor se calcula con la fórmula 3.3:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}} \quad (3.3)$$

$$\eta = 0.77$$

Para el cálculo del TUF, se requiere medir la corriente del secundario del transformador monofásico. Ver Fig 3.40 [3]. Debido al tipo de conexión en el secundario del transformador, se medirá la corriente del primario y empleando la relación de voltajes del primario y del secundario del transformador se calculará el valor de la corriente en el secundario.

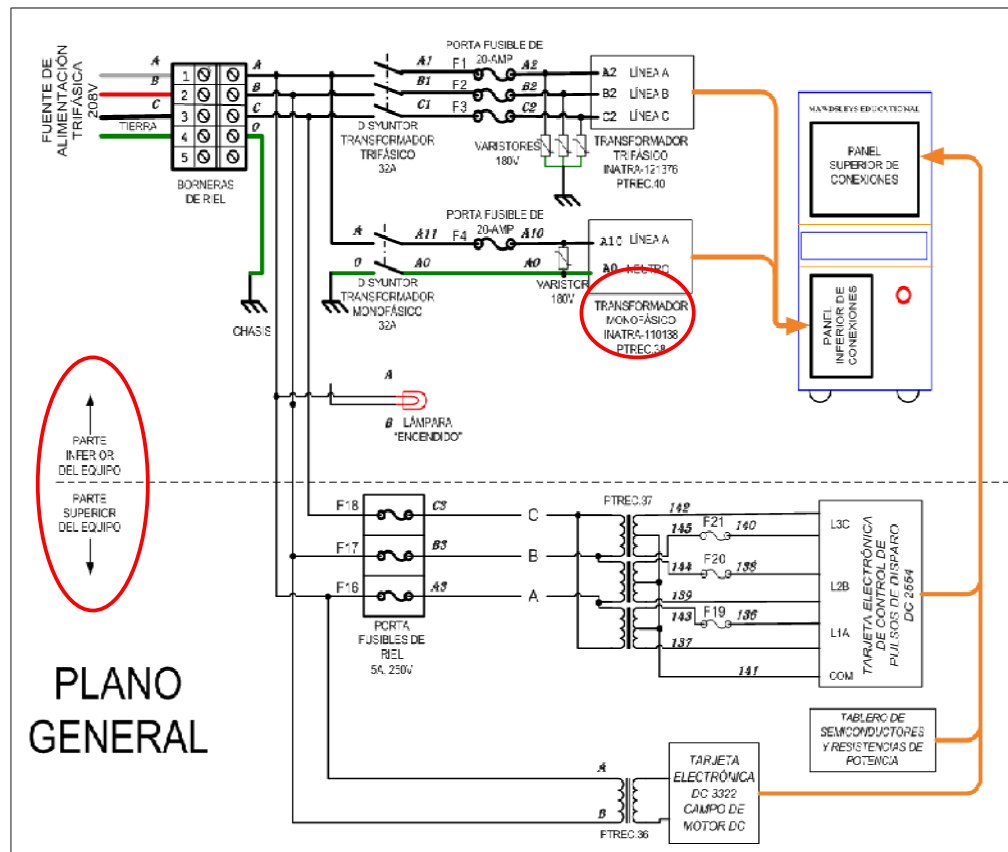


Figura 3.40: Plano eléctrico general del drive Mawdsley's

En la Fig. 3.41 se muestra la ubicación de la conexión de la punta de prueba de corriente alrededor del cable con marquilla A10, a través del

cual circula la corriente del primario. El oscilograma con la medición eficaz de la corriente del primario del transformador monofásico se muestra en la Fig. 3.42.



Figura 3.41 Conexión de la punta de prueba de corriente para adquirir la medición eficaz de la corriente del primario del transformador monofásico PTREC.38

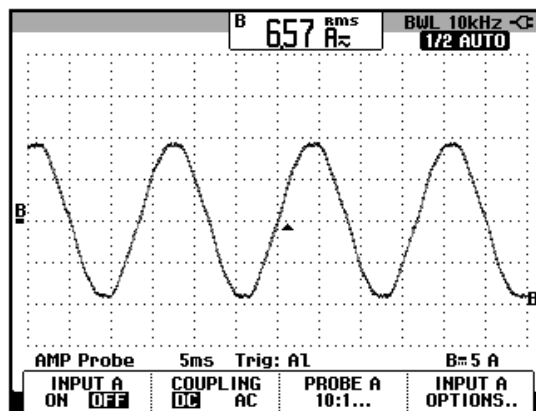


Figura 3.42 Oscilograma que muestra la medición eficaz de la corriente del primario del transformador monofásico

El cálculo de la corriente del secundario se puede realizar empleando la fórmula 3.12 [4], conociendo que el voltaje nominal del primario es de 120V y el voltaje nominal del secundario conectado en serie es de 540V.

$$I_S = \frac{V_P}{V_S} * I_P \quad (3.12)$$

$$I_S = 1.46[A]$$

El valor experimental del TUF, se calcula con la fórmula 3.6:

$$TUF = 0.69$$

El valor experimental del factor de forma FF:

$$FF = 1.14$$

El valor experimental del factor de rizo RF:

$$RF = 0.53$$

3.3.4. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia **T** del banco de resistores MV1100 en 250Ω y emplear el inductor **R** del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a 330mH, luego conectarla a las terminales 1 y 6 del drive, tal como se muestra en la Fig. 3.2.

De acuerdo a la fórmula 3.8, el ángulo de carga es:

$\phi = 26.5^\circ$

La medición del intervalo de tiempo correspondiente al ángulo de disparo para lograr el límite entre conducción continua y discontinua se muestra en la Fig. 3.43:

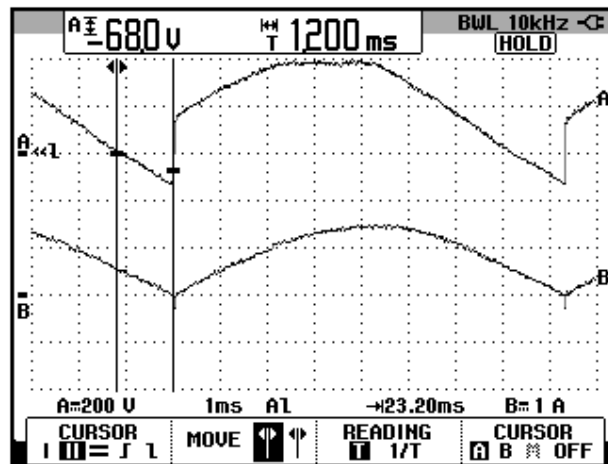


Figura 3.43 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α

El ángulo de disparo en grados es:

$$\alpha = 26^\circ$$

Se concluye que:

$$\alpha \approx \phi \rightarrow \alpha = \phi = 26.25^\circ$$

La medición de voltaje promedio y corriente promedio se muestra en la Fig. 3.44. La medición del ángulo de conducción se muestra en la Fig. 3.45. La medición del ángulo de extinción se muestra en la Fig. 3.46.

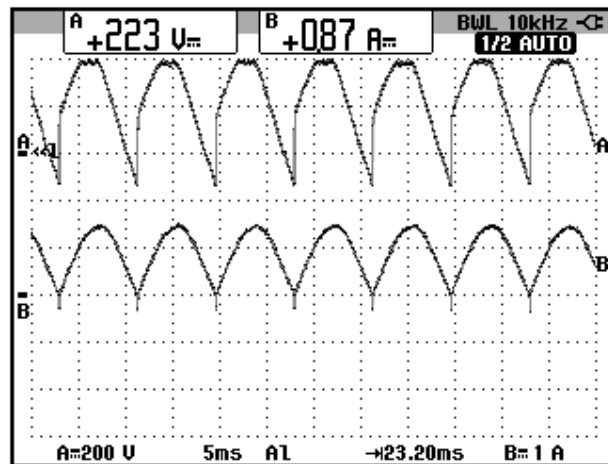


Figura 3.44 Oscilograma que muestra la medición de voltaje y corriente promedio de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa con tap central con $\alpha=26.5^\circ$ y carga RL. Límite entre conducción continua y discontinua.

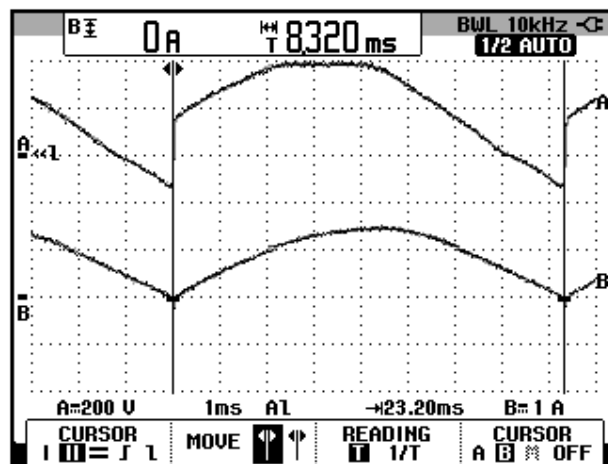


Figura 3.45 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de conducción γ .

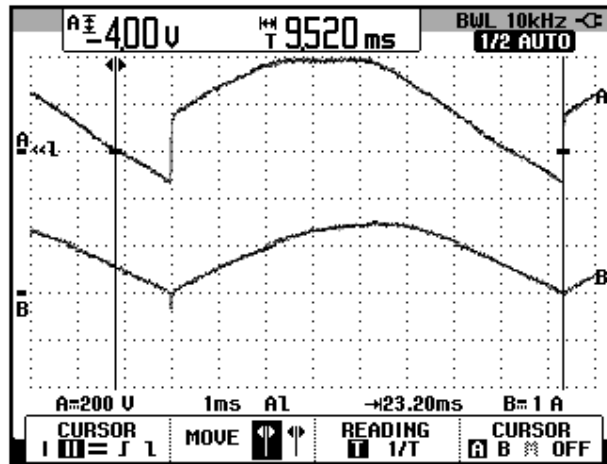


Figura 3.46 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de extinción β .

En base a la medición de la Fig. 3.45 se calcula el ángulo de conducción γ , en grados.

$$\gamma_{EXPERIMENTAL} = 180^\circ$$

En base a la medición de la Fig. 3.46 se calcula el ángulo de extinción β , en grados.

$$\beta_{EXPERIMENTAL} = 205.07^\circ$$

3.4. Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado.

En esta sección se desarrolla el tercer experimento de la práctica.

3.4.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa semicontrolado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

3.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda semi-controlado se muestra en la Fig. 3.47. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal inferior, son similares a las que se observan en la Fig. 3.5. Las conexiones en el panel superior del drive, se muestran en la Fig. 3.48.

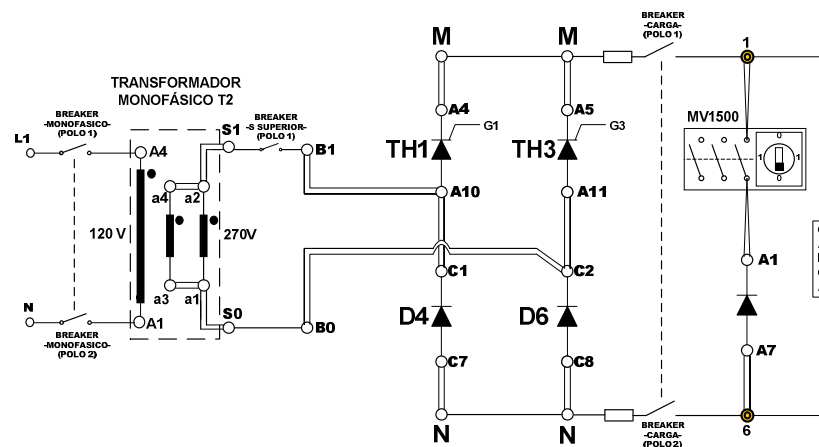


Figura 3.47 Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado

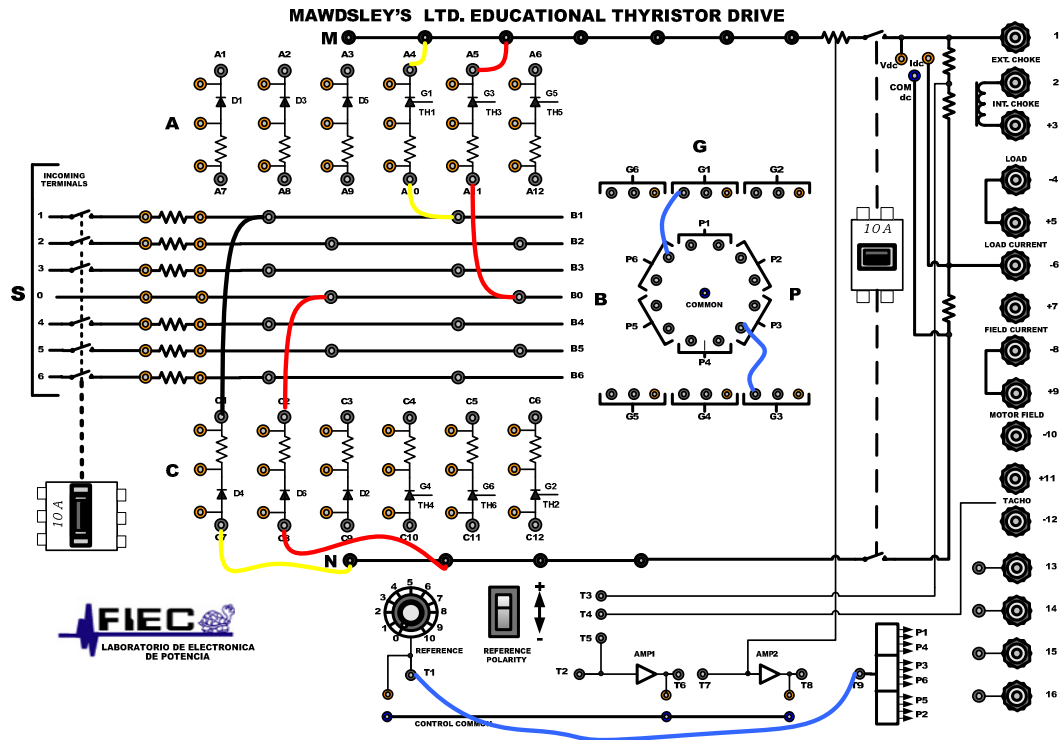


Figura 3.48: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley's

3.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=90^\circ$. El ajuste del intervalo de tiempo, correspondiente a un ángulo de disparo de 90° , se muestra en la Fig. 3.49. En el oscilograma de la Fig. 3.50, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.51, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.52, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

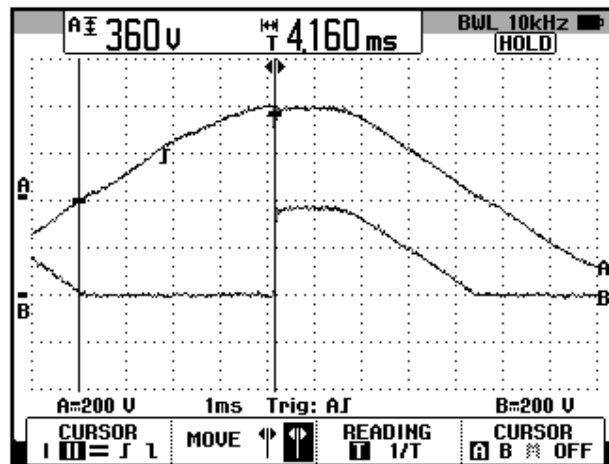


Figura 3.49: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α (CH1: vin, CH2: vout).

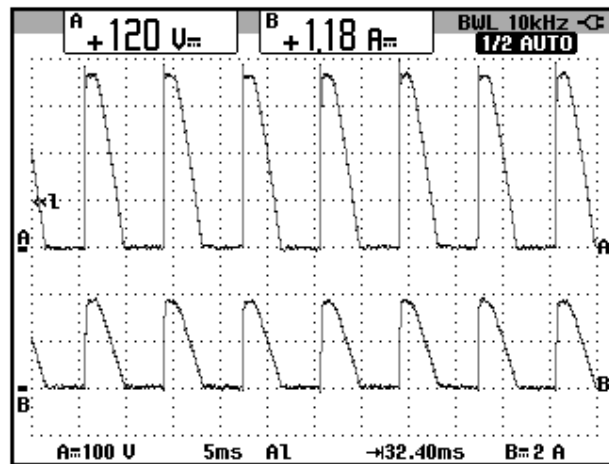


Figura 3.50: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico de onda completa semicontrolado (CH1: vout, CH2: iout).

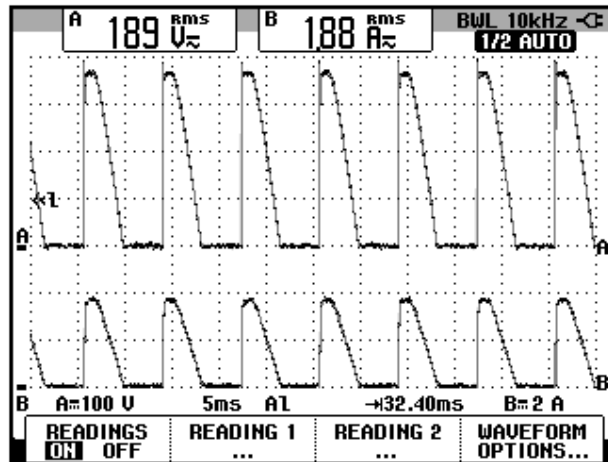


Figura 3.51: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semicontrolado (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}).

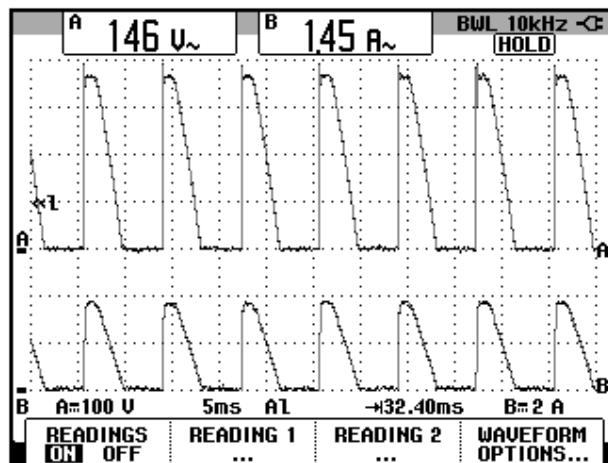


Figura 3.52 Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semicontrolado (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=90^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 141.6 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$, para $\alpha=90^\circ$, se muestra en la Fig. 3.53.

La eficiencia del convertidor:

$$\eta = 0.38$$

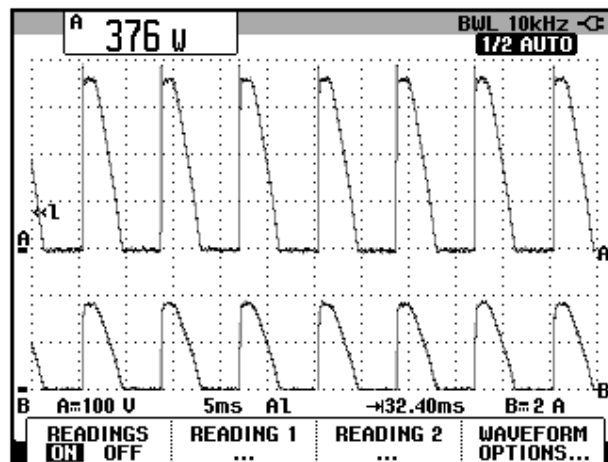


Figura 3.53 Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90^\circ$ (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}).

3.4.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor AC-DC analizado empleando el analizador de energía Fluke 434

Realizar la configuración del analizador de energía tal como se especifica en la sección 3.2.4.1. El análisis de armónicos se realiza en la corriente de entrada al convertidor que en nuestro caso corresponde a la del secundario del transformador monofásico, debido a que la misma es entregada por el distribuidor de energía eléctrica y son los transformadores del mismo los que se afectan debido a los armónicos

de las cargas conectadas, como los convertidores estáticos. La corriente de salida del transformador monofásico se muestra en la Fig. 3.54.

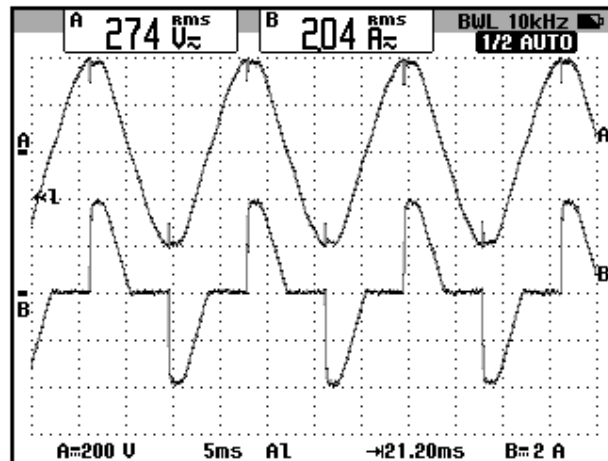


Figura 3.54 Oscilograma de las señales de voltaje de entrada y corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado (CH1: vin, CH2: in).

La medición de THD se muestra en la Fig. 3.55. La componente DC de la serie de Fourier de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.56. La componente fundamental de la serie de Fourier de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.57. La tercera armónica de la serie de Fourier de la corriente de entrada de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.58. En la Tabla 3.2, se resumen los resultados obtenidos en las figuras 3.55 a 3.58.

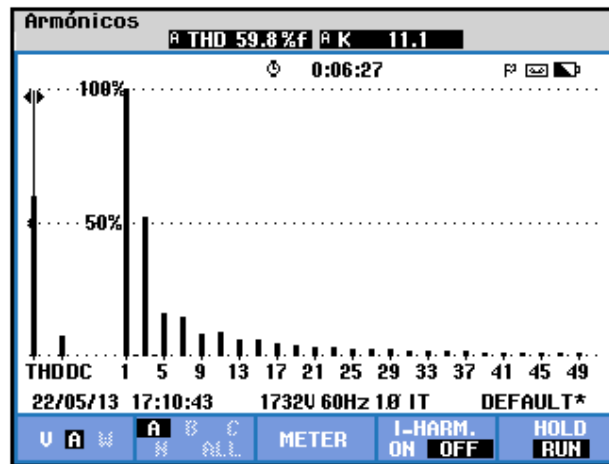


Figura 3.55 Medición de THD de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

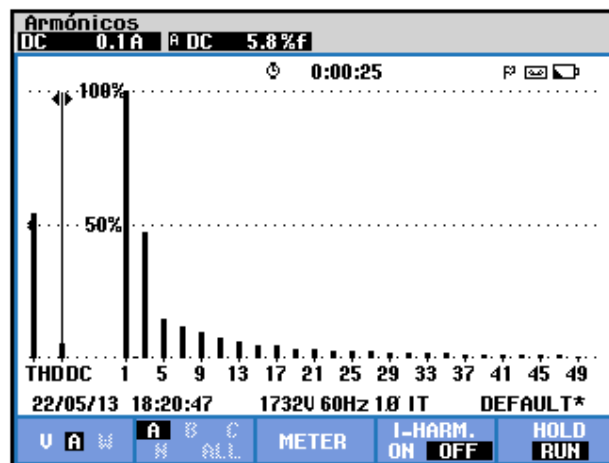


Figura 3.56 Componente promedio de la corriente de entrada en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

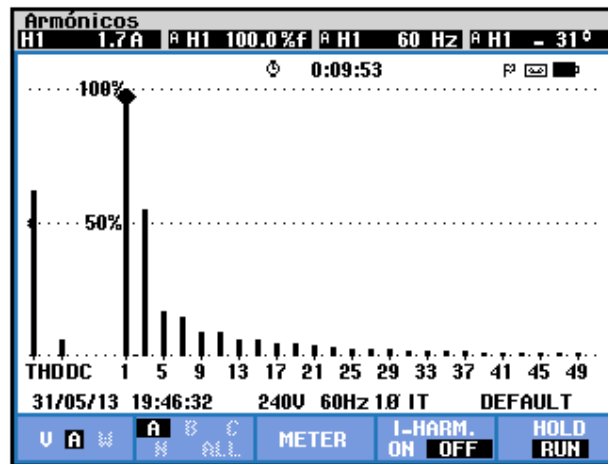


Figura 3.57 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

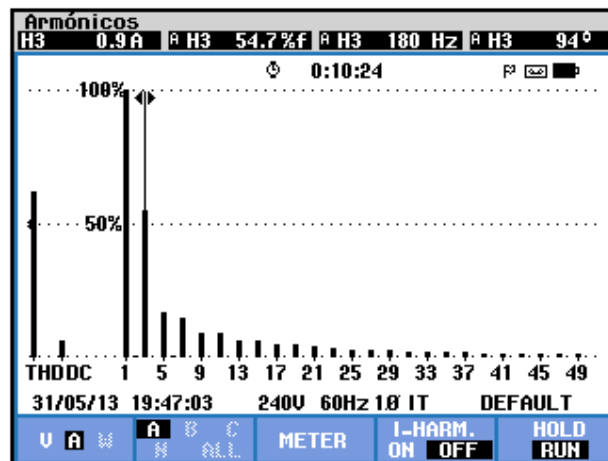


Figura 3.58 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

THD[%]	V_o [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [°]
59.8	0.1	1	1.7	-30
		3	0.9	94

Tabla 3.2 Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$

Se puede observar que las armónicas impares son muy reducidas. El desfase entre la componente fundamental del voltaje del secundario del transformador y la componente fundamental de la corriente del secundario del transformador, así como su valor eficaz se muestra en la Fig. 3.59. Se muestra también el valor eficaz del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico en la parte superior de la figura mencionada. El factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**, se muestran en la Fig. 3.60.

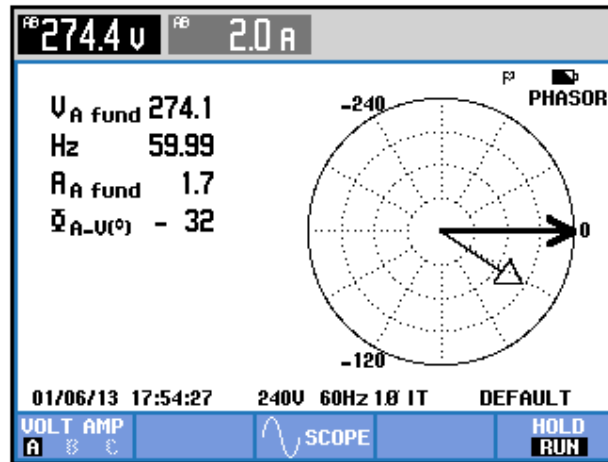


Figura 3.59 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico empleando el analizador de energía Fluke 434

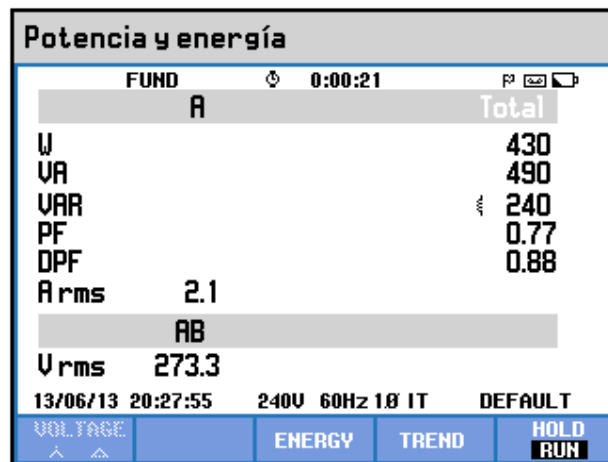


Figura 3.60 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90^{\circ}$ y carga resistiva

3.4.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 125Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a 330mH. Mantener el ángulo de disparo en 90° .

Empleando la fórmula 3.8, el ángulo de la carga, correspondiente es:

$$\phi = 45^\circ$$

A pesar de que la frecuencia del voltaje de salida es de 120Hz, la frecuencia empleada en la fórmula es de 60Hz, dado que el voltaje de salida del convertidor monofásico de onda completa es la superposición del voltaje de salida de dos convertidores monofásicos de media onda desfasados 180° eléctricos. La frecuencia del voltaje de salida de cada convertidor monofásico de media onda es de 60 Hz.

En el oscilograma de la Fig. 3.61, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. Debido a que la conducción es continua, la conducción dura hasta el siguiente pulso de voltaje. Observar la Fig. 3.62. El valor del ángulo de conducción γ en grados,

$$\gamma \approx 180^\circ$$

De acuerdo a la fórmula 3.11, el valor del ángulo de extinción,

$$\beta = 225^\circ$$

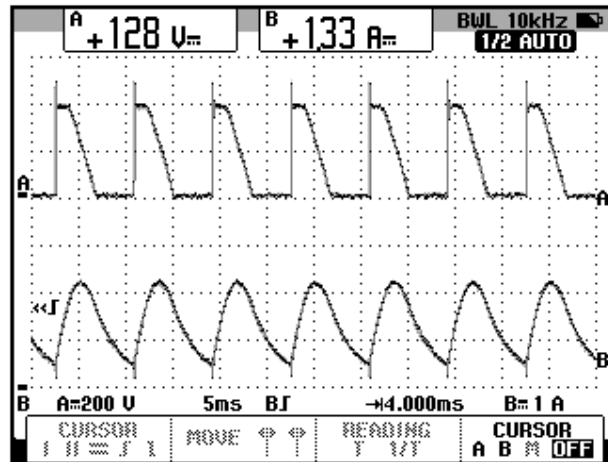


Figura 3.61 Oscilograma que muestra la medición promedio de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL

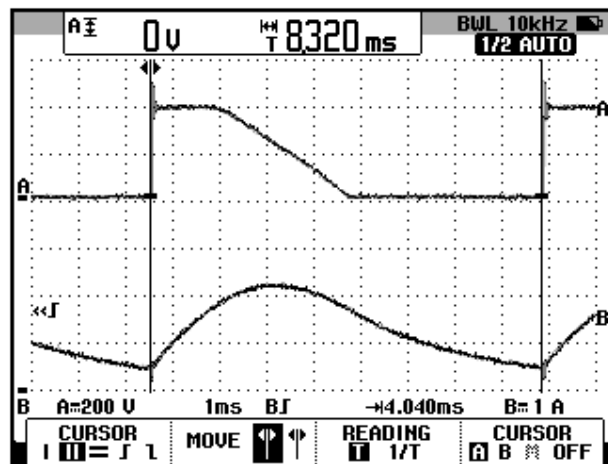


Figura 3.62 Oscilograma que muestra la medición del intervalo de conducción en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL

3.4.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Se pretende visualizar las diferentes formas de onda en los elementos que conforman el convertidor AC-DC monofásico analizado.

En el oscilograma de la Fig. 3.63, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.64, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.65, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.66, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 3.67, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de D4. En el oscilograma de la Fig. 3.68, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de D6. En el oscilograma de la Fig. 3.69, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.70, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de **TH3**. En el oscilograma de la Fig. 3.71, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de **D4**. En el oscilograma de la Fig. 3.72, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el

voltaje ánodo-cátodo de **D6**. En el oscilograma de la Fig. 3.73, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje en el inductor.

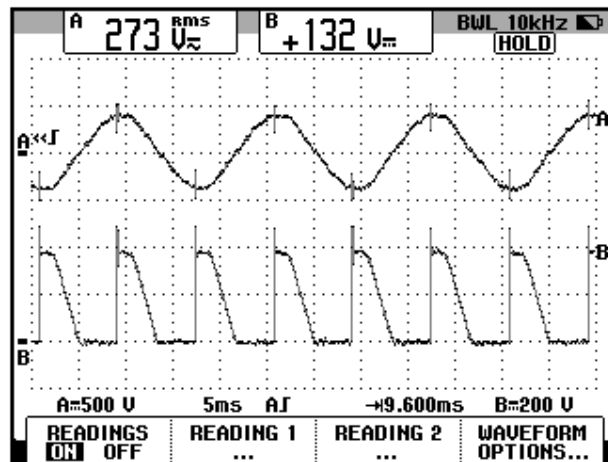


Figura 3.63 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Vout)

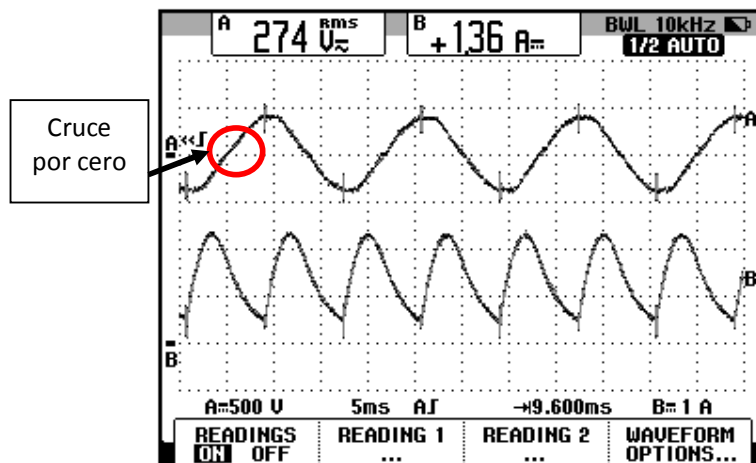


Figura 3.64 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Iout)

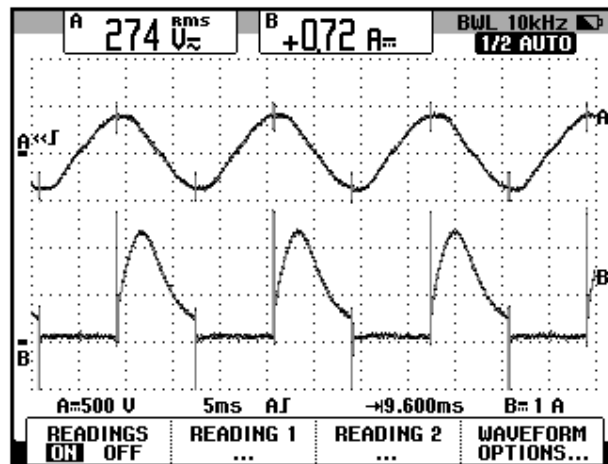


Figura 3.65 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith1)

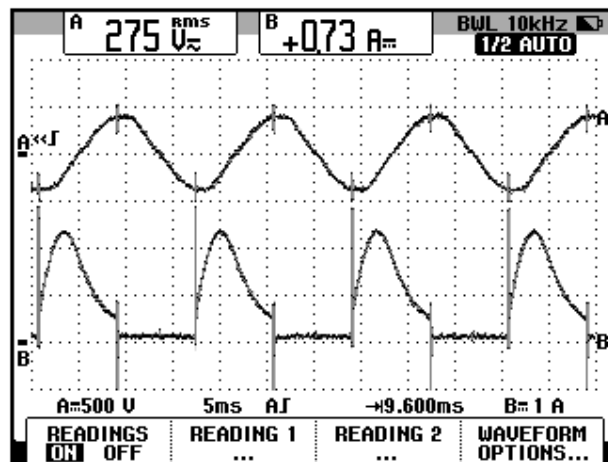


Figura 3.66 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith3)

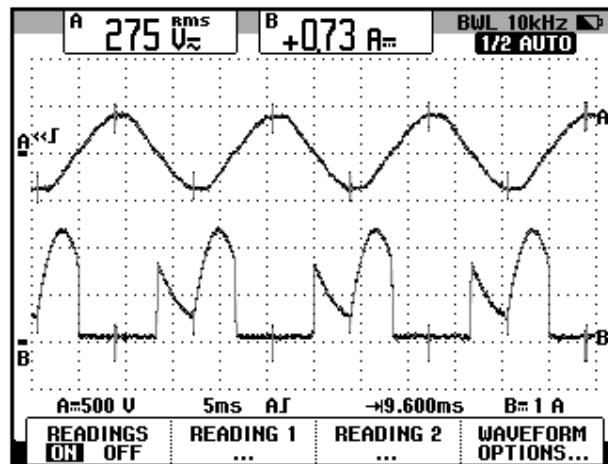


Figura 3.67 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: V_{in} , CH2: I_{d4})

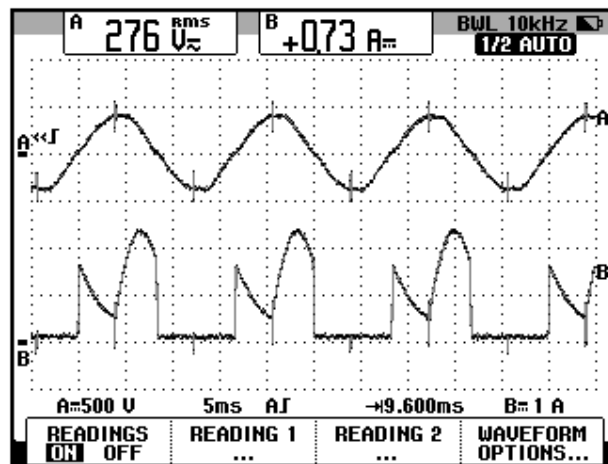


Figura 3.68 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: V_{in} , CH2: I_{d6})

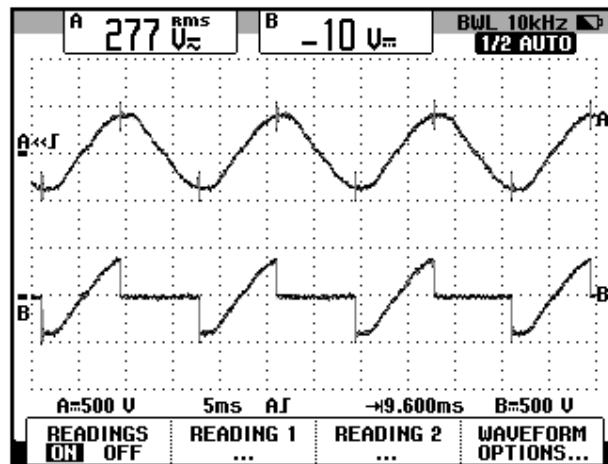


Figura 3.69 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{th1})

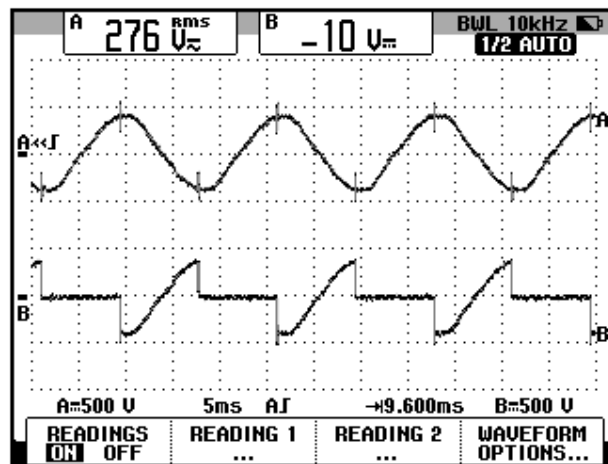


Figura 3.70 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{th3})

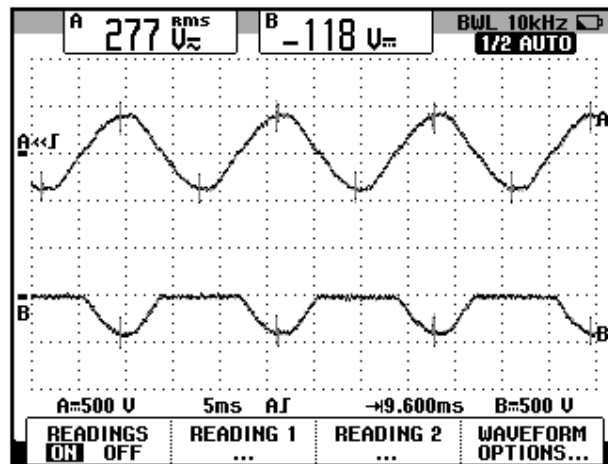


Figura 3.71 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{d4})

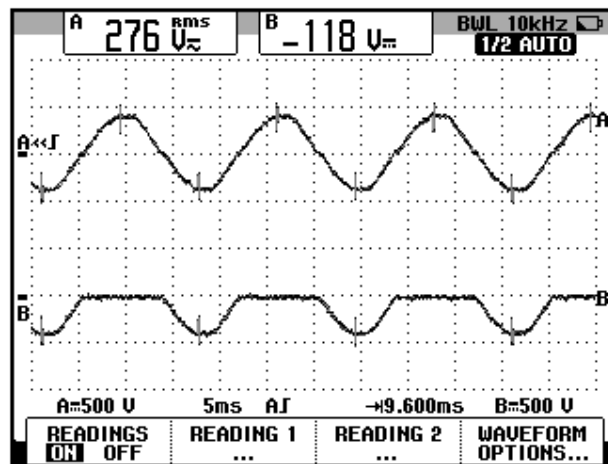


Figura 3.72 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{d6})

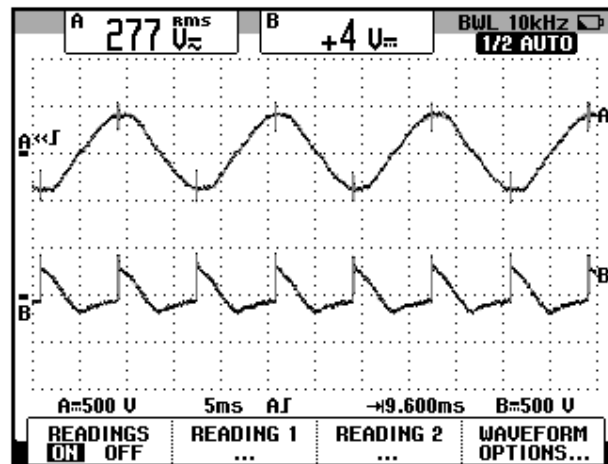


Figura 3.73 Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: VL)

3.4.7. Variación de la corriente de salida de acuerdo al ángulo de disparo y a la inductancia empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Los efectos en la forma de la corriente de acuerdo a la variación de la inductancia se mostrarán a continuación.

En el oscilograma de la Fig. 3.74, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC analizado en el paso 1 del banco de inductores correspondiente a 730 mH. En el oscilograma de la Fig. 3.75, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC analizado en el paso 4 del banco de inductores correspondiente a 330mH. En el oscilograma de la Fig. 3.76, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC

analizado en el paso 11 del banco de inductores correspondiente a 110mH.

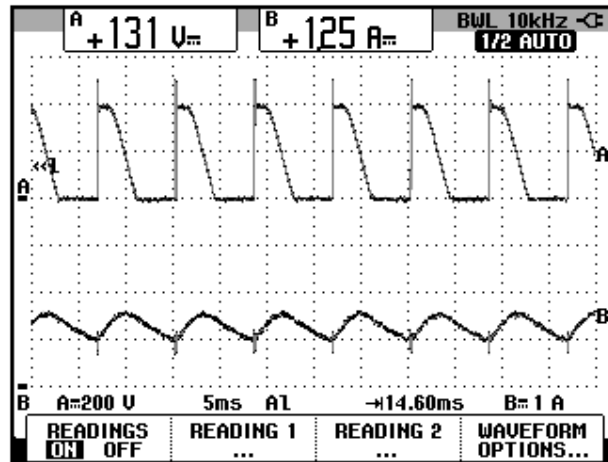


Figura 3.74 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=730\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout)

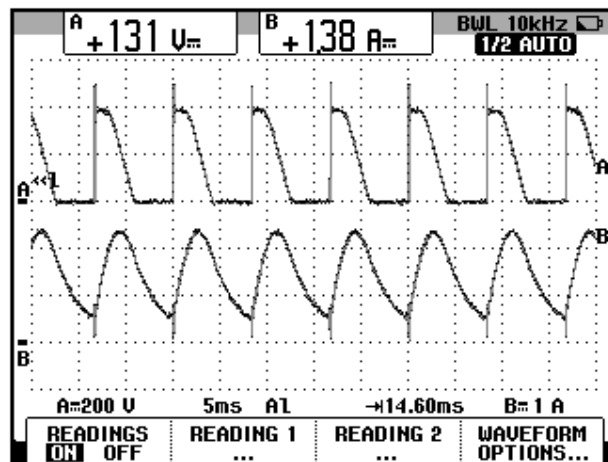


Figura 3.75 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout)

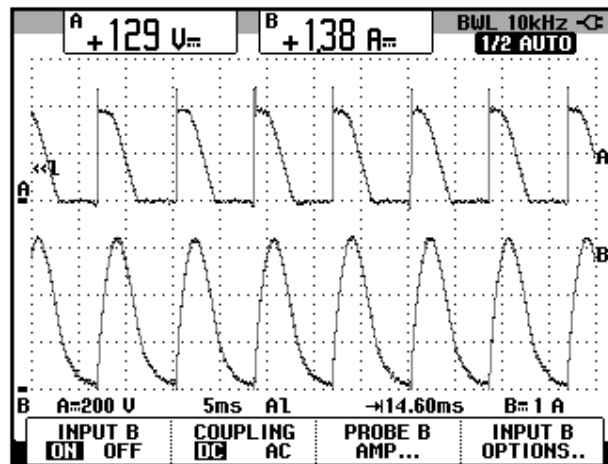


Figura 3.76 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=110\text{mH}$ (CH1: Vout, CH2: Iout)

A continuación se procederá a variar el ángulo de disparo para observar la variación de la forma de onda de la corriente de salida empleando el paso 4 del banco de inductores MV1101 correspondiente a 330mH.

En el oscilograma de la Fig. 3.77, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC para $\alpha=0^\circ$. En el oscilograma de la Fig. 3.78, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC para $\alpha=90^\circ$. En el oscilograma de la Fig. 3.79, se muestra el voltaje de salida y la corriente de salida del convertidor AC-DC para $\alpha=120^\circ$.

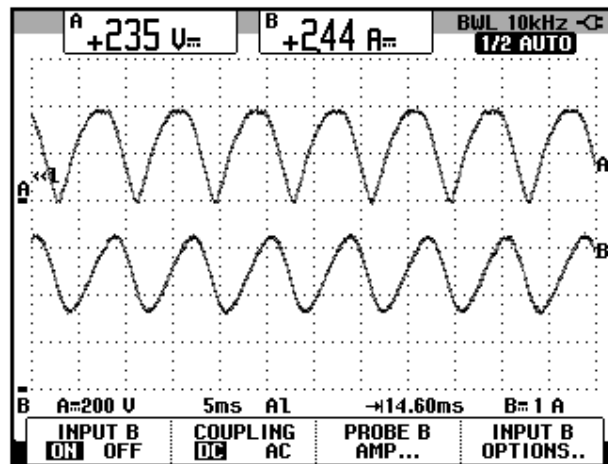


Figura 3.77 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=0$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: V_{out} , CH2: i_{out})

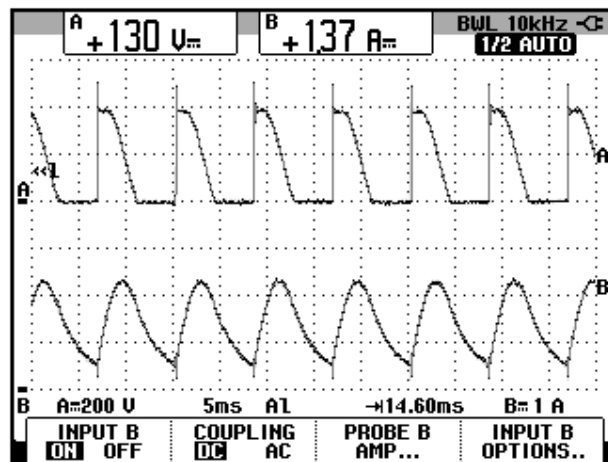


Figura 3.78 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=90$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: V_{out} , CH2: i_{out})

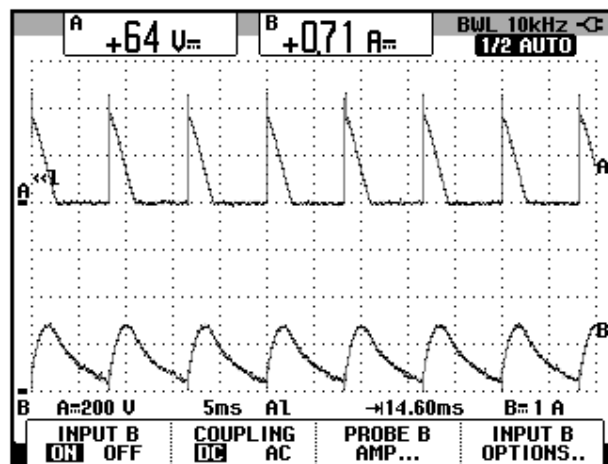


Figura 3.79 Oscilograma que muestra el voltaje y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado con $\alpha=120$ grados con carga $R=100\Omega$ y $L=330\text{mH}$ (CH1: V_{out} , CH2: i_{out})

3.5. Convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado.

En esta sección se desarrolla el cuarto experimento.

3.5.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC monofásico de onda completa totalmente controlado observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

3.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de onda completa totalmente controlado se muestra en la Fig. 3.80. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal

inferior, son similares a las que se observan en la Fig. 3.5. Las conexiones en el panel superior del drive, se muestran en la Fig. 3.81.

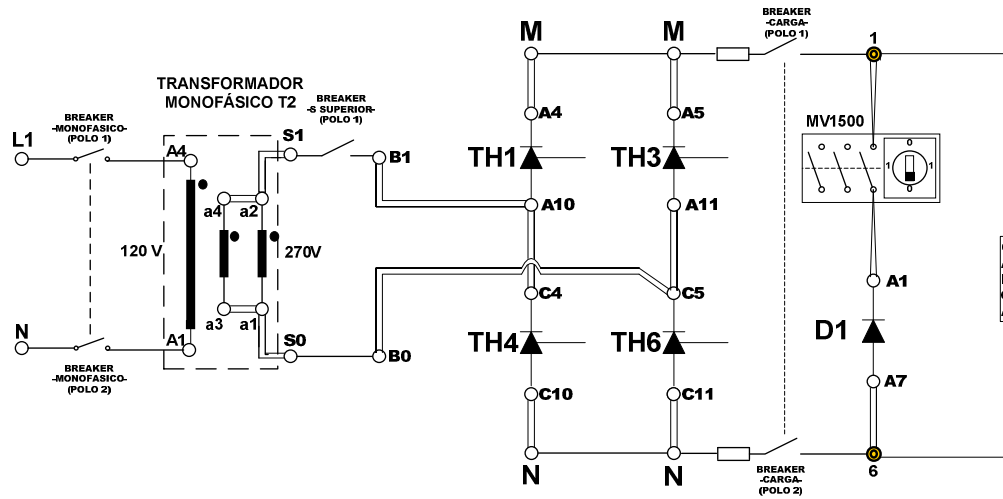


Figura 3.80: Circuito de potencia del convertidor AC-DC monofásico de onda completa totalmente controlado

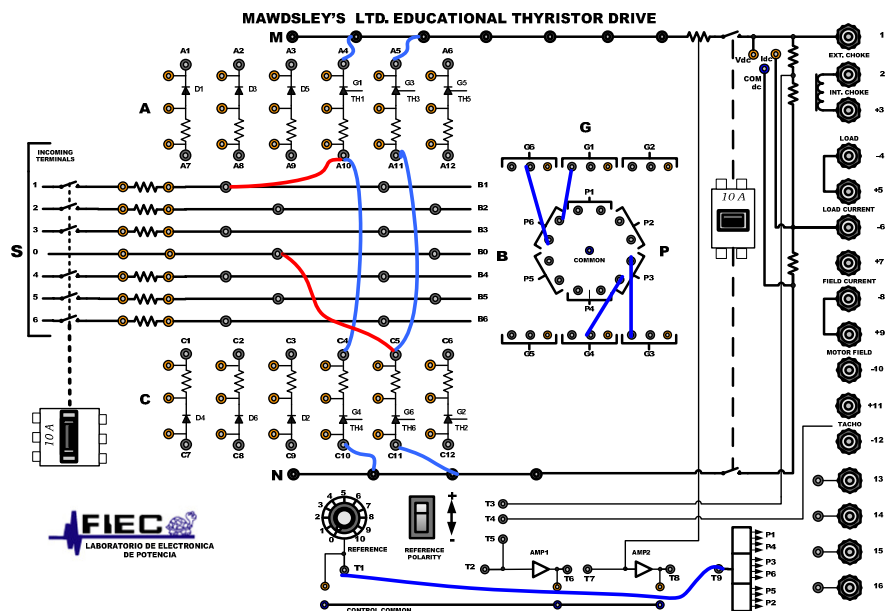


Figura 3.81: Conexiones del convertidor AC-DC monofásico de onda completa semi-controlado en el panel superior del Drive Mawdsley's

3.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=90^\circ$. Ajustar el ángulo de disparo en 90° .

En el oscilograma de la Fig. 3.82, se muestra el desfase existente entre el pulso P6 y P3, el cual equivale a aproximadamente 180° eléctricos.

En el oscilograma de la Fig. 3.83, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida.

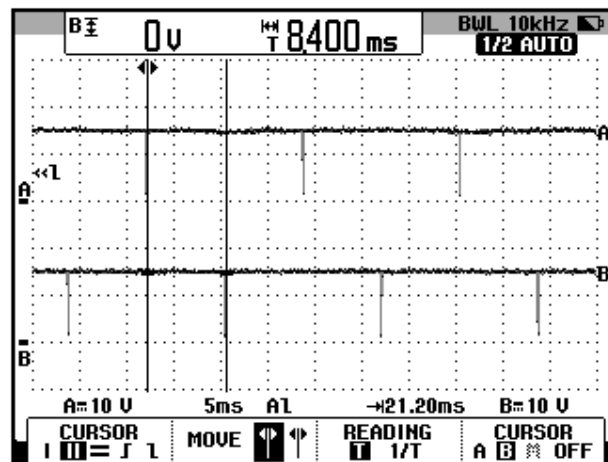


Figura 3.82: Desfase existente entre los pulsos P6 y P3 del generador de pulsos del drive Mawdsley's.

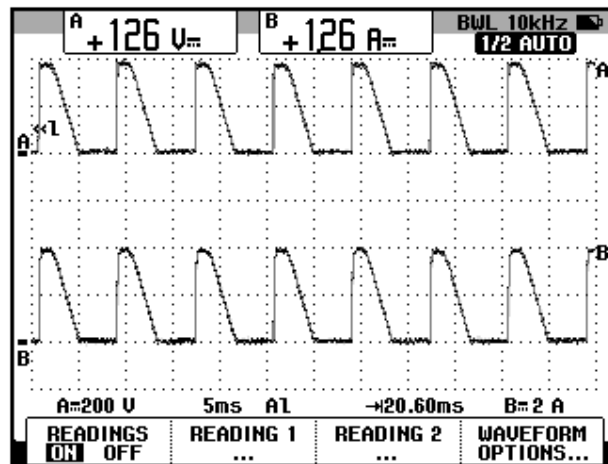


Figura 3.83: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}).

Se observa que la forma de onda del voltaje y de la corriente de salida, además de las figuras de mérito son similares a los obtenidos en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa semi-controlado, tal como se observa en la Fig. 3.83; por este motivo, no se continuará con las mediciones eficaces ni de AC.

3.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

Cabe recalcar que la configuración del analizador de energía es similar a la realizada en la sección 3.2.4.1. La corriente de salida del transformador monofásico, la cual ingresa al convertidor AC-DC analizado, se muestra en la Fig. 3.84.

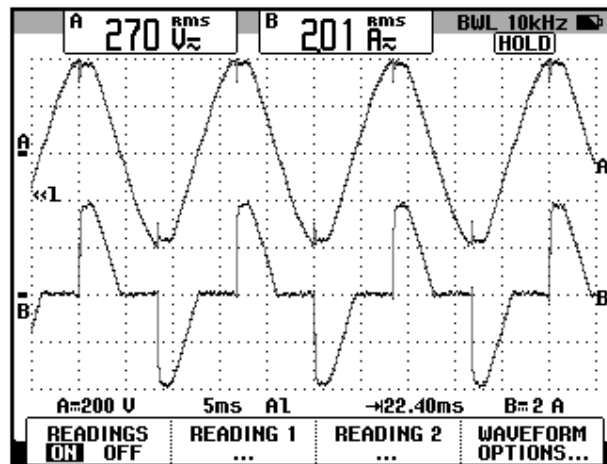


Figura 3.84: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado (CH1: vin, CH2: iin).

Debido a que la forma de la corriente de entrada al convertidor es similar a la que se observa en la Fig. 3.54, los resultados del análisis de armónicos a realizarse a continuación, deben coincidir con aquel realizado en la sección 3.4.4.

La medición de THD se muestra en la Fig. 3.85. La componente DC de la serie de Fourier de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.86. Nuevamente, tal como en la Fig. 3.56, la componente DC es aproximadamente nula. La componente fundamental de la serie de Fourier de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.87. La tercera armónica de la serie de Fourier de la corriente de entrada de la corriente de entrada se muestra en la Fig. 3.88. En la Tabla 3.3, se resumen los resultados obtenidos en las figuras 3.85 a 3.88.

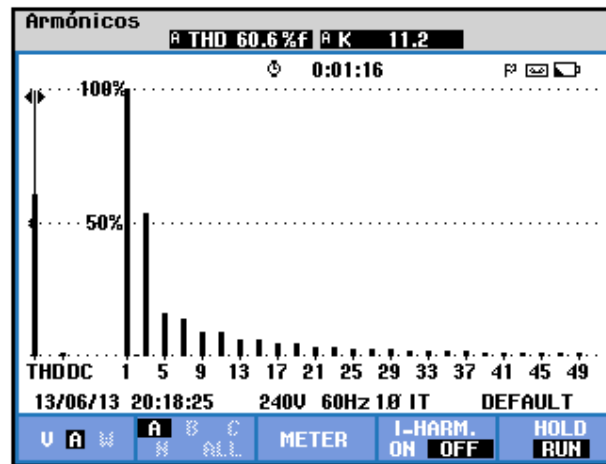


Figura 3.85: Medición de THD de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

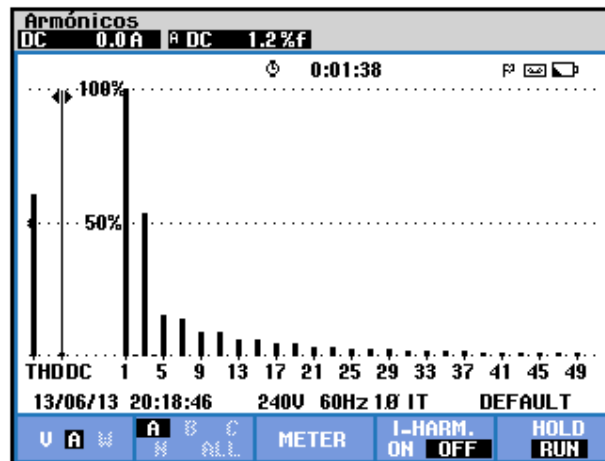


Figura 3.86: Componente promedio de la corriente de entrada en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

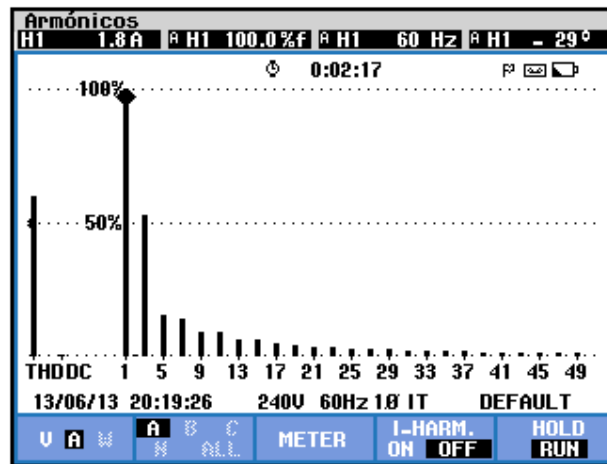


Figura 3.87: Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

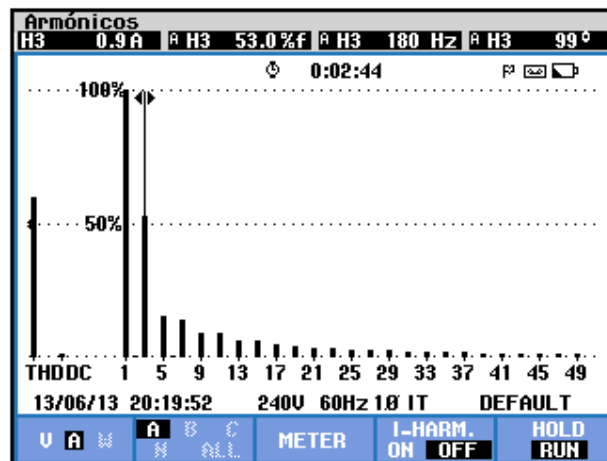


Figura 3.88: Parámetros de la la tercera armónica de la corriente de entrada al convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

THD[%]	V_o [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [°]
60.6	0.0	1	1.8	-29
		3	0.9	99

Tabla 3.3: Resultados experimentales de la serie de Fourier de la corriente de entrada del convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$

Se puede observar que las armónicas impares son muy reducidas. El desfase entre la componente fundamental del voltaje del secundario del transformador y la componente fundamental de la corriente del secundario del transformador, así como su valor eficaz se muestra en la Fig. 3.89. Se muestra también el valor eficaz del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico en la parte superior de la figura mencionada. El factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**, se muestran en la Fig. 3.90.

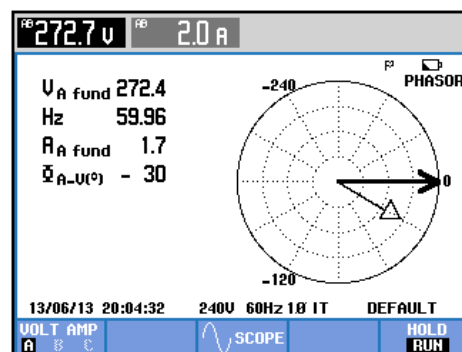


Figura 3.89: Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente del secundario del transformador monofásico empleando el analizador de energía Fluke 434

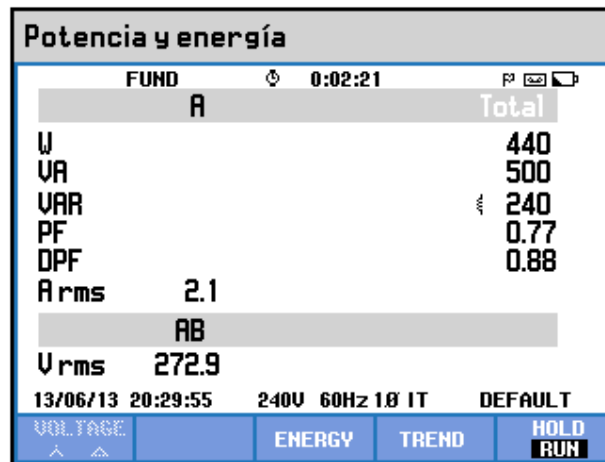


Figura 3.90: Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva y $\alpha=90^\circ$

3.5.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 125Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 4, correspondiente a 330mH. Mantener el ángulo de disparo en 90° .

En el oscilograma de la Fig. 3.91 se muestra el ajuste del intervalo de tiempo correspondiente a un ángulo de disparo de 90° . En el oscilograma de la Fig. 3.92, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.93, se muestra el intervalo de conducción.

El valor del ángulo de conducción γ en grados,

$$\gamma = 138.3^\circ$$

De acuerdo a la fórmula 3.11, el valor del ángulo de extinción,

$$\beta = 228.3^\circ$$

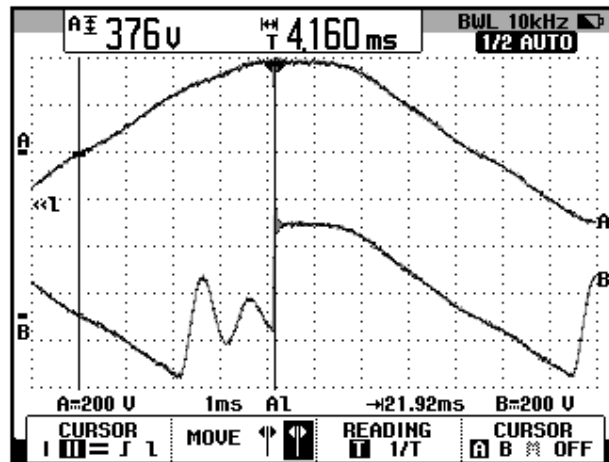


Figura 3.91: Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para medir el ángulo de disparo α (CH1: vin, CH2: vout).

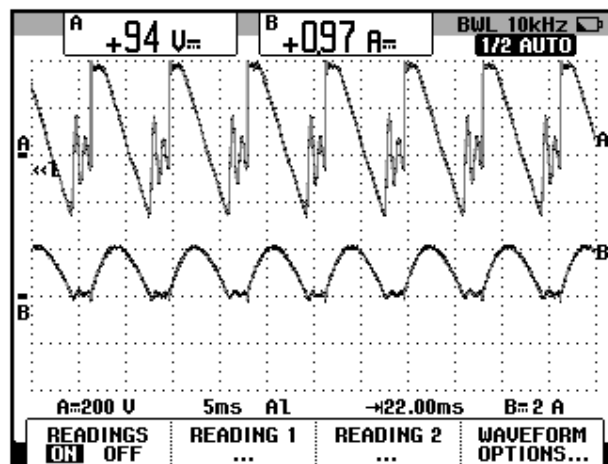


Figura 3.92: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con carga resistiva inductiva (CH1: vout, CH2: iout).

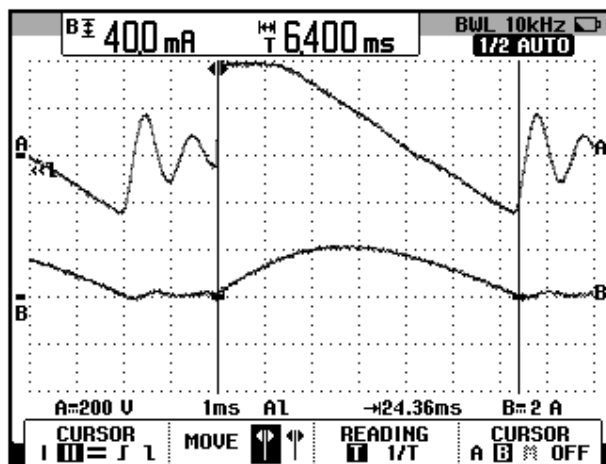


Figura 3.93: Oscilograma que muestra la medición del intervalo de conducción en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL (CH1: vout, CH2: iout).

3.5.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Se pretende visualizar las diferentes formas de onda en los elementos que conforman el convertidor AC-DC monofásico analizado.

En el oscilograma de la Fig. 3.94, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.95, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.96, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.97, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 3.98, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la

corriente de a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 3.99, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH6. En el oscilograma de la Fig. 3.100, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.101, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 3.102, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH4. En el oscilograma de la Fig. 3.103, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH6. En el oscilograma de la Fig. 3.104, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje en el inductor.

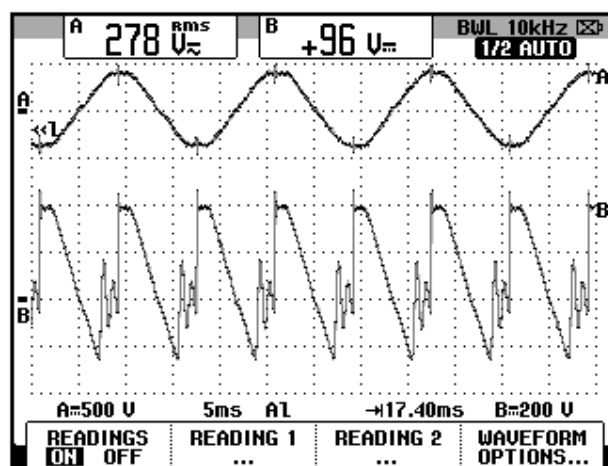


Figura 3.94: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL (CH1: Vin, CH2: Vout)

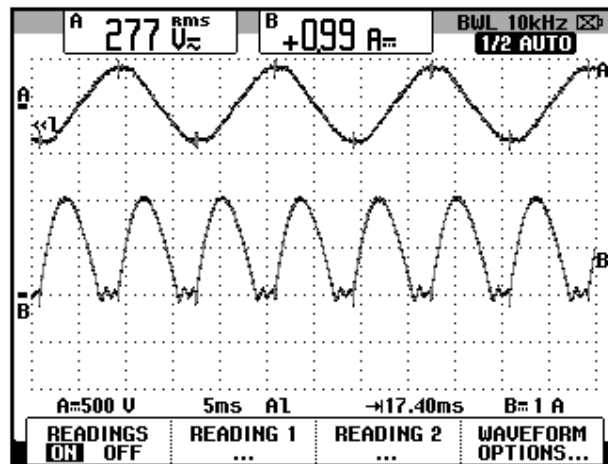


Figura 3.95: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: V_{in} , CH2: I_{out})

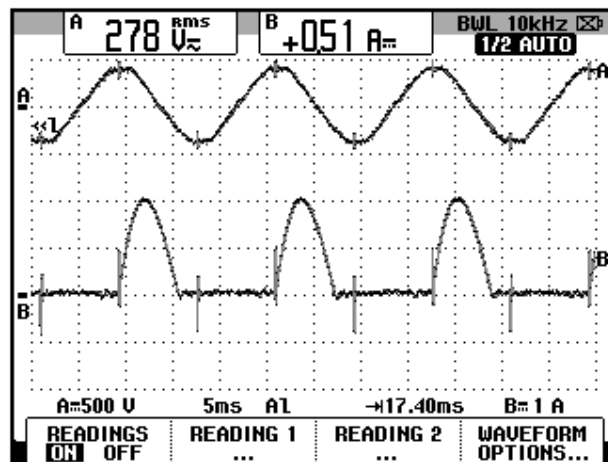


Figura 3.96: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: V_{in} , CH2: I_{th1})

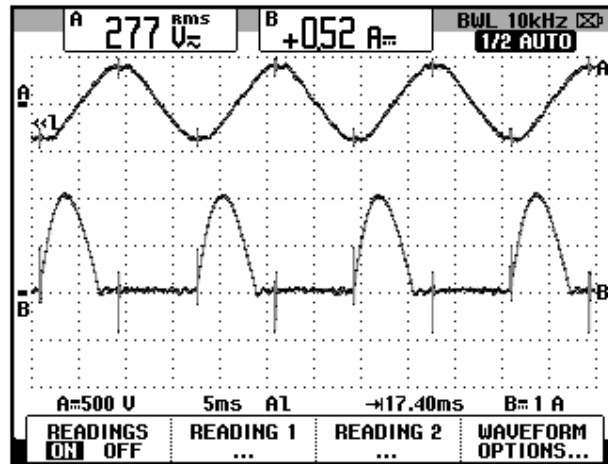


Figura 3.97: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith3)

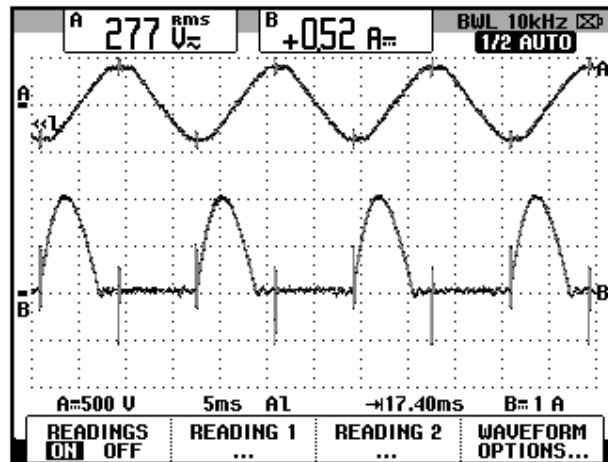


Figura 3.98: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith4)

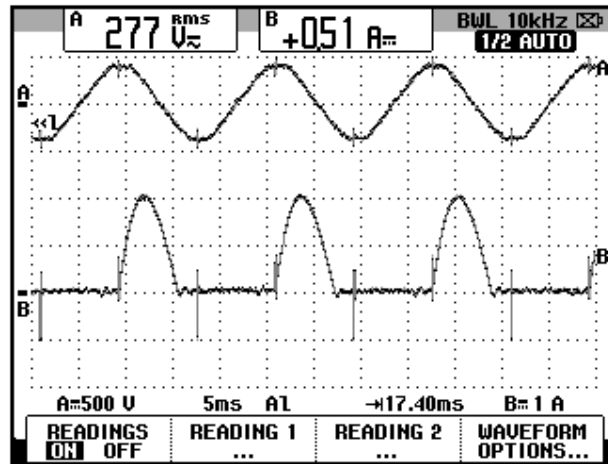


Figura 3.99: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de D6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL (CH1: Vin, CH2: Ith6)

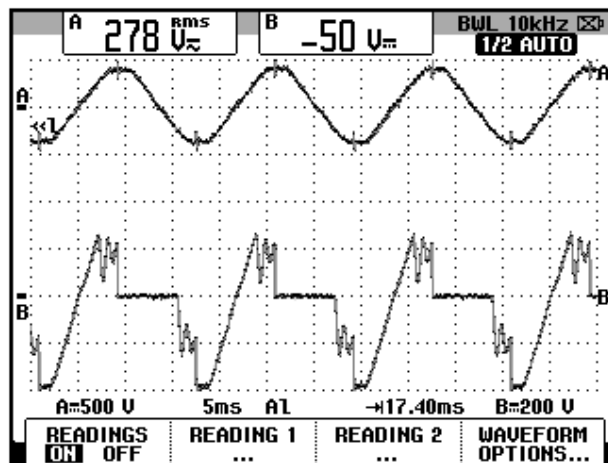


Figura 3.100: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: Vin, CH2: Vth1)

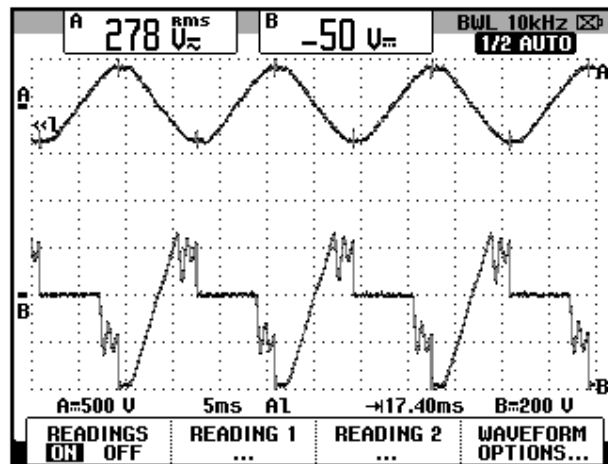


Figura 3.101: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{th3})

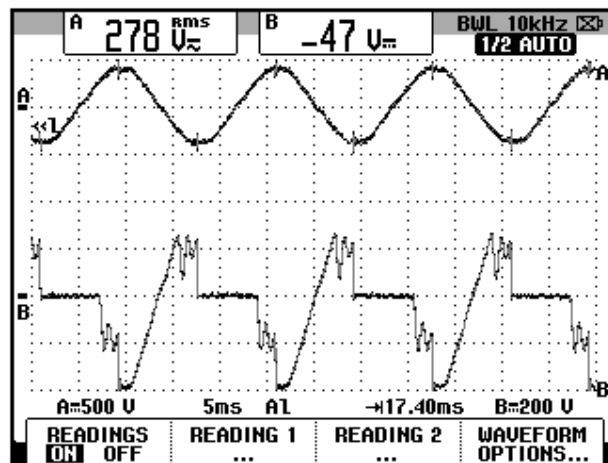


Figura 3.102: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{th4})

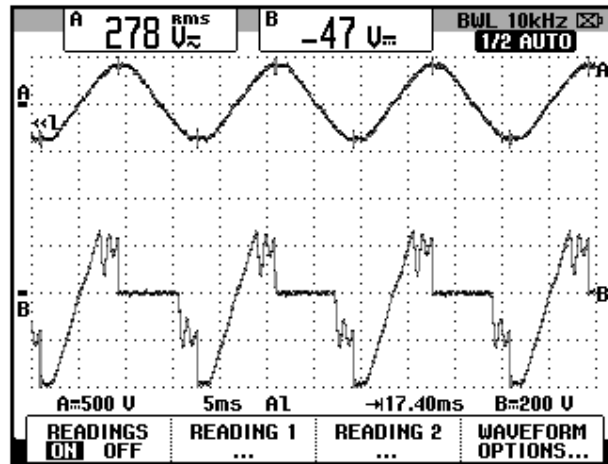


Figura 3.103: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_{th6})

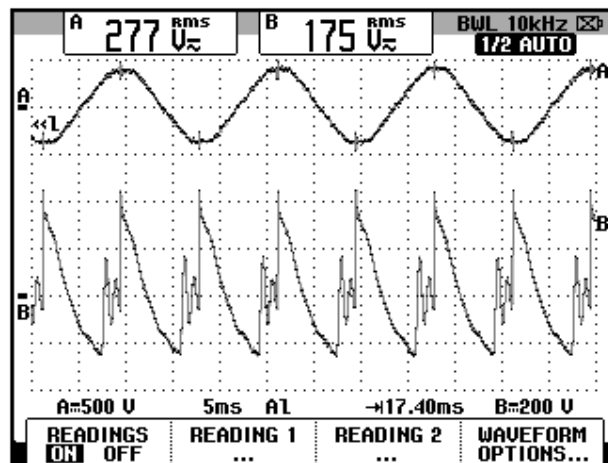


Figura 3.104: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL (CH1: V_{in} , CH2: V_L)

3.5.7. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva con diodo de paso libre y el osciloscopio Fluke 192B.

La forma de uso del diodo de paso libre se muestra en la Fig. 3.3. En el oscilograma de la Fig. 3.105, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.106, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 3.107, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.108, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 3.109, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 3.110, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente de a través de TH6. En el oscilograma de la Fig. 3.111, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 3.112, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 3.113, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH4. En el oscilograma de la Fig. 3.114, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo de TH6. En el oscilograma de la Fig. 3.115, se

muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje en el inductor. En el oscilograma de la Fig. 3.116, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y la corriente a través de D1 que actúa como diodo de paso libre. En el oscilograma de la Fig. 3.117, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1, que actúa como diodo de paso libre.

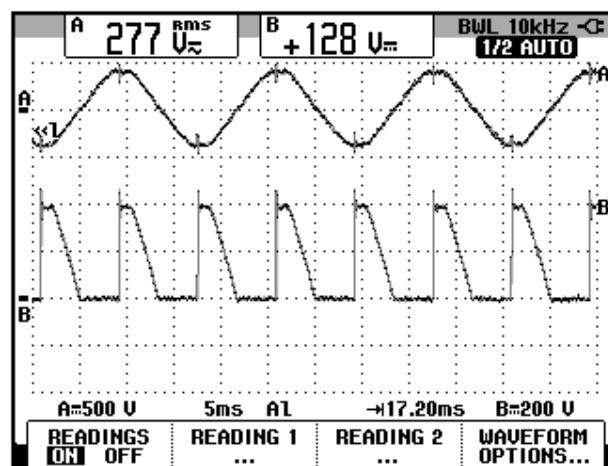


Figura 3.105: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90^\circ$ y carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vout)

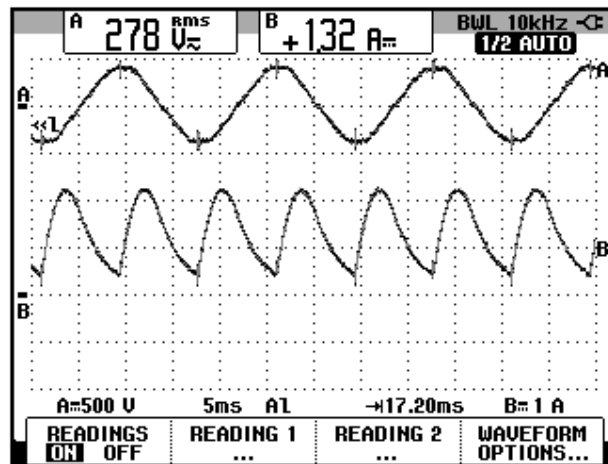


Figura 3.106: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente de salida en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{out})

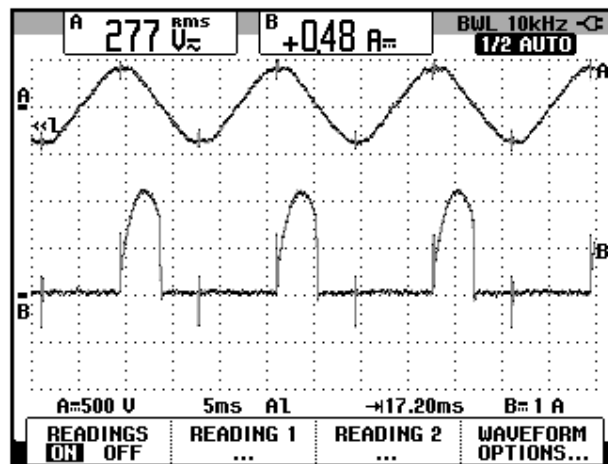


Figura 3.107: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{th1})

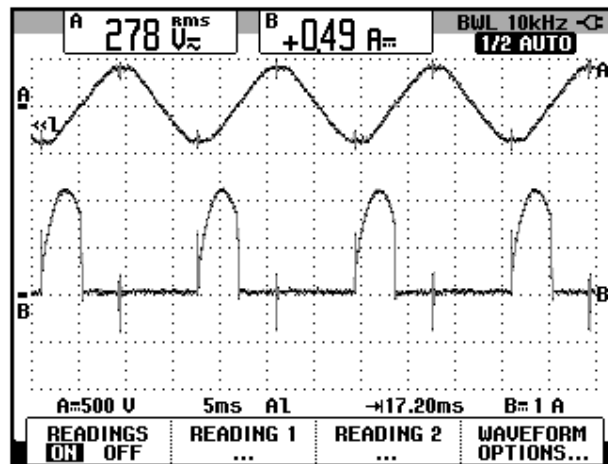


Figura 3.108: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{th3})

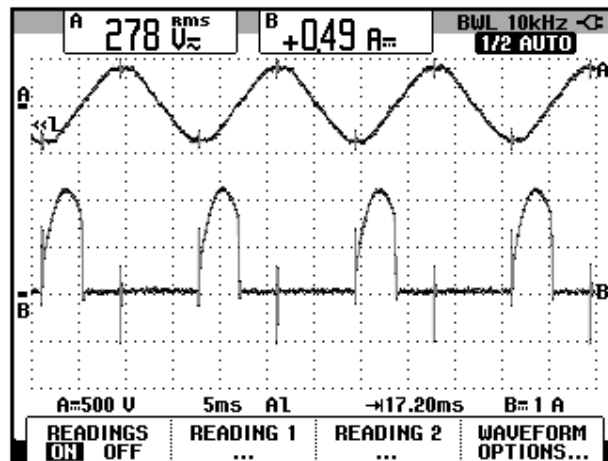


Figura 3.109: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{th4})

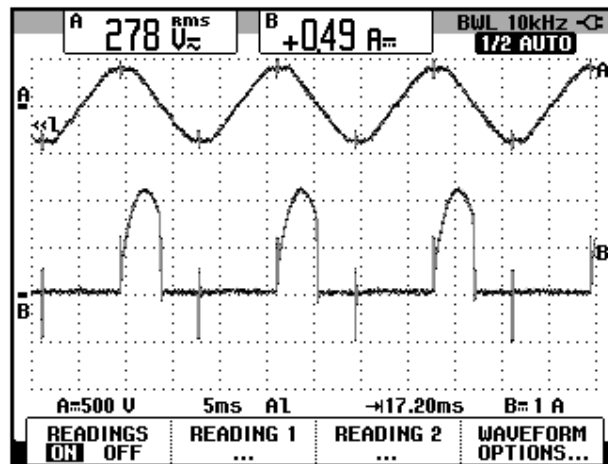


Figura 3.110: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y la corriente a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados y carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: I_{th6})

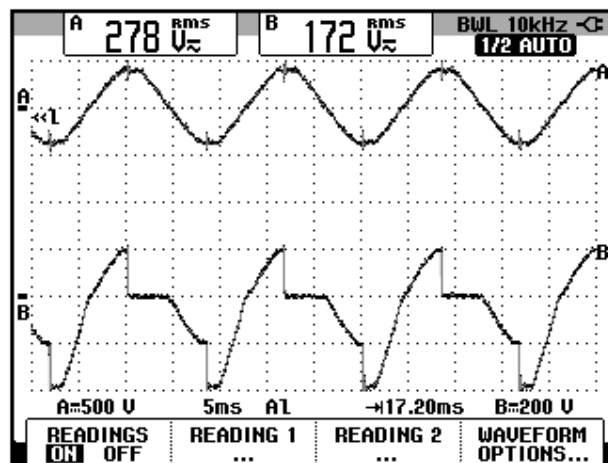


Figura 3.111: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: V_{th1})

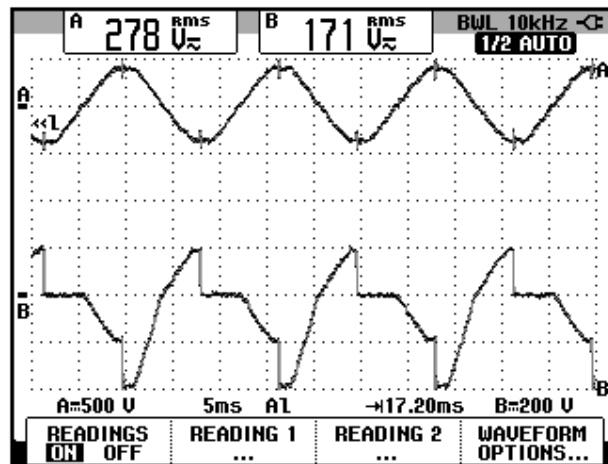


Figura 3.112: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH3 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: V_{th3})

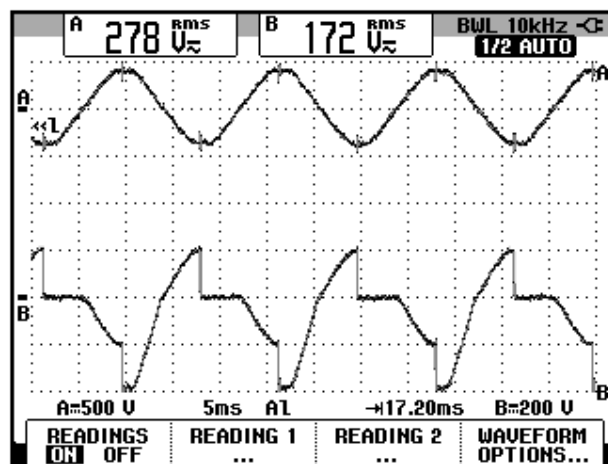


Figura 3.113: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH4 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: V_{in} , CH2: V_{th4})

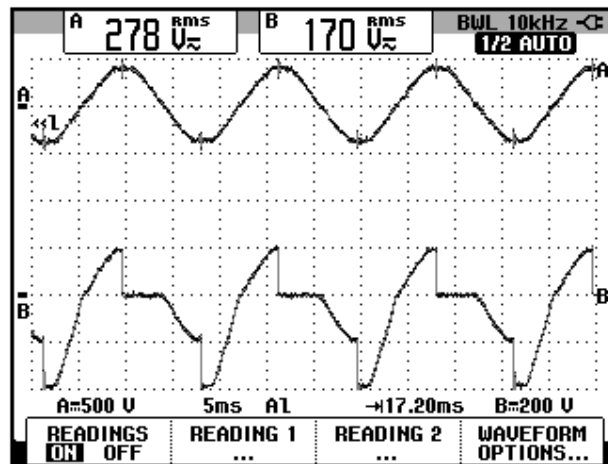


Figura 3.114: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje A-K a través de TH6 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vth6)

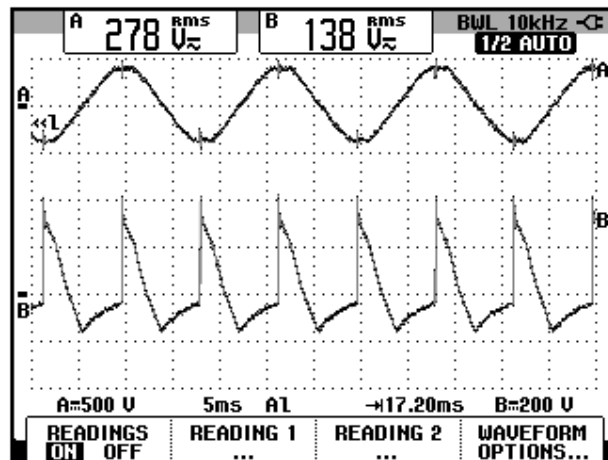


Figura 3.115: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa completa totalmente controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: VL)

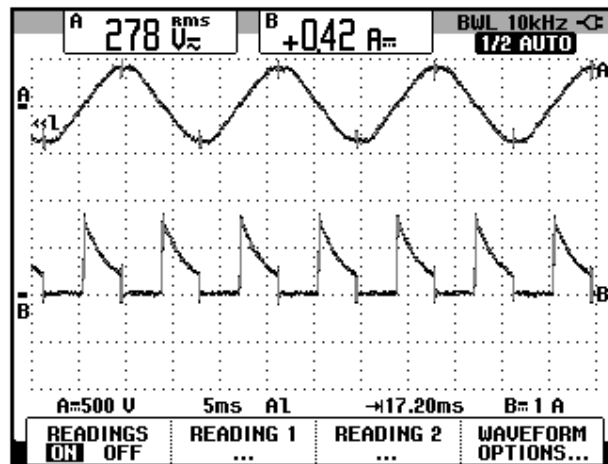


Figura 3.116: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y corriente en D1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Id1)

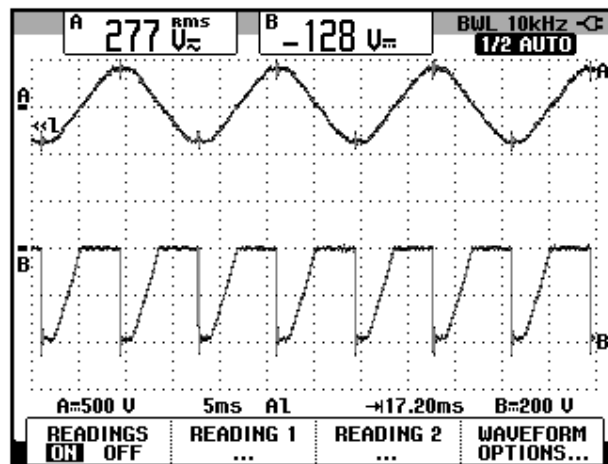


Figura 3.117: Oscilograma que muestra el voltaje de entrada al convertidor y voltaje A-K en D1 en el convertidor AC-DC monofásico tipo puente de onda completa controlado con $\alpha=90$ grados con carga RL con diodo de paso libre (CH1: Vin, CH2: Vd1)

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES MONOFASICOS SEMICONTROLADOS PARA OPERACIÓN EN UN CUADRANTE

En el presente capítulo se describe brevemente el comportamiento de un motor DC, se describen los bloques que componen un drive DC educativo, se describen sus componentes electrónicos, se realizan simulaciones en PSPICE para comprender el funcionamiento del circuito electrónico disparador del drive. Se varía la velocidad del motor DC en lazo abierto. Se analizan los dos métodos de control de velocidad, es decir, por tacho-generador y por compensación I_xR . Se realiza la optimización de los controladores de velocidad y de corriente. Se observa la respuesta en el tiempo de la velocidad y de la corriente de armadura ante un cambio súbito

de la carga mecánica del motor. Se muestra la regulación de velocidad empleando los dos métodos. Se explica el motivo por el cual se realizan conexiones específicas en el drive para cada método de control de velocidad.

4.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica.

El listado de equipos a emplearse en la práctica se indica a continuación:

- Drive TERCO MV4200
- Motor DC MV1006
- Freno por corrientes de Eddy TERCO MV1045
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE IR Tach20
- Cables tipo banana

4.2. Fundamentos de motores DC y de drives DC.

En la Fig. 4.1 se muestra un esquemático indicando el modelo equivalente de un motor DC [4]. Se observan los circuitos de campo y armadura. Los valores de resistencia corresponden a la máquina DC MV1006. La relación es de 100:1.

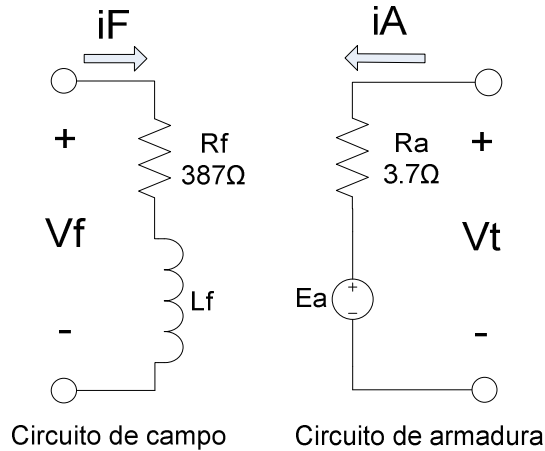


Figura 4.1: Modelo eléctrico equivalente de un motor DC.

Existen cuatro ecuaciones básicas para el análisis matemático del motor en estado estable [4].

$$V_T = E_A + I_A \cdot R_A \quad (4.1)$$

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} \quad (4.2)$$

Las dos ecuaciones restantes que relacionan las variables mecánicas del motor con las variables eléctricas son las siguientes [4].

$$\tau_{IND} = K\Phi I_A \quad (4.3)$$

$$E_{IND} = K\Phi\omega \quad (4.4)$$

Relacionando la ecuación 4.4 y la ecuación 4.1 y luego despejando la corriente de armadura, se tiene que:

$$I_A = \frac{V_T}{R_A} - \frac{K\Phi\omega}{R_A} \quad (4.5)$$

Donde se explica el motivo por el cual no es recomendable realizar un arranque directo en el motor DC: en el arranque $\omega=0\text{rad/s}$ y adicionalmente R_A es relativamente baja como se observa en la Fig. 4.1; esto causa que la corriente de arranque sea varias veces la corriente nominal. Por ejemplo, para un motor DC de 50HP-250V, la corriente de arranque es 20 veces la corriente nominal.

A continuación, se explicará el motivo matemático por el cual disminuye la velocidad del motor al aumentar la carga mecánica. Experimentalmente, esto se realizó en el capítulo 2.

En estado estable el motor no acelera por ello, $\tau_{neto} = I\alpha = 0$. Donde I es el momento de inercia angular del motor. Sabemos que en un motor, el torque neto es el resultado de la diferencia entre el torque inducido y el torque mecánico. Si no existe torque neto, entonces el torque inducido es igual al torque mecánico.

En el momento que ocurre un aumento de torque mecánico, es decir que la carga mecánica aumenta, se rompe el equilibrio y entonces el torque neto es negativo, dado que la diferencia entre el torque inducido y el torque mecánico es negativa. Esto conlleva a que la aceleración angular sea negativa, y por ende la velocidad tienda a disminuir. Al disminuir la velocidad, de acuerdo con la ecuación 4.5, la F.E.M. disminuye y por ende la corriente aumenta. Si la corriente aumenta, de acuerdo con la ecuación 4.3, el torque inducido aumenta. Al aumentar el torque inducido, la diferencia entre este y el torque mecánico disminuye. Esta diferencia está

representada por el torque neto. Si este disminuye, la desaceleración disminuye, causando que la aceleración angular, disminuya. Si se repite el análisis y en resumen, la velocidad buscará establecerse en un valor menor que aquel existente cuando no se daba el aumento de carga y la corriente tiende a establecerse en un valor mayor. En la Fig. 4.2 se muestra un resumen gráfico [4].

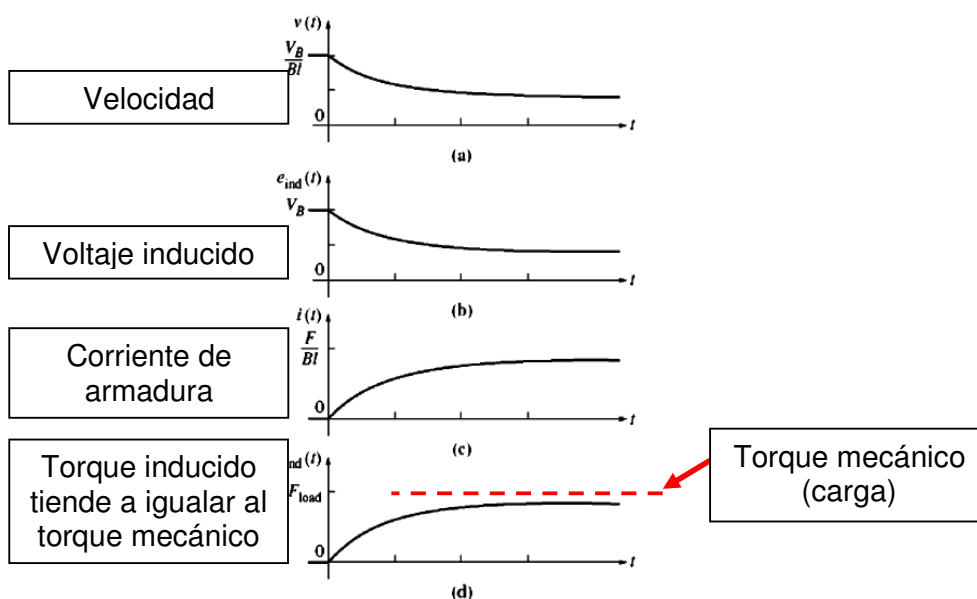


Figura 4.2: Resumen gráfico del comportamiento de las variables eléctricas y mecánicas del motor DC al ocurrir un aumento de carga.

El funcionamiento básico de un controlador de velocidad para un motor DC, consiste en controlar el voltaje de armadura para regular la velocidad ante cambios en la carga mecánica. La secuencia siguiente explica el funcionamiento del control de voltaje de armadura en el cual se basa el control de velocidad de un drive:

- Un incremento en V_T incrementa I_A . [$I_A = (V_T - E_A) / R_A$]

- Incrementando I_A incrementa $[\tau_{IND}=K\Phi I_A]$.
- El incremento de τ_{IND} causa que τ_{IND} sea mayor que τ_{LOAD} , acelerando el motor e incrementando así w .

4.3. Presentación del drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.3 se muestra una imagen real del panel frontal del mismo. En la Fig. 4.4 se muestra una imagen real del conector de 220V y el interruptor principal, ubicados en la parte posterior del drive.



Figura 4.3: Drive Terco MV4200



Figura 4.4: Conector 220V e interruptor principal del drive Terco MV4200.

4.4. Bloques principales de un drive DC en el panel frontal del drive Terco MV4200

Los bloques principales de un drive DC, reflejados en el drive Terco MV4200, son:

Circuitos de fuerza:

1. Alimentación de armadura con rectificador monofásico semi-controlado tipo puente. Dispone de una inductancia adicional para operación con corriente continua.
2. Alimentación de campo con rectificador monofásico no controlado tipo puente.

Controladores:

3. Controlador PI de velocidad
4. Controlador PI de corriente

Circuitos auxiliares:

5. Circuito de ajuste de referencia con doble polaridad.
6. Circuito de disparo: sincronizador y generador de pulsos de disparo con aislamiento eléctrico.
7. Circuito de captación de señales de realimentación: captación de corriente, voltaje de armadura y voltaje del taco-generador AC MV1025.

Los seis primeros circuitos son los más importantes. En el drive analizado, estos bloques se indican en la Fig. 4.5.

TERCO THYRISTOR UNIT/UNIDAD THIRISTORES MV4200

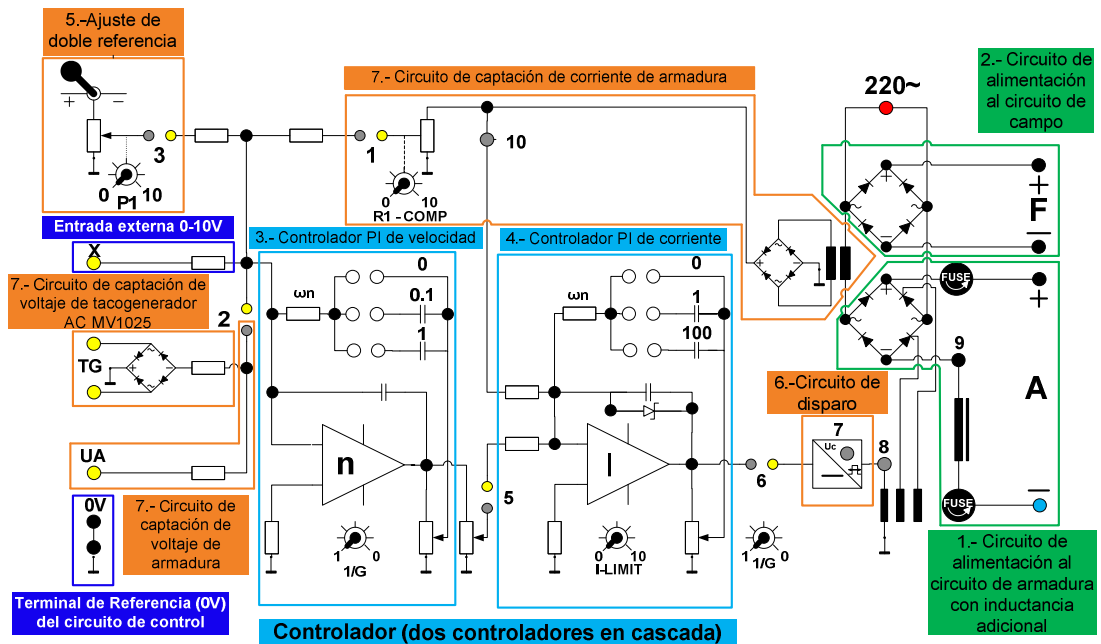


Figura 4.5: Bloques principales de un drive DC mostrados en el panel frontal del drive Terco MV4200.

4.5. Diagrama electrónico e identificación de los componentes físicos del drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.6, se muestra el diagrama electrónico del drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.7, se muestran identificados los bloques principales de un drive DC en el diagrama electrónico del drive Terco MV4200. Contrastar esta figura, con la Fig. 4.3. En la Fig. 4.8 se muestra una imagen real de la vista interior del drive Terco MV4200. En ella se identifican los elementos más representativos. En la Fig. 4.9 se muestra una imagen real de los tiristores y diodos de potencia que conforman el circuito de alimentación al circuito de armadura del motor. Contrastar las Figs. 4.9 y 4.7 para relacionar estos

componentes. En la Fig. 4.10 se muestra una imagen indicando los datos relacionados a la inductancia que se conecta en serie con la armadura.

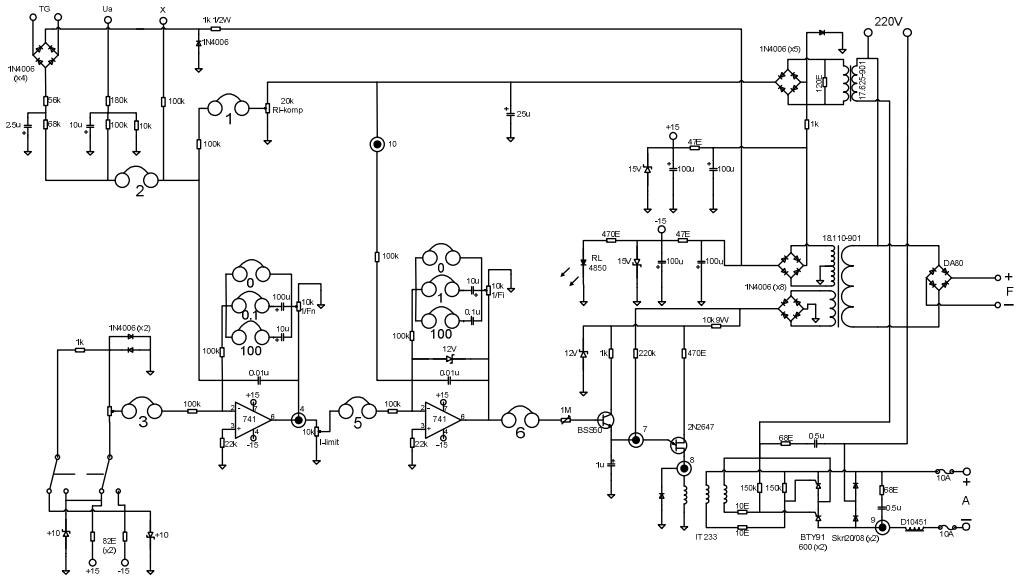


Figura 4.6: Diagrama electrónico del drive Terco MV4200.

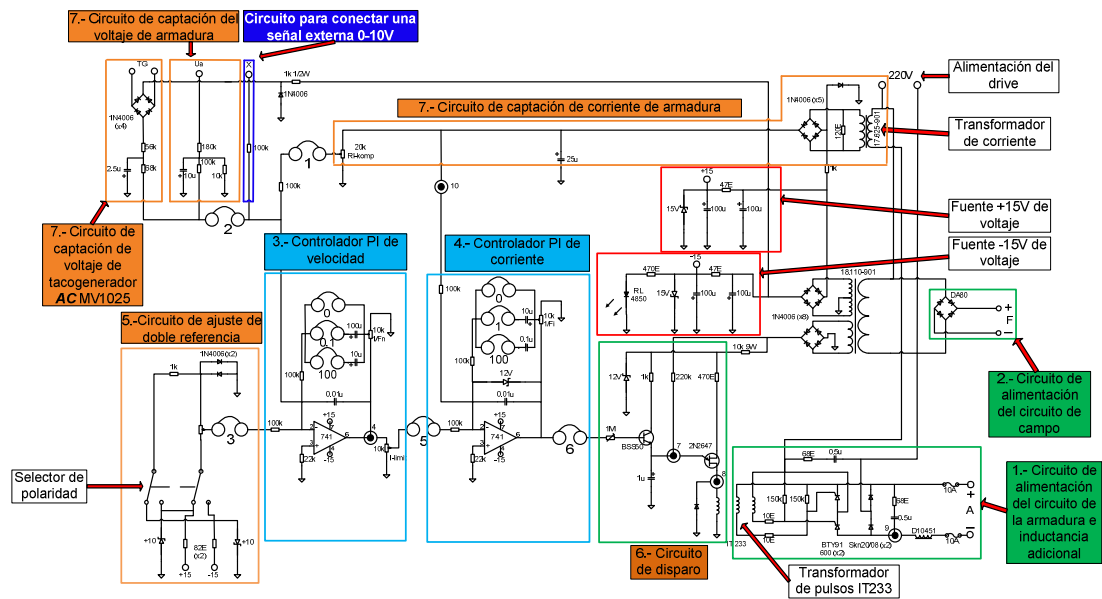


Figura 4.7: Bloques de un drive DC en el diagrama electrónico del drive Terco MV4200.

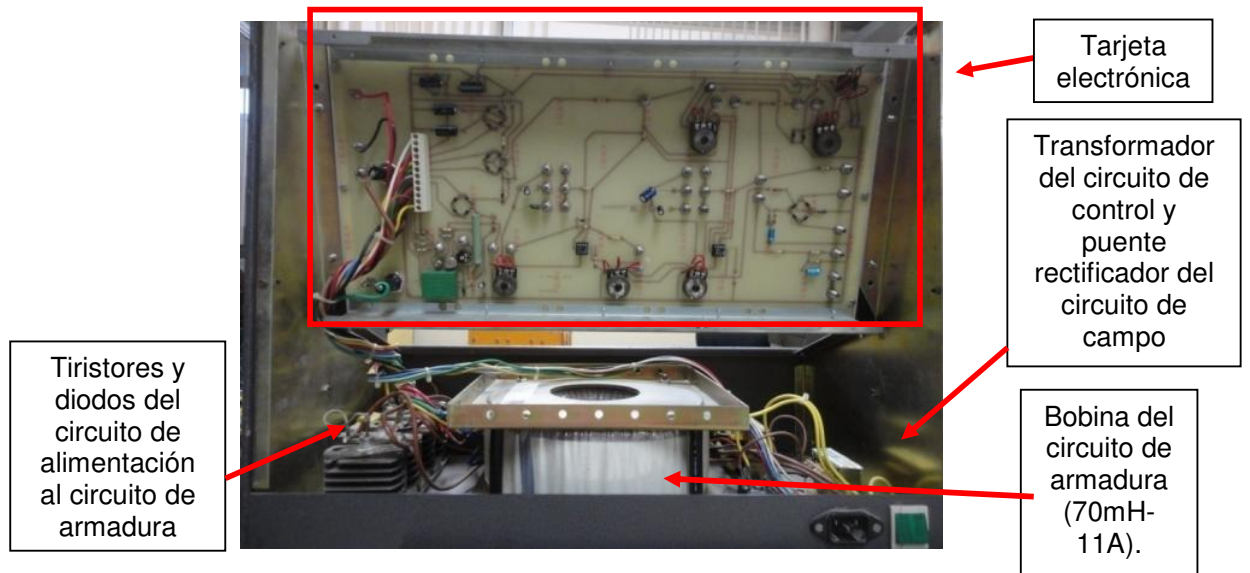


Figura 4.8: Vista interior del drive Terco MV4200.

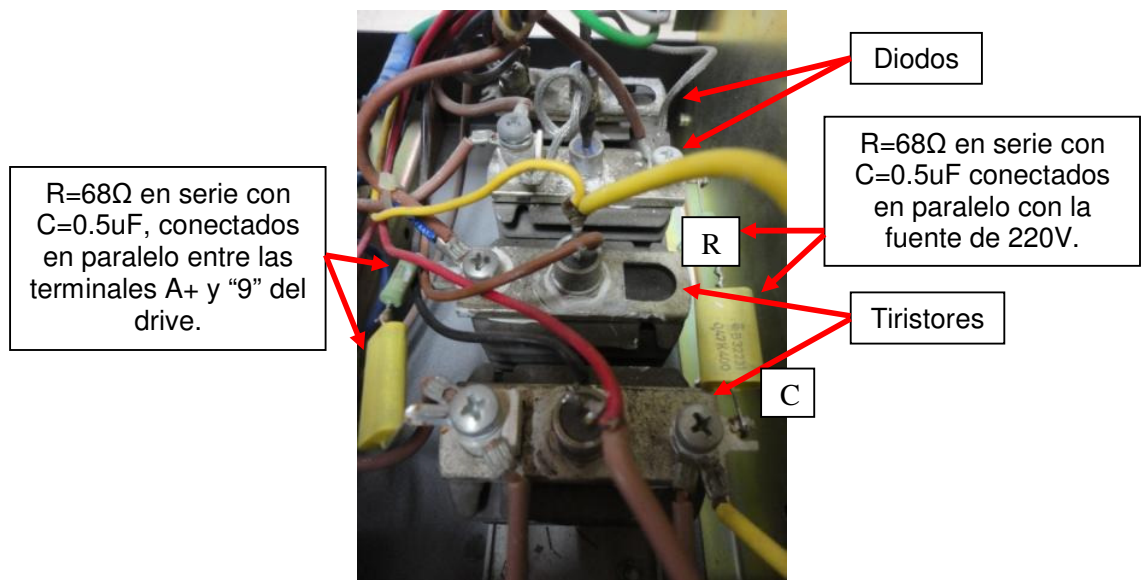


Figura 4.9: Semiconductores del circuito de alimentación del circuito de armadura en el drive Terco MV4200.

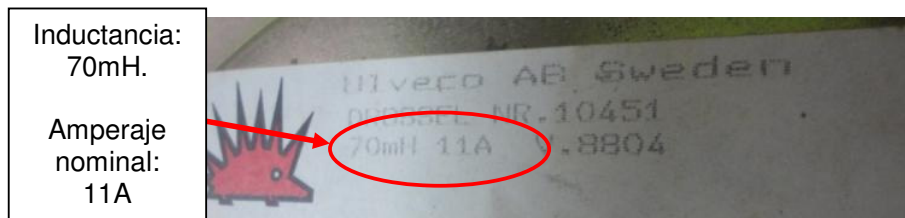


Figura 4.10: Datos del fabricante de la bobina en serie con el circuito de armadura del motor. Drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.11 se muestra una imagen real del transformador de corriente, del transformador del circuito de control y del puente rectificador del circuito para alimentar el circuito de campo del motor. Se observa del interruptor principal del drive salen dos cables de color café, los cuales forman un enrollamiento de tres vueltas alrededor del núcleo del transformador de corriente. Del mismo salen un par de cables de colores amarillo y verde de menor calibre hacia el circuito de control.

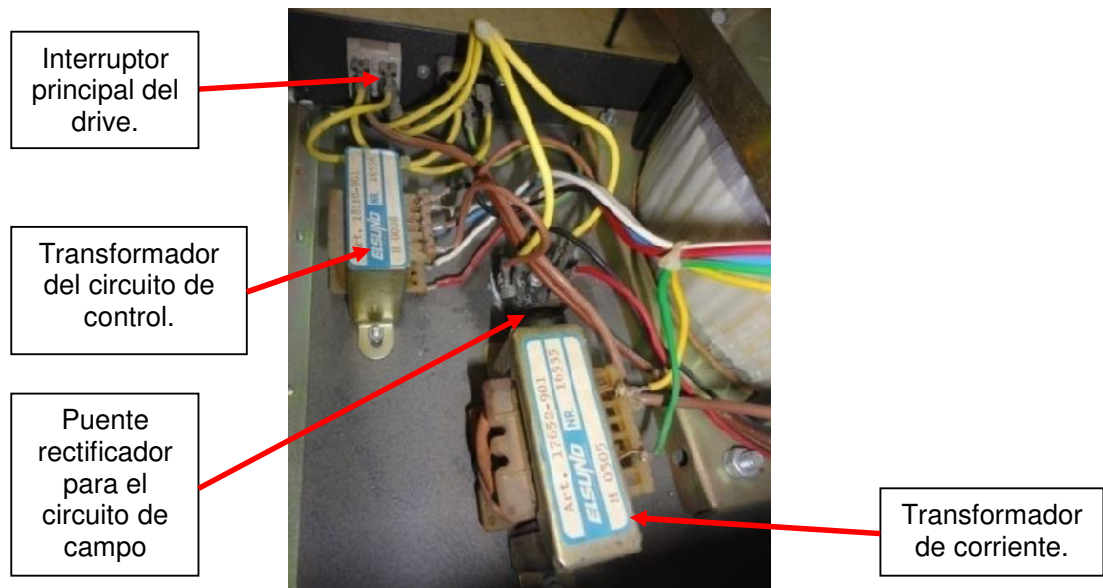


Figura 4.11: Transformador del circuito de control, transformador de corriente y puente rectificador del circuito de campo. Drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.12 se muestra una imagen real de la sección izquierda de la tarjeta electrónica mostrada en la Fig. 4.8. Se muestra en ella, la sección del circuito disparador y las fuentes de voltaje positiva y negativa del circuito de control.

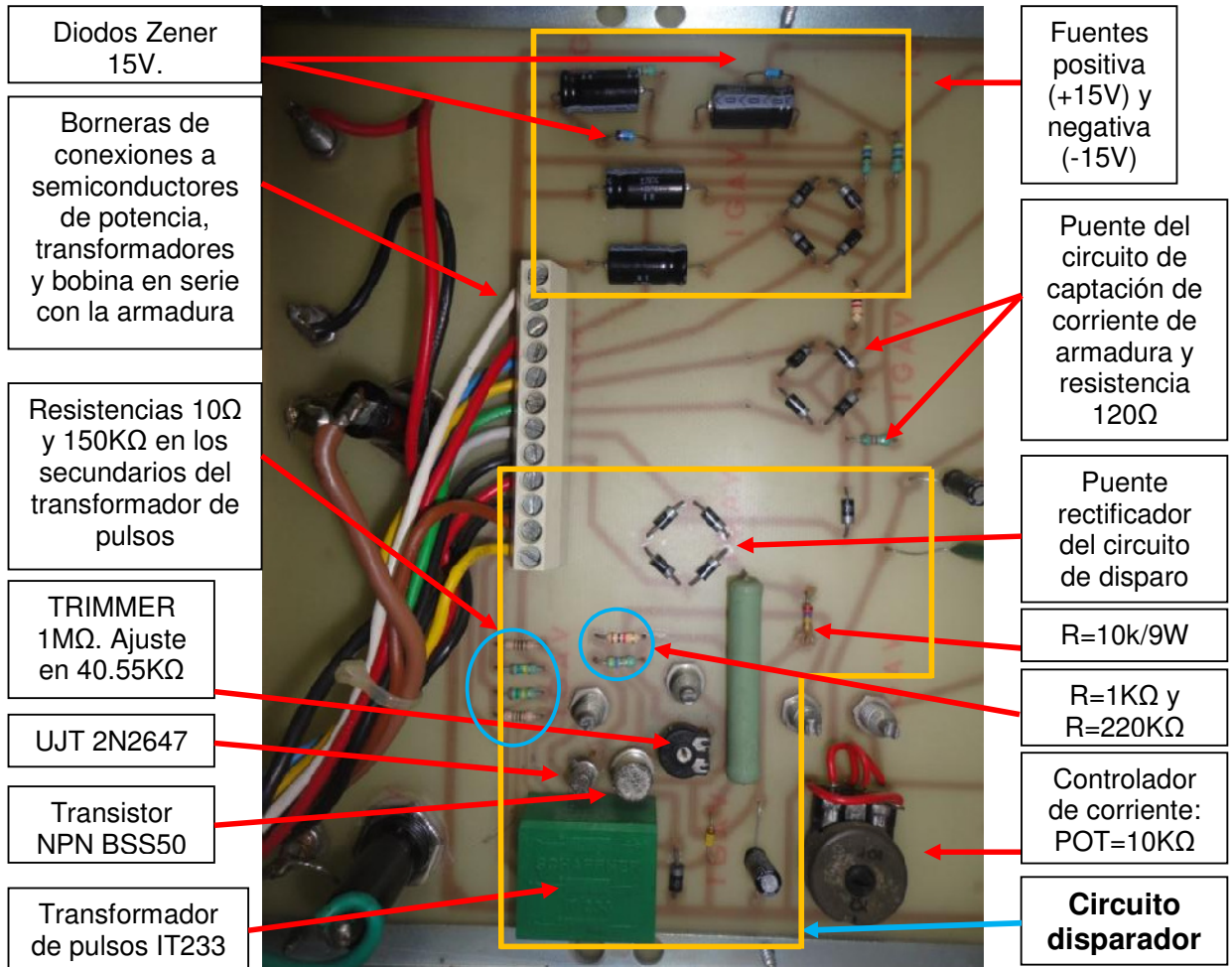


Figura 4.12: Sección izquierda de la tarjeta electrónica: circuito disparador y fuentes de voltaje positiva y negativa. Drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.13 se muestra una imagen real de la sección centro-izquierda de la tarjeta electrónica mostrada en la Fig. 4.8. En ella está la sección del circuito controlador de corriente. En la Fig. 4.14 se muestra una imagen real

de la sección centro-derecha de la tarjeta electrónica mostrada en la Fig. 4.8. En ella, está la sección del circuito controlador de velocidad y una sección del circuito de captación de la corriente de armadura. En la Fig. 4.15 se muestra una imagen real de la sección derecha de la tarjeta electrónica mostrada en la Fig. 4.8. En ella, está la sección del circuito de ajuste de referencia de doble polaridad, el circuito de captación de voltaje de armadura, el de captación del voltaje generado y el de la entrada externa de voltaje.

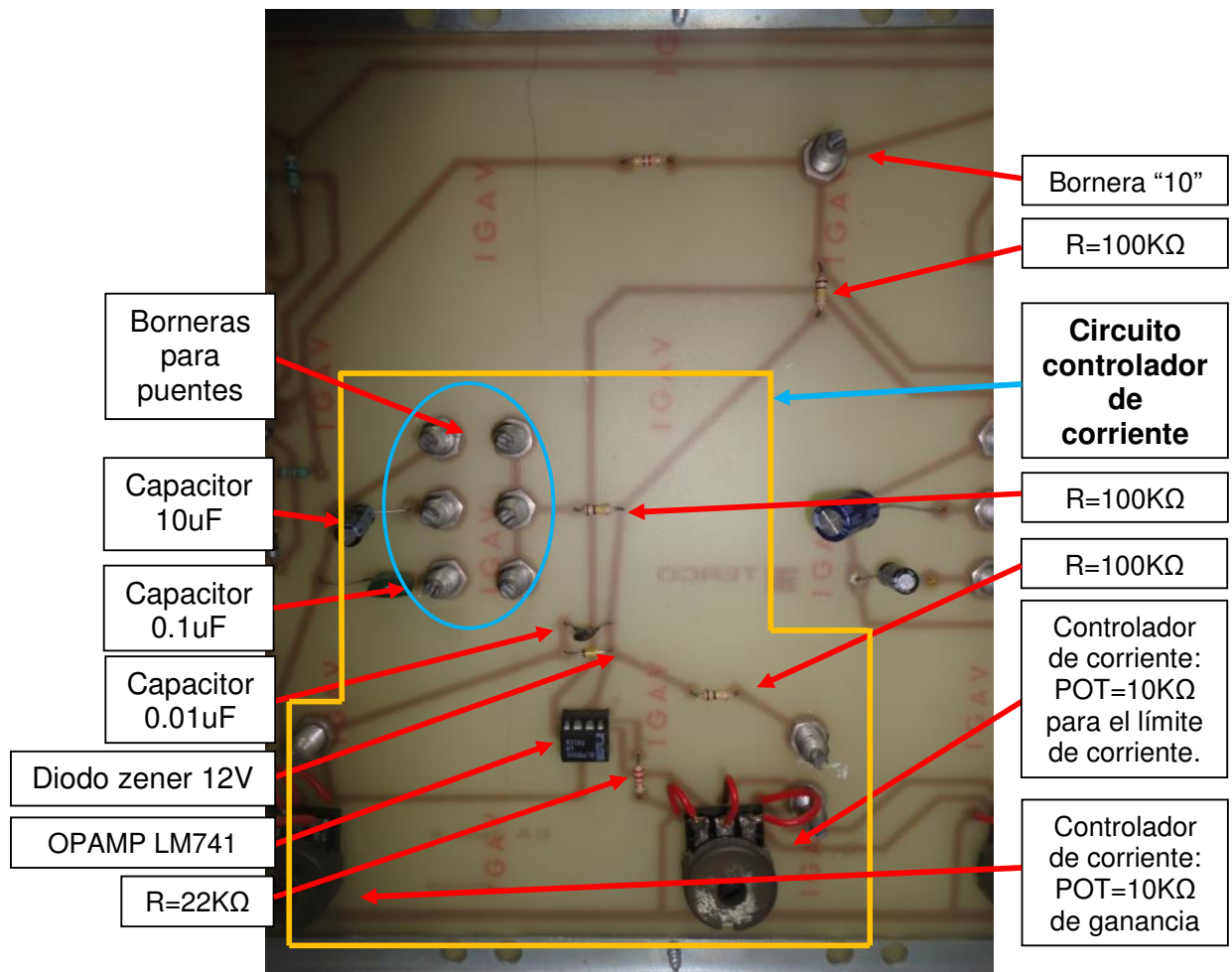


Figura 4.13: Sección centro-izquierda de la tarjeta electrónica: circuito controlador de corriente. Drive Terco MV4200.

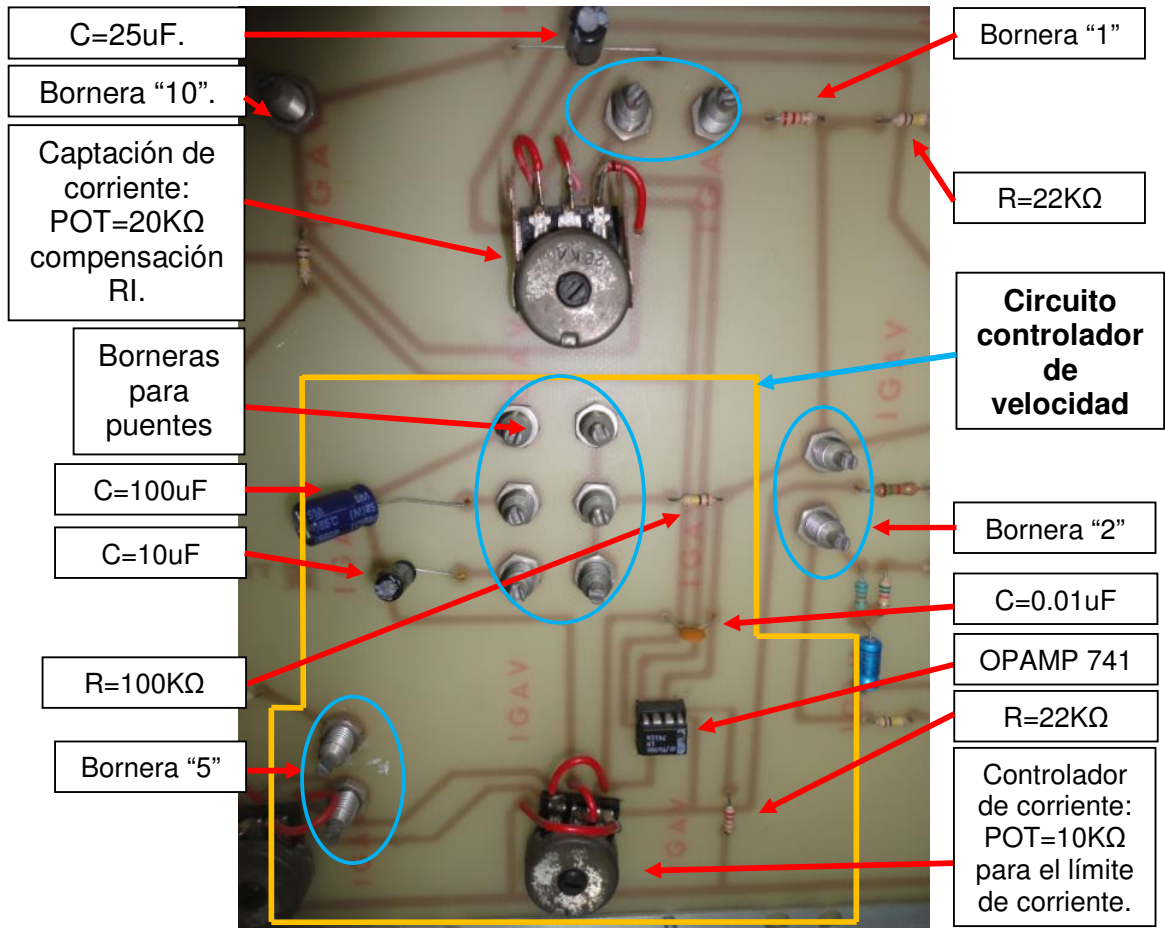


Figura 4.14: Sección centro-derecha de la tarjeta electrónica: circuito controlador de velocidad y una sección del circuito de Drive Terco MV4200.

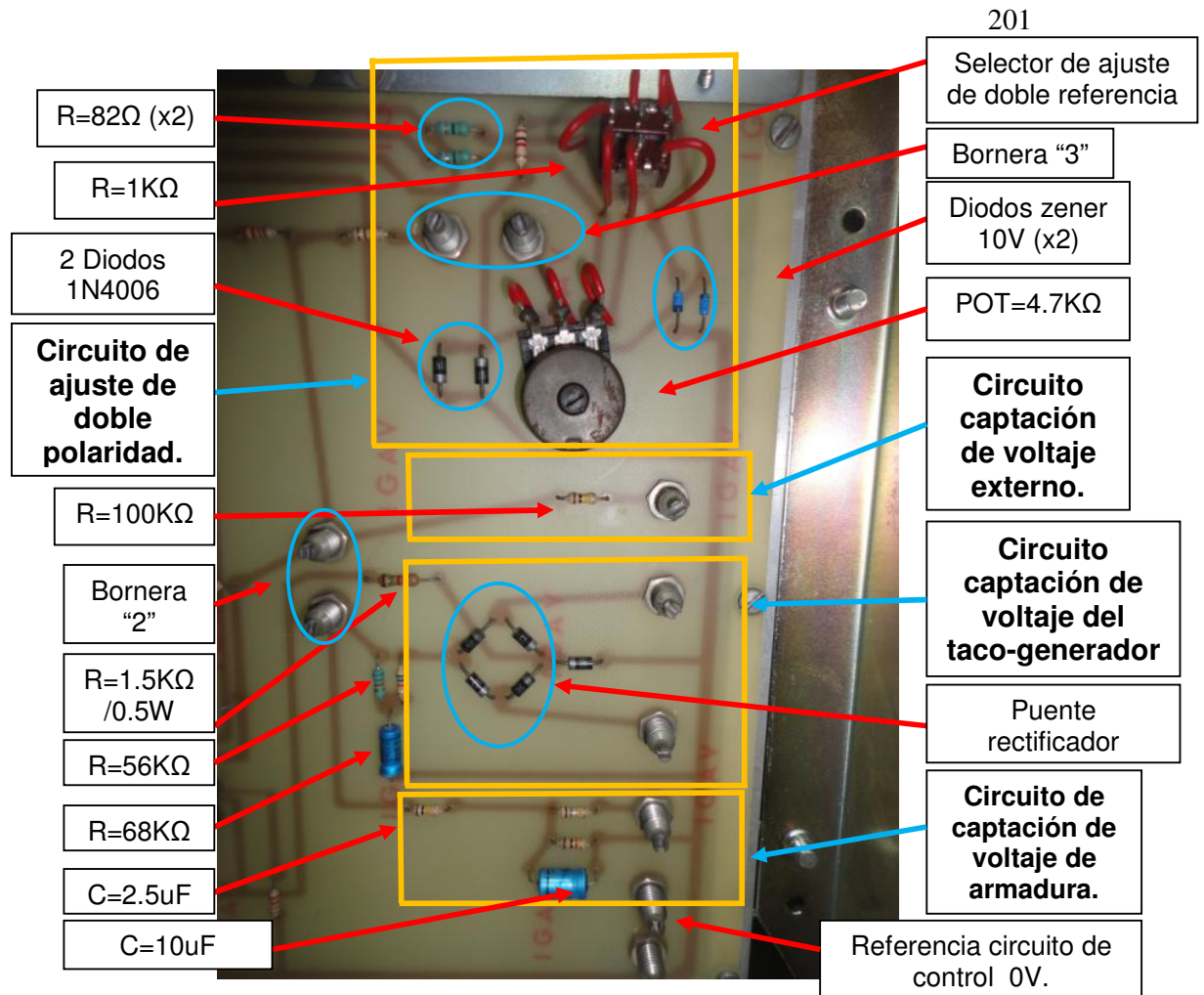


Figura 4.15: Sección derecha de la tarjeta electrónica: circuito de ajuste de referencia de doble polaridad, de captación de voltaje de armadura, de captación del voltaje del taco-generador AC. Drive Terco MV4200.

4.6. Análisis del circuito de referencia con doble polaridad y del circuito de disparo.

En esta sección, se procederá a realizar el análisis de los circuitos de referencia y del circuito de disparo. Se iniciará analizando el primero. En este, se observarán los efectos del selector de polaridad y el de la variación del potenciómetro de 4.7KΩ, en el voltaje del puente "3". En la Fig. 4.16 se muestra el esquemático del circuito de referencia con doble polaridad con el

selector de polaridad en la posición izquierda; adicionalmente el potenciómetro en la posición intermedia, es decir POT=0.5. Se ha realizado ciertas simplificaciones del circuito original, tal como el uso de dos resistores en serie en vez de un potenciómetro para poder tener acceso al nodo intermedio.

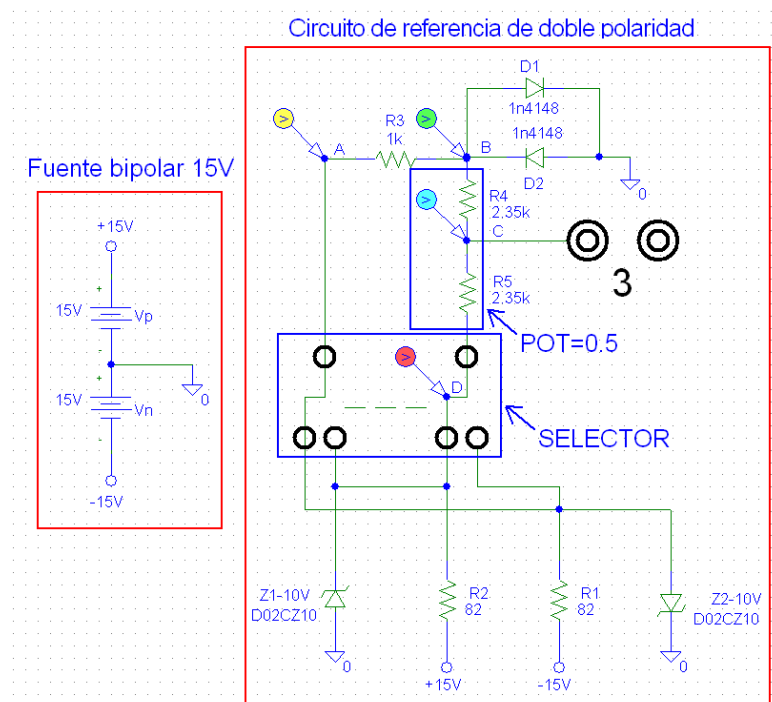


Figura 4.16: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7KΩ en posición intermedia. Drive Terco MV4200.

Observar que en el esquemático anterior, existen cuatro nodos: A, B, C y D. En estos nodos, se han ubicado marcadores de color amarillo, verde, celeste y rojo respectivamente. A continuación se muestra el resultado de la simulación del esquemático mostrado en la Fig. 4.18.

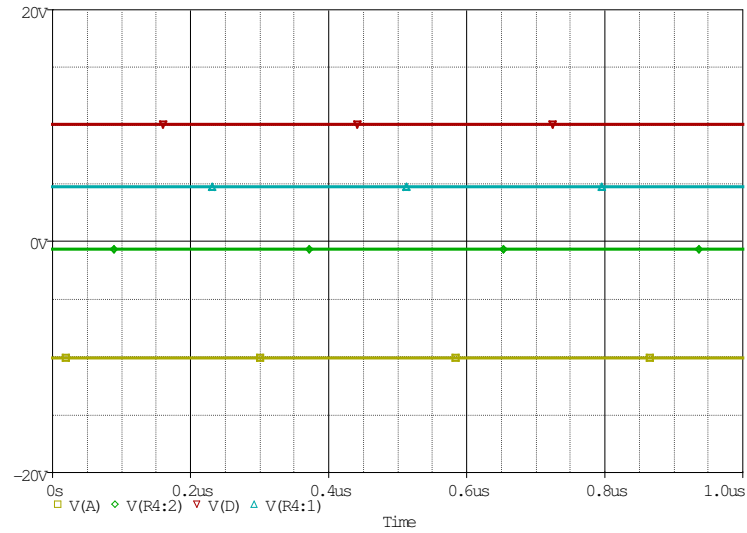


Figura 4.17: Resultados de la simulación del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición intermedia. Drive Terco MV4200.

En las condiciones anteriormente indicadas, el nodo A, se polariza con -10V, el nodo B se polariza con -0.7V, el nodo D con 10V debido a la polarización del diodo zener Z1-10 a través de la resistencia R2 de 82 Ω . Finalmente el nodo C, se polariza con 5V aproximadamente.

En la Fig. 4.18 se muestra el esquemático respectivo cuando el potenciómetro se encuentra en la posición superior. Se ha considerado una resistencia de valor cercano a cero ohmios para comparar el voltaje en el nodo B y C.

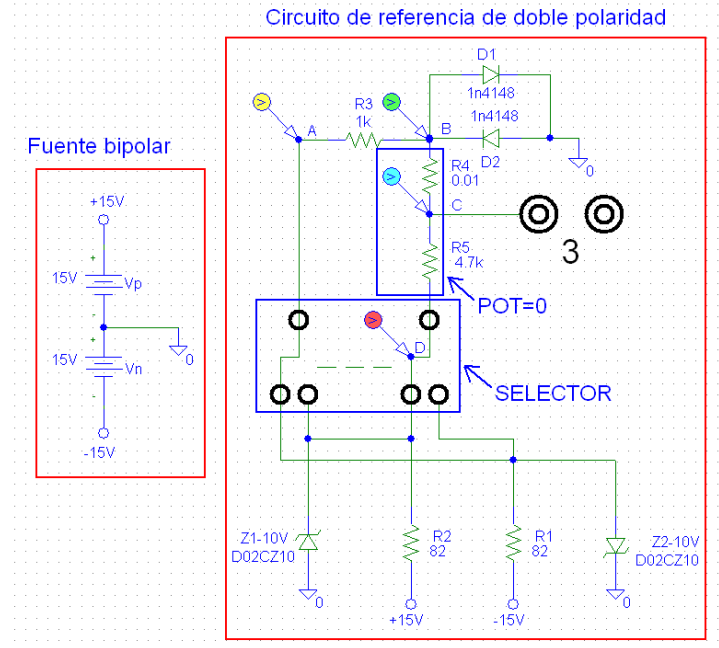


Figura 4.18: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición superior. Drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.19 se muestra el resultado de la simulación del esquemático anterior. En esta figura, se observa que los voltajes en los nodos A, B y D son similares, a excepción del voltaje en el nodo C, en el cual el voltaje es diferente y corresponde a aproximadamente -0.7V, es decir, coincide con el voltaje en B. Esto tiene sentido debido a la posición del potenciómetro. En la Fig. 4.20 se muestra el esquemático respectivo cuando el potenciómetro se encuentra en la posición inferior.

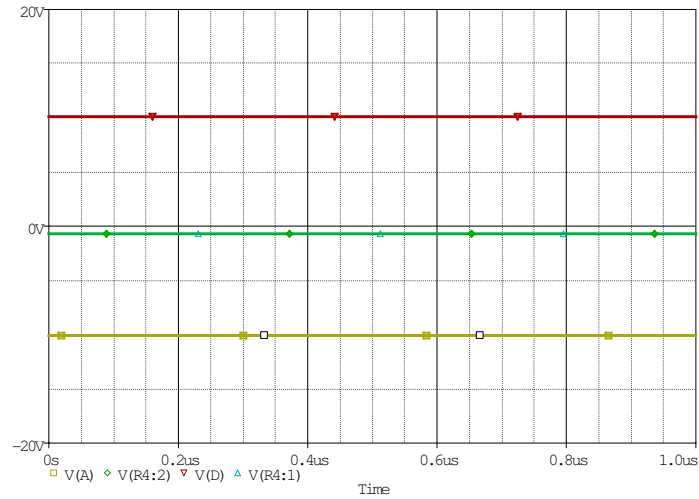


Figura 4.19: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición superior. Drive Terco MV4200.

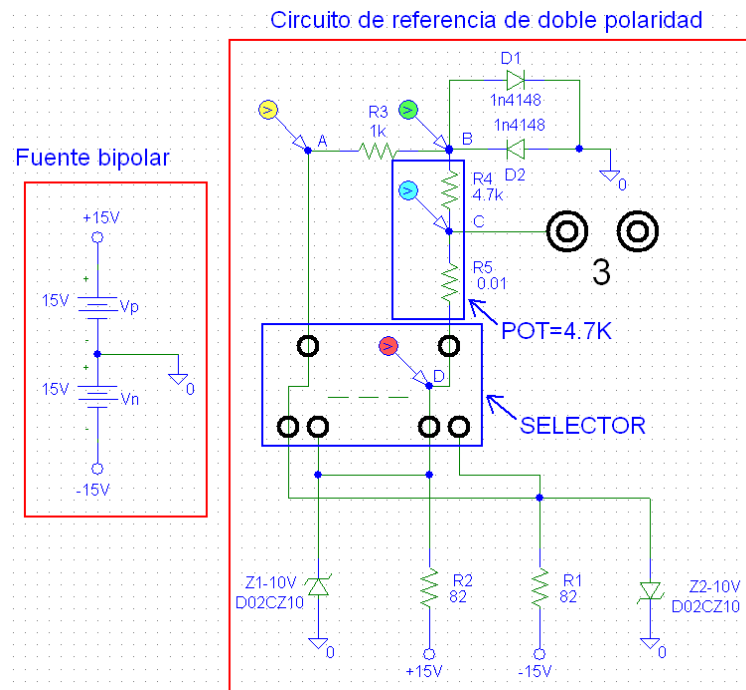


Figura 4.20: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición izquierda y potenciómetro de 4.7K Ω en posición inferior. Drive Terco MV4200.

Los resultados de la simulación se muestran en la Fig. 4.21. Se observa que el voltaje en los nodos A, B y D permanecen invariables. Sin embargo, el voltaje en el nodo C toma el valor de 10V. En la Fig. 4.22 se muestra el esquemático respectivo cuando el selector de polaridad se encuentra en la posición derecha y el potenciómetro de 4.7K Ω se encuentra en la posición intermedia. Los resultados de la simulación se muestran en la Fig. 4.23.

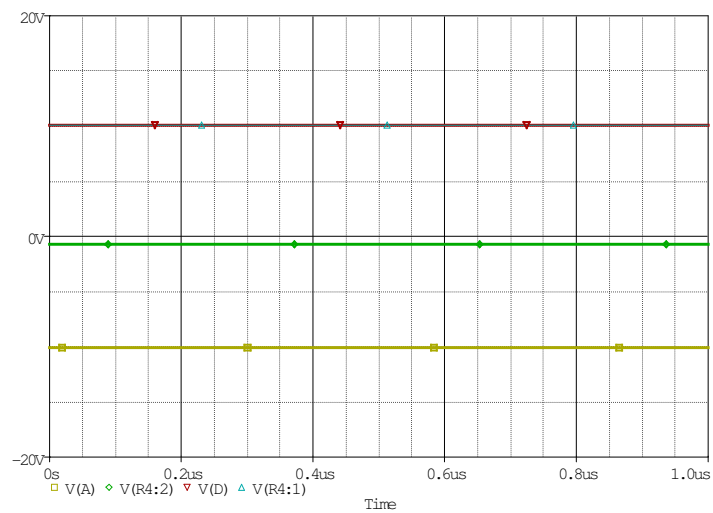


Figura 4.21: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7K Ω en posición inferior. Drive Terco MV4200.

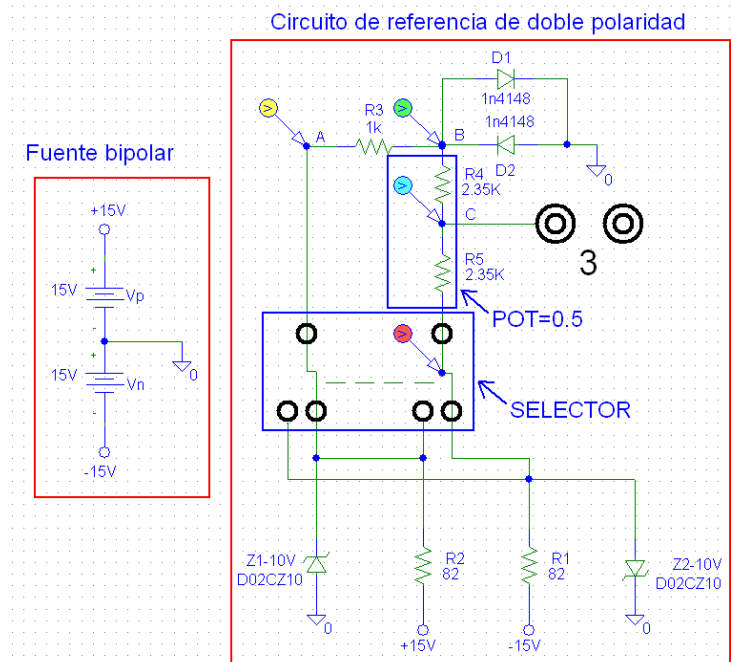


Figura 4.22: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7KΩ en posición intermedia. Drive Terco MV4200.

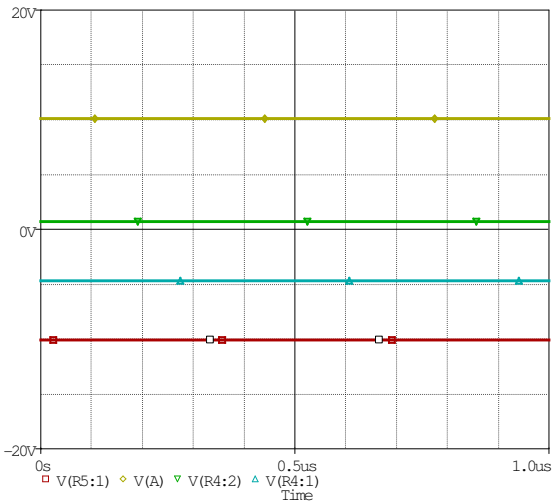


Figura 4.23: Esquemático del circuito de referencia de doble polaridad. Selector en la posición derecha y potenciómetro de 4.7KΩ en posición intermedia. Drive Terco MV4200.

En la simulación de la Fig. 4.23, se observa que el voltaje en el nodo A es ahora de +10V. En el nodo B, el voltaje es de +0.7V, debido a la polarización de D1. En el nodo D, el voltaje es de -10V. Finalmente, el voltaje en el nodo C, es de -5V.

Se concluye que el voltaje en el nodo C puede variar desde -0.7V hasta 10V empleando el potenciómetro de 4.7K y considerando el selector en la posición izquierda. Si el selector se encuentra en la posición derecha, el voltaje puede variarse desde +0.7V hasta -10V.

Seguidamente, se analiza el circuito disparador mostrado en la Fig. 4.24. En el mismo se han realizado modificaciones para simplificar la simulación, entre ellas, se encuentra el reemplazo del primario del transformador de pulsos por una resistencia de valor bajo. Adicionalmente, se ha simplificado el circuito de referencia por una fuente de voltaje DC variable. El reemplazo más importante es el del transistor BSS50 el cual es un transistor Darlington; se lo reemplazó por otro transistor Darlington de código BCV47. El resultado de la simulación se muestra en la Fig. 4.25.

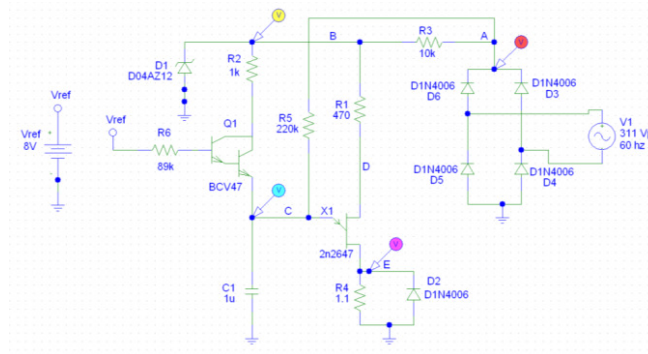


Figura 4.24: Esquemático del circuito de disparo simplificado. Vref=8V. Drive Terco MV4200.

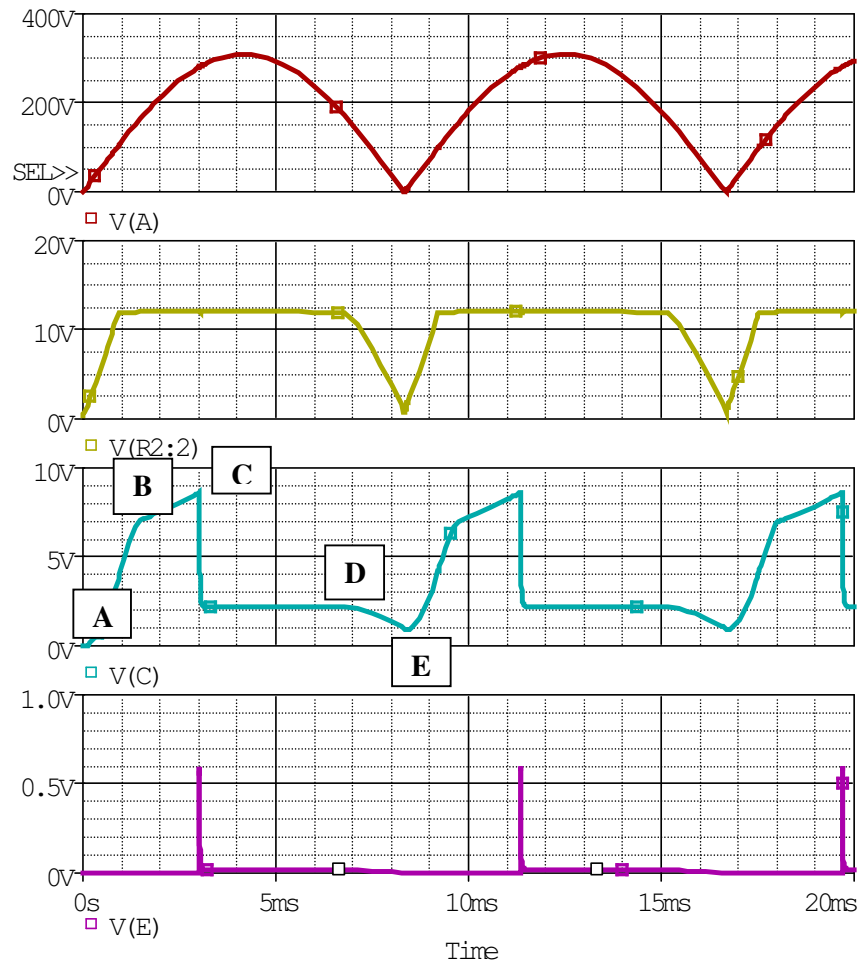


Figura 4.25: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $V_{ref}=8V$. Drive Terco MV4200.

En los resultados de la simulación de la Fig. 4.25, se observa que en el canal 1, se obtiene la rectificación del voltaje que alimenta la armadura del motor. Por motivos de simulación, se empleó el voltaje de armadura con un valor de 311 voltios-pico. En el canal 2, se obtiene el voltaje en el cátodo del diodo zener. En el canal 3, se muestra el voltaje en el capacitor y en el canal 4 se muestra el voltaje en la resistencia que corresponde al primario del transformador de pulsos para la activación de los tiristores.

En primer lugar, analizaremos el voltaje en el nodo C, es decir, el voltaje en el capacitor. Se observan que cuatro etapas lo conforman. La etapa A-B, B-C, C-D y D-E. En primer lugar, la forma de onda de la etapa A-B, depende de la referencia de voltaje. Al disminuir el voltaje de referencia pero manteniendo la polaridad positiva, a un valor de 4V, se observa en la Fig. 4.26, que el valor del voltaje en el instante B, es menor a 5V, en comparación con el valor en el mismo instante en la Fig. 4.25.

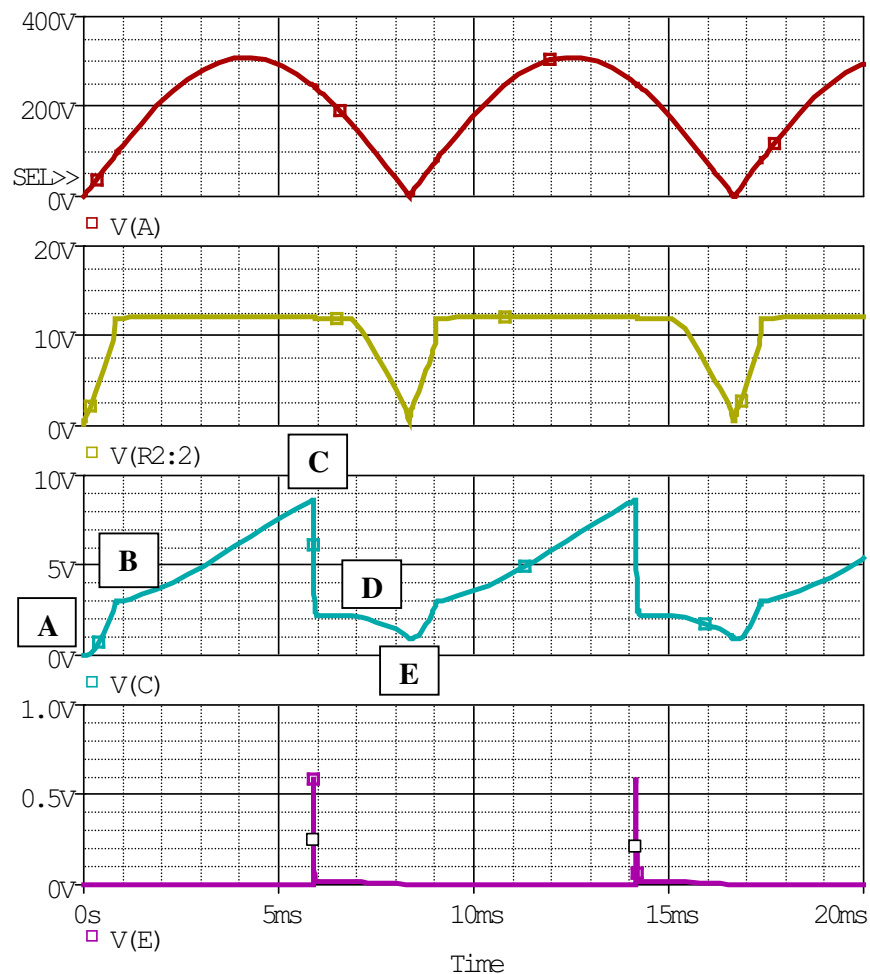


Figura 4.26: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $V_{ref}=4V$. Drive Terco MV4200.

Adicionalmente, se comprueba que el voltaje de referencia permite variar el ángulo de disparo; al aumentarlo, el mismo disminuye mientras que al disminuirlo, el mismo aumenta.

En la etapa B-C, el capacitor se carga a través de la resistencia de 220KΩ. Esto se comprueba con una modificación al circuito de la Fig. 4.24. En ella se ha desconectado la resistencia de 220KΩ. La misma se muestra en la Fig. 4.27.

Los resultados de la simulación se muestran en la Fig. 4.28. En ella se observa que al desconectar la resistencia de 220KΩ, no ocurre la etapa B-C. Adicionalmente, se observa que se pierde control sobre el ángulo de disparo dado que, a pesar de que voltaje de referencia se mantiene en 8V, éste se acerca a 180°. Se puede concluir entonces que el voltaje en el nodo C durante la etapa B-C, depende de la resistencia de 220KΩ.

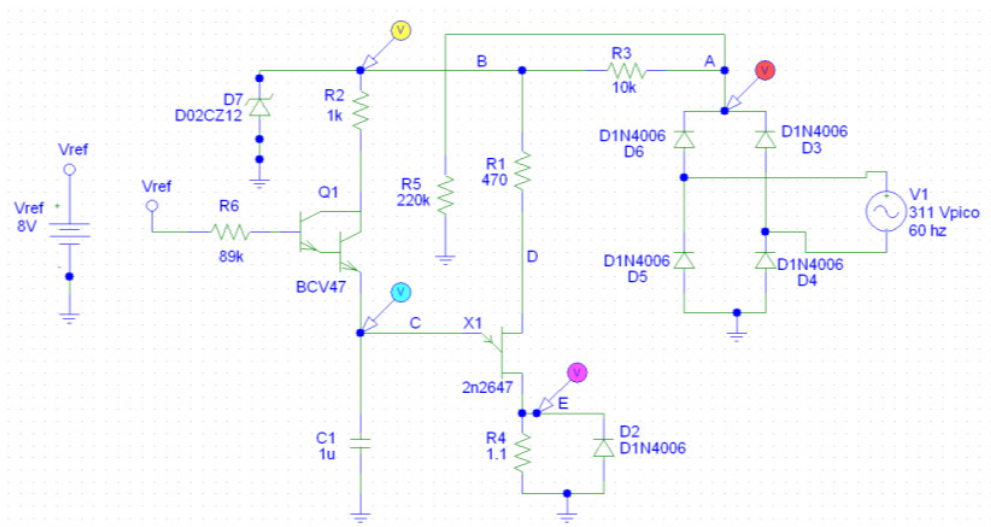


Figura 4.27: Esquemático del circuito de disparo simplificado. Vref=8V. R5=220KΩ desconectada. Drive Terco MV4200.

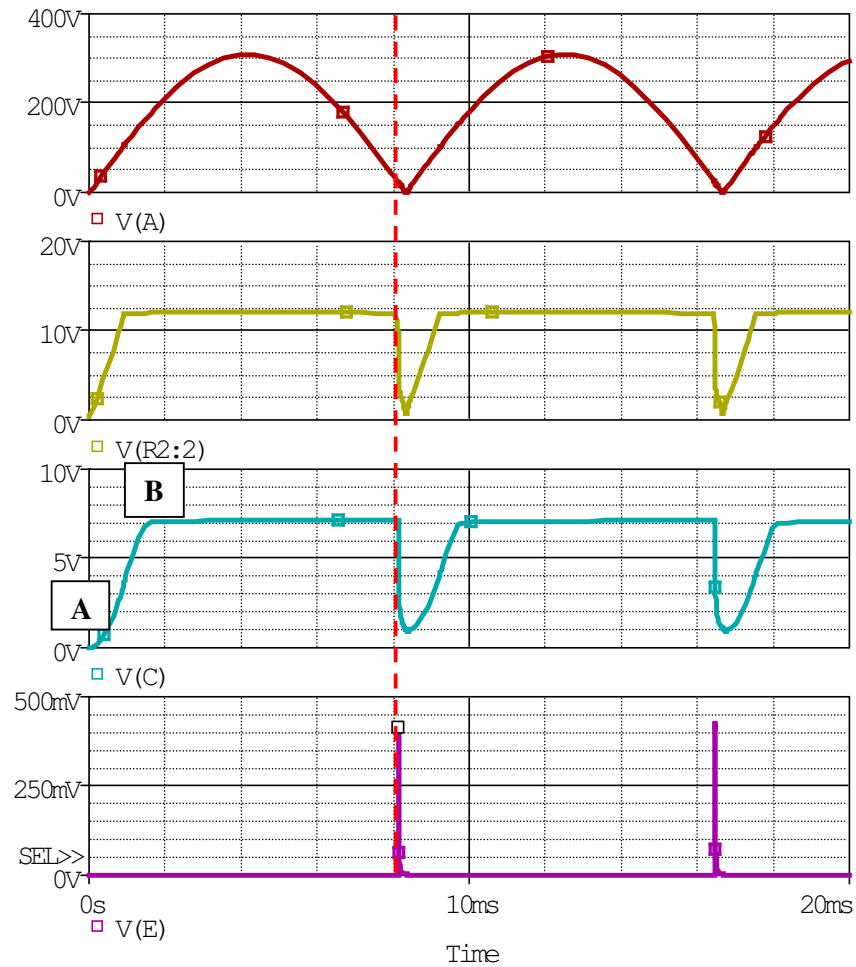


Figura 4.28: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $V_{ref}=8V$ y $R5=220K\Omega$ desconectada. Terco MV4200.

Otra forma para que ocurra la etapa B-C, es disminuyendo la resistencia de $220K\Omega$ y conectarla al nodo B en vez del nodo A. La modificación al esquemático se muestra en la Fig. 4.29. Se redujo su valor a $3K\Omega$. El resultado de la simulación se muestra en la Fig. 4.30.

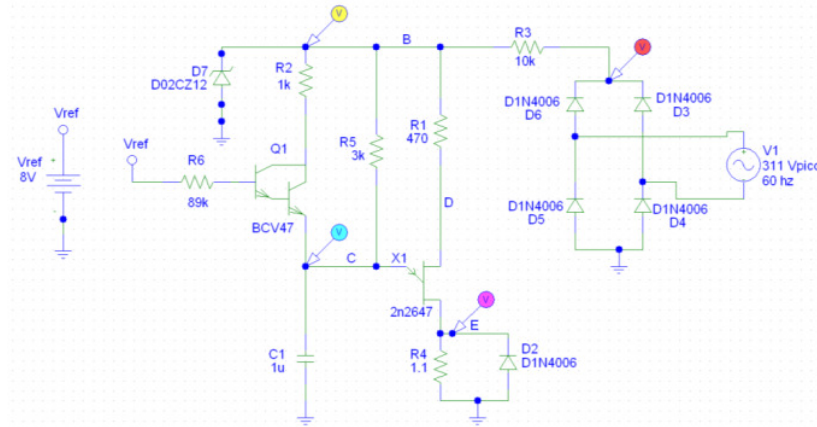


Figura 4.29: Esquemático del circuito de disparo simplificado. Vref=8V. R5=220KΩ modificada a 3KΩ y conectada al nodo B. Drive Terco MV4200.

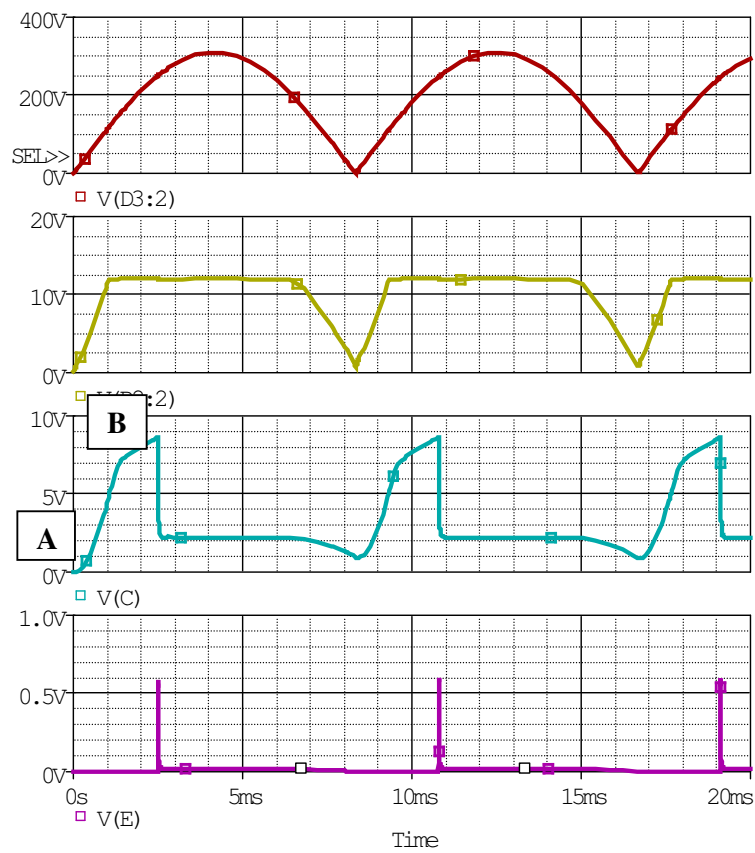


Figura 4.30: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con R=220KΩ modificada a 3KΩ y conectada al nodo B. Drive Terco MV4200.

Se analiza la relación entre el voltaje en el capacitor y las corrientes en el transistor, en las etapas A-B y B-C del voltaje en el capacitor de la Fig. 4.25.

En la Fig. 4.31, se muestra el esquemático del circuito a simular. Los resultados de la simulación se muestran en la Fig. 4.32.

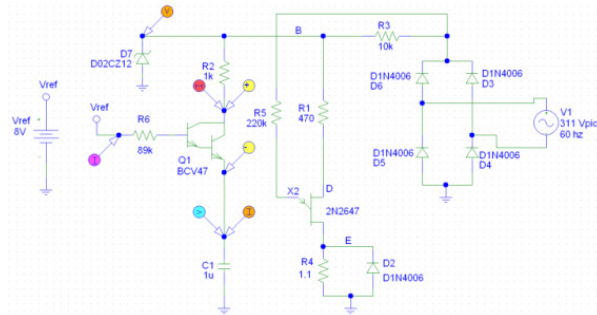


Figura 4.31: Esquemático del circuito de disparo simplificado. Vref=8V. R5=220KΩ sin influir en la carga de C1. Drive Terco MV4200.

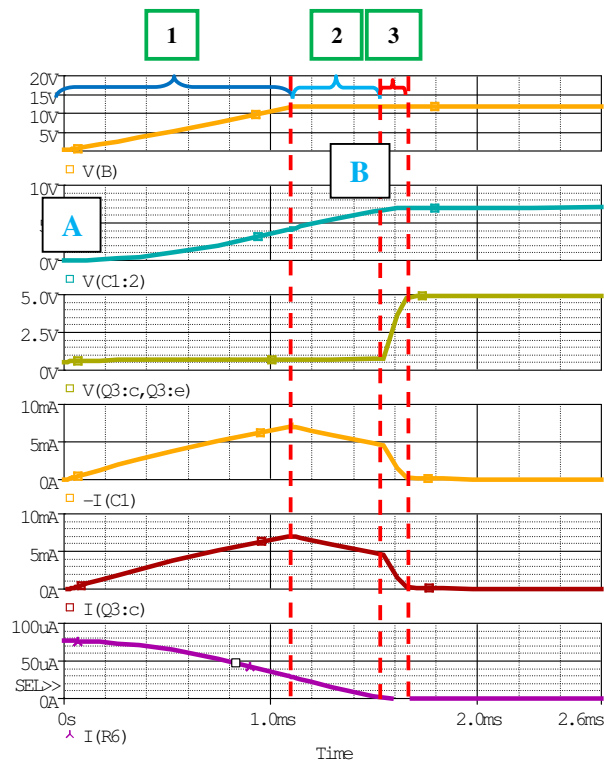


Figura 4.32: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con R5=220KΩ sin influir en la carga de C1. Drive Terco MV4200.

En la simulación de la Fig. 4.32, se observan tres etapas: 1, 2 y 3. Adicionalmente, en el canal 1, se muestra el voltaje en el nodo B, es decir el voltaje en el cátodo del diodo zener D7; en el canal 2, se muestra el voltaje en el capacitor C1; en el canal 3, se muestra el voltaje colector emisor en Q1; en el canal 4, se muestra la corriente del capacitor C1 la cual es también la corriente en el emisor de Q1; en el canal 5, se muestra la corriente en el colector de Q1 y en el canal 6, se muestra la corriente hacia la base de Q1.

El análisis parte de la corriente de base de Q1; al inicio de la etapa 1, la misma toma el máximo valor dado que el capacitor está descargado. A medida que C1 se carga, debe cumplirse la ley de voltajes de Kirchoff en la malla formada por R6, Q1 y C1, por lo que la corriente de base tiende a disminuir. El valor elevado de la corriente de base sitúa al transistor Q1 en zona de saturación. Simultáneamente, el diodo zener D7 comienza a encenderse, por lo que la corriente a través de colector comienza a aumentar. La no linealidad entre la corriente de base y la de colector asegura que Q1 opera en zona de saturación; además, se observa que el voltaje colector emisor de Q1 está relativamente fijo en aproximadamente 0.7V. Al finalizar la etapa 1, la corriente de base es todavía positiva por lo que el voltaje en el capacitor tiende a aumentar. Sin embargo, al finalizar esta etapa, el diodo zener está encendido y empieza la etapa 2. Al encenderse el diodo zener, la corriente de colector alcanza su máximo valor y debido a que el voltaje en el capacitor sigue aumentando, la corriente de colector debe disminuir para que el transistor Q1 no pase a zona de corte y siga conduciendo. Adicionalmente, debe cumplirse la ley de voltajes de

Kirchoff en la malla formada por D7, R2, Q1 y C1. En la etapa 2, el voltaje colector emisor no ha cambiado por lo que Q1 se mantiene en zona de saturación. Al finalizar la etapa 2, la corriente de base se anula debido a que, en este instante, el voltaje en el capacitor es aproximadamente igual al voltaje de referencia; el voltaje en el capacitor es de 7V, adicionándole el voltaje base-emisor que corresponde a aproximadamente 0.7V, se obtiene un valor cercano al voltaje de referencia que corresponde a 8V. Al anularse la corriente de base, la corriente de colector y de emisor tiende a anularse también dado que el transistor Q1 se está apagando. Al finalizar la etapa 3, el transistor Q1 está apagado, por lo que el voltaje colector emisor toma el valor de 5V que al adicionarle el voltaje del capacitor que corresponde a 7V, se obtiene el voltaje del diodo zener de 12V, cumpliéndose así la ley de voltajes de Kirchoff.

A continuación, se analiza el comportamiento del transistor Q1 con la resistencia de 220K Ω reconectada. El esquemático se muestra en la Fig. 4.33. Simultáneamente se explican las etapas C-D y D-E de la Fig. 4.25.

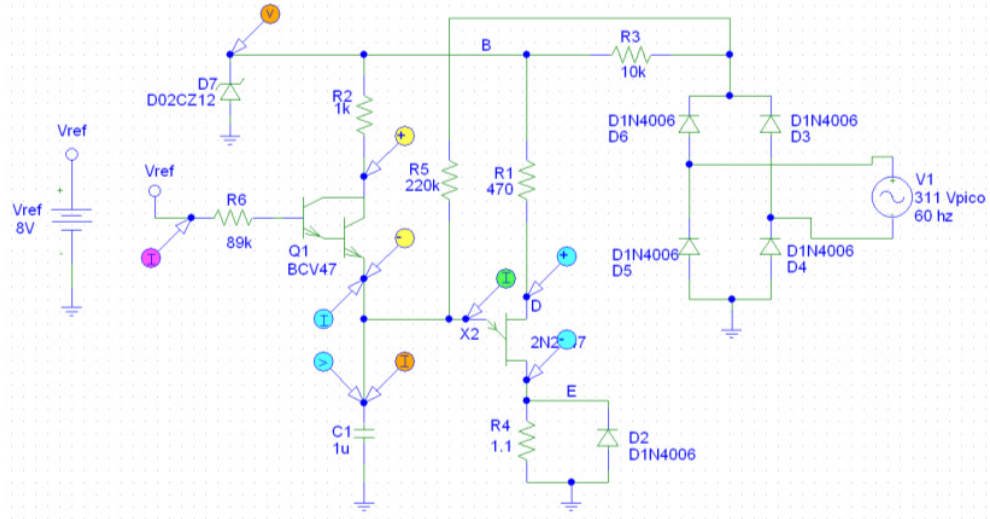


Figura 4.33: Esquemático del circuito de disparo simplificado con $R5=220K\Omega$ conectada para observar el comportamiento de Q1. Drive Terco MV4200.

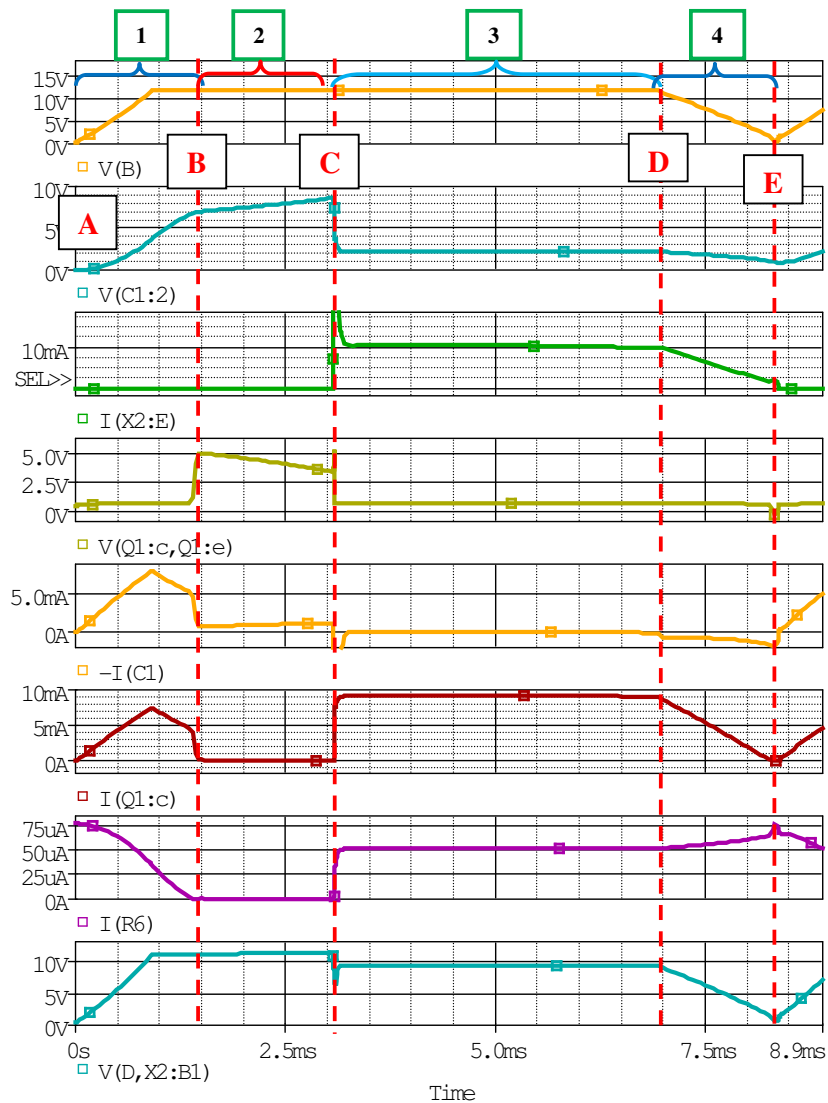


Figura 4.34: Resultados de la simulación del circuito de disparo simplificado con $R5=220K\Omega$ conectada para observar el comportamiento de Q1. Drive Terco MV4200.

En la Fig. 4.34, se observan siete canales. En el primer canal, se muestra el voltaje en el nodo B, es decir en el cátodo del diodo zener; en el segundo canal, se muestra el voltaje en el capacitor; en el tercer canal, se muestra la corriente en el emisor del UJT; en el tercer canal, se muestra el voltaje en el emisor del UJT; en el cuarto canal, se muestra el voltaje colector emisor de

Q1; en el quinto canal, se muestra la corriente del capacitor; en el sexto canal, se muestra la corriente en el colector de Q1; en el sexto canal se muestra la corriente de base de Q1 y en el séptimo canal, el voltaje inter-bases.

En esta figura, se observan tres etapas. La primera etapa fue analizada previamente en la Fig. 4.32. En la etapa 2, el voltaje en el capacitor aumenta dado que está siendo cargado a través de R5; el voltaje colector emisor en Q1 disminuye pero Q1 sigue operando en zona de corte dado que la corriente de base y de colector se mantienen en cero durante la disminución. Al final de la etapa 2, ocurre el disparo en R4 debido a la conducción del UJT, luego el capacitor se descarga a través del emisor del UJT y de R4 y por ende en ese instante la corriente es negativa; durante la descarga de C1, la corriente del capacitor fluye a través del emisor del UJT, disminuyendo su voltaje, lo cual permite que la corriente de base aumente para poder cumplir la ley de voltajes de Kirchoff en la malla formada por R1, la base emisor de Q1 y C1. El aumento en la corriente de base provoca un aumento en la corriente de emisor de Q1, la cual circula hacia el emisor del UJT y ya no hacia el capacitor dado que el mismo se encuentra descargándose a través del emisor del UJT también. Entonces, a medida que el voltaje del capacitor disminuye, la corriente de emisor de Q1 aumenta hasta que la corriente de emisor del UJT sea la corriente de valle. La corriente de valle del UJT es de 10mA, como se observa en el editor de modelo mostrado en la Fig. 4.35. Adicionalmente, esto se comprueba en la etapa 3 del canal 3 de la Fig. 4.34.

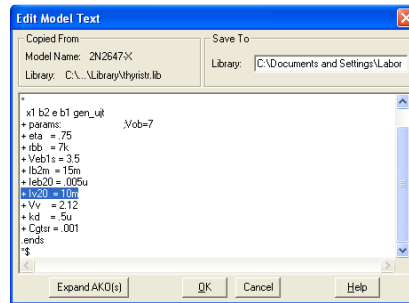


Figura 4.35: Corriente de valle del UJT 2N2646. Drive Terco MV4200.

Se establece que en la etapa 3, el transistor Q1, logra un nuevo punto de operación ubicado en la zona de saturación y el punto de operación del UJT es la zona de saturación.

Finalmente, en la etapa 4, el diodo zener empieza a apagarse y el voltaje de inter-bases del UJT empieza a disminuir; el UJT se mantiene en zona de saturación, dado que la corriente de emisor del UJT es del orden de los miliamperios y se encuentra disminuyendo. Esto causa que el voltaje de emisor también decrezca, por este motivo el capacitor se descarga. Al descargarse el capacitor se incrementa la corriente de base, manteniendo el transistor Q1 encendido y operando en zona de saturación.

Debido a la disminución del voltaje en el cátodo del diodo zener, la corriente de colector y de emisor de Q1, disminuyen. Esto implica que el voltaje de emisor decrezca. Al finalizar la etapa 4, se apaga el UJT y el transistor Q1, repitiéndose el ciclo.

En la Fig. 4.36 se muestra la curva de la característica estática del emisor del UJT tomada de la hoja de datos del fabricante [5].

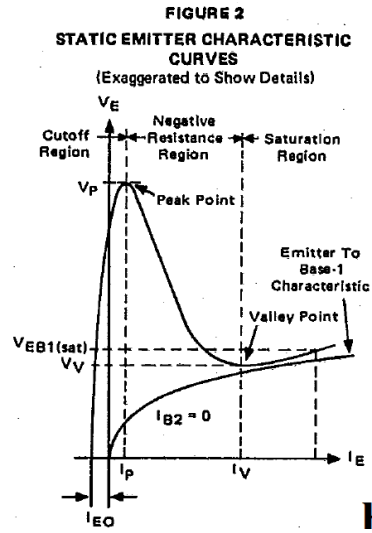


Figura 4.36: Curva de la característica estática del emisor de un UJT.

4.7. Variación del ángulo de disparo por ajuste en la referencia para variar la velocidad del motor DC en lazo abierto.

En este experimento, se varía el ángulo de disparo de los tiristores del puente rectificador semi-controlado, con el fin de variar la velocidad del motor en lazo abierto. Efectuar las conexiones mostradas en la Fig. 4.37.

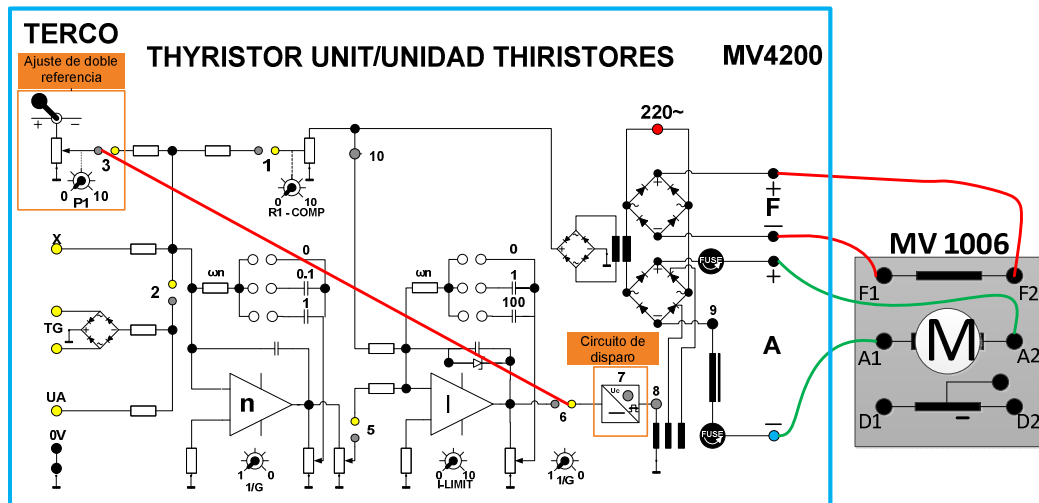


Figura 4.37: Conexiones entre el drive y la caja de borneras del motor DC MV1006 para la variación de velocidad del mismo en lazo abierto.

Se acopla el freno de corrientes de Eddy MV1045 a la máquina DC MV1006. Encender el drive MV4200. Encender el control del equipo MV1045.

Se procede a obtener la curva de regulación de velocidad partiendo de 1000 rpm aproximadamente, sin aplicar carga al motor. Aplicar carga al motor en pasos de un amperio de la corriente de armadura. El procedimiento de uso del freno MV1045 se describe en el capítulo 1. En la tabla 4.1 se muestran los datos correspondientes a la regulación de velocidad. El mínimo voltaje en el nodo 3 para que rote la máquina MV1006 es de aproximadamente 6V. El voltaje en este nodo para estabilizar la máquina MV1006 es aproximadamente 1000 rpm es de 7.74V. La curva de velocidad vs corriente de armadura se muestra en la Fig. 4.38.

Velocidad (RPM)	Corriente de armadura (A)
1012	1.59
785	2
557	3
524	4
497	5
470	6

Tabla 4.1: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en lazo abierto.

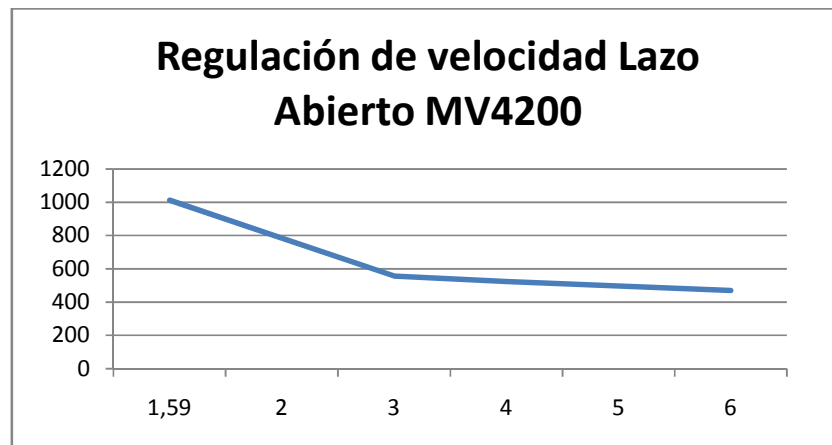


Fig. 4.38: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en lazo abierto.

La Fig. 4.39 muestra el voltaje de campo y el voltaje de armadura. Se muestra el valor de la fuerza contra-electromotriz en el motor DC. La Fig. 4.40 muestra el voltaje de campo y el voltaje de armadura sin considerar el voltaje en el inductor. Se muestra el instante a partir del cual ocurre el disparo de los tiristores. La Fig. 4.41 muestra el voltaje de campo y el voltaje en el inductor. La Fig. 4.42 muestra el voltaje de campo y la corriente de armadura. La Fig. 4.43 muestra el voltaje de campo y el voltaje en el

capacitor que forma parte del circuito disparador, ubicado en el nodo 7 del drive. La Fig. 4.44 muestra el voltaje de campo y el voltaje en el primario del transformador de pulsos que forma parte del circuito disparador, ubicado en el nodo 8 del drive. La Fig. 4.45 muestra el voltaje de campo y el voltaje de referencia ubicado en el nodo 3 del drive.

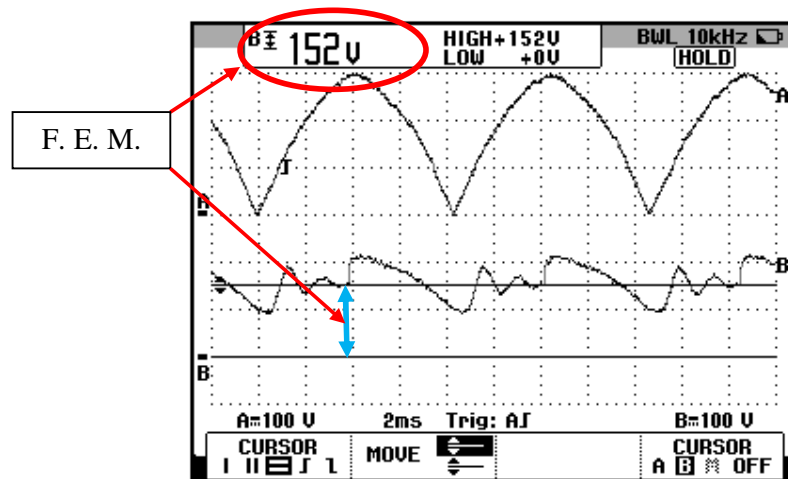


Fig. 4.39: Oscilograma que muestra señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Va+a-)

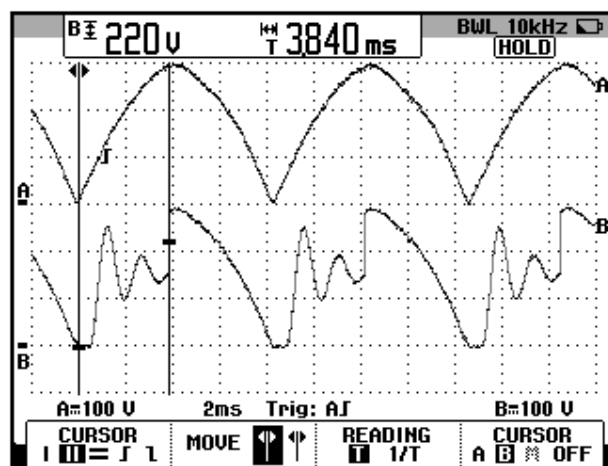


Fig. 4.40: Oscilograma que muestra señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Va+ g)

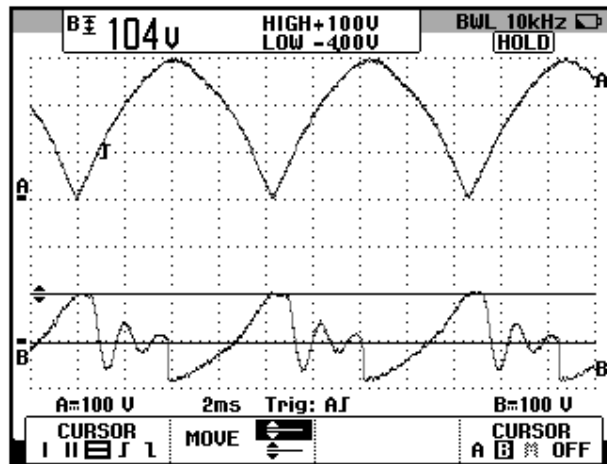


Fig. 4.41: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Vg a+)

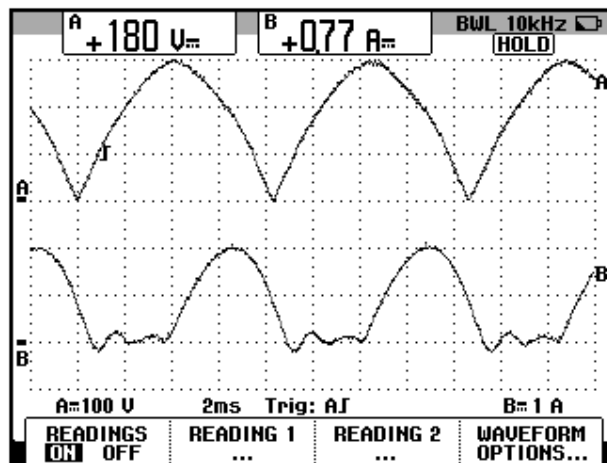


Fig. 4.42: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: Iarmadura)

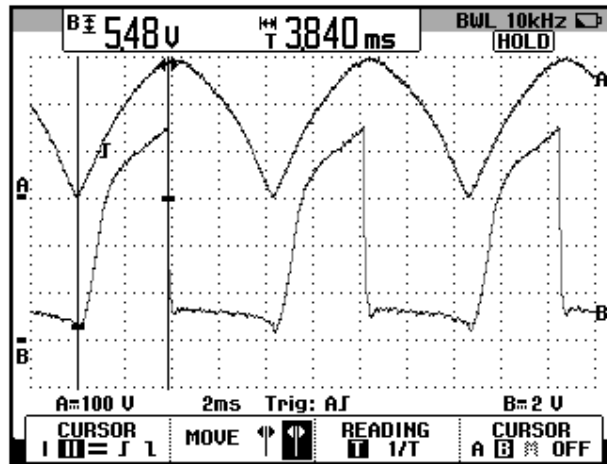


Fig. 4.43: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: V7)

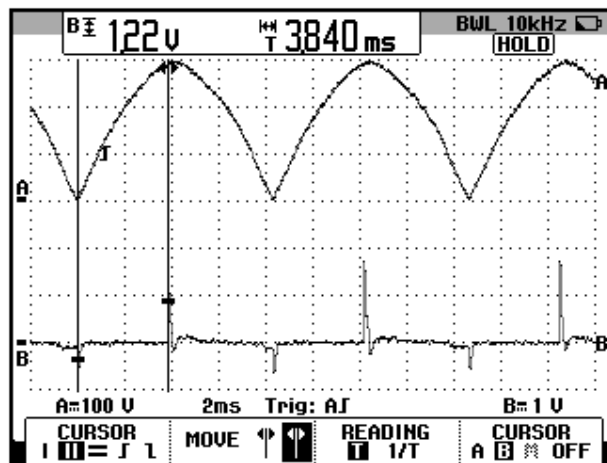


Fig. 4.44: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: Vf+f-, Ch2: V8)

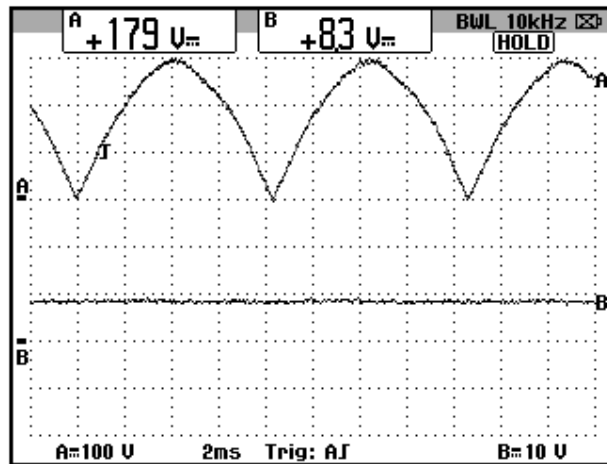


Fig. 4.45: Oscilogramas que muestran señales eléctricas del motor DC (Ch1: V_{f+f-} , Ch2: V_3).

4.8. Control de velocidad por tacómetro con lazo interno de corriente. Sintonización de las ganancias proporcional e integral del controlador PI de velocidad ante cambios bruscos del torque aplicado al eje del motor (velocidad constante y la corriente variable). Cambio en el nivel de corriente máxima solicitada al controlador PI de corriente.

En este experimento, se sintonizan las ganancias proporcional e integral del controlador de velocidad con el fin de optimizar el control de velocidad. Se observa la respuesta en el tiempo de la velocidad y de la corriente ante un cambio súbito del torque aplicado al eje del motor. Se observa el efecto del potenciómetro **I-LIMIT**. Se explica el fundamento del control de velocidad por taco-generador.

En el panel del drive MV4200, ajustar el potenciómetro **1/G** del controlador de velocidad en 1; el potenciómetro **1/G** del controlador de corriente en 1 y el potenciómetro **I-LIMIT** en 6, dado que aquel es el valor de la corriente

nominal del motor DC MV1006. Las escalas de los potenciómetros de ganancia son de 0 a 1, mientras que la escala del potenciómetro **I-LIMIT** es de 0 a 10.

Efectuar las conexiones siguientes mostradas en la Fig. 4.46. Considerar el taco-generador AC MV1025.

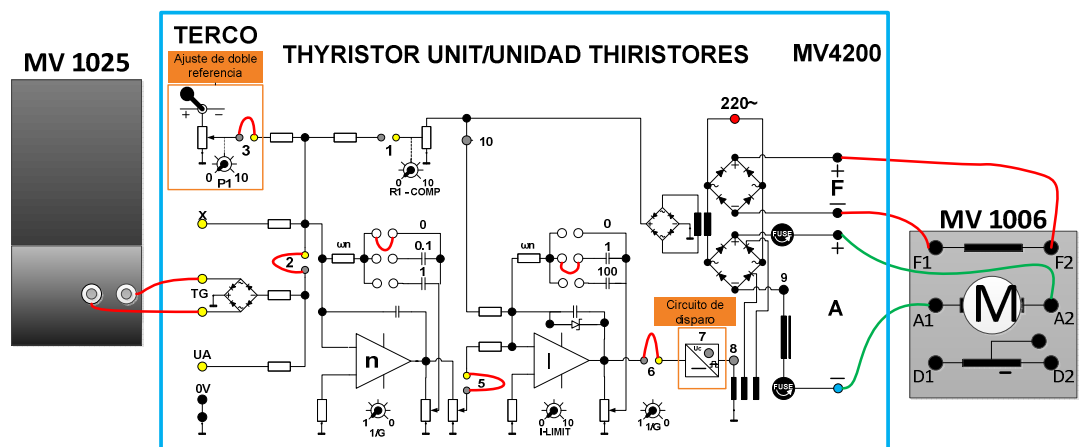


Fig. 4.46: Conexiones en el drive. Conexiones hacia la caja de borneras del motor DC MV1006 y el taco-generador MV1025 para el control de velocidad por tacómetro.

Proceder a aplicar carga al motor empleando el freno MV1025, hasta que la corriente de armadura llegue a 6A, partiendo de una velocidad en vacío de aproximadamente 500 rpm. Realizar este procedimiento con cada ajuste de los capacitores de la ganancia integral y del potenciómetro de la ganancia proporcional del controlador de velocidad; en la tabla 4.2, se muestran estos ajustes y los valores de velocidad a plena carga. Se fija el capacitor de la ganancia integral W_i en 1 y el potenciómetro de la ganancia proporcional de

corriente $1/G_I$ en 1. La velocidad en vacío corresponde a 500 rpm. El potenciómetro de ajuste de corriente máxima I_{LIMIT} en 6.

W_N	0	0	0.1	0.1	1	1
$1/G_N$	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Velocidad a plena carga (rpm)	120	240	475	481	488	494

Tabla 4.2: Ajustes experimentales del controlador PI de velocidad empleando el taco-generador AC para optimizar el control de velocidad

Observar que el óptimo valor de las ganancias de velocidad corresponde a $1/G_N=0.5$ y $W_N=1$. Se puede resumir que un valor intermedio de la ganancia proporcional y un valor máximo de la ganancia integral permiten lograr el mejor control.

En la experimentación siguiente, se muestran los tiempos de estabilización de la velocidad del motor para los diferentes ajustes de $1/G_N$ y W_N . Para ello, luego de fijar $1/G_N$ y W_N , se ajusta la carga del motor hasta que la corriente de armadura sea de 6A. Luego, en el osciloscopio FLUKE 192B desactivar el canal donde se adquiere la corriente de armadura y adquirir en el canal restante, la medición de frecuencia del voltaje AC generado por el taco-generador AC MV1025. A continuación, acceder al menú RECORDER y reducir súbitamente la posición del potenciómetro BRAKE FORCE del control de freno MV1045. Empleando el menú CURSOR, es posible medir el tiempo de estabilización de la frecuencia, la cual es proporcional a la velocidad. Para la siguiente medición, acceder nuevamente al menú SCOPE

y habilitar la medición de corriente de armadura. Repetir este procedimiento para cada ajuste de $1/G_N$ y W_N .

En la Fig. 4.47 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=0$ y $1/G_N=1$. En la Fig. 4.48 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=0$ y $1/G_N=0.5$. En la Fig. 4.49 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=0.1$ y $1/G_N=1$. En la Fig. 4.50 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=0.1$ y $1/G_N=0.5$. En la Fig. 4.51 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=1$ y $1/G_N=1$. En la Fig. 4.52 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$.

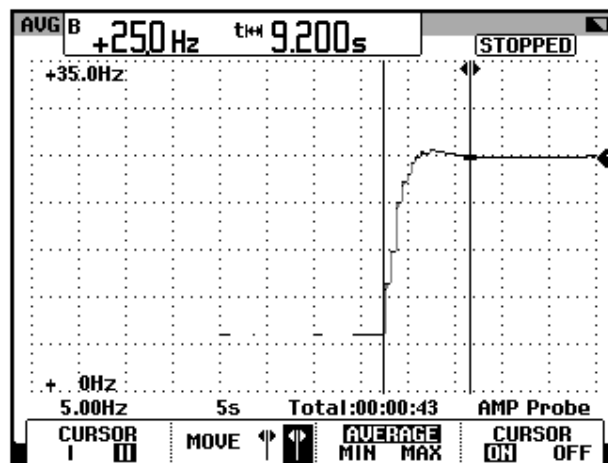


Figura 4.47: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador.

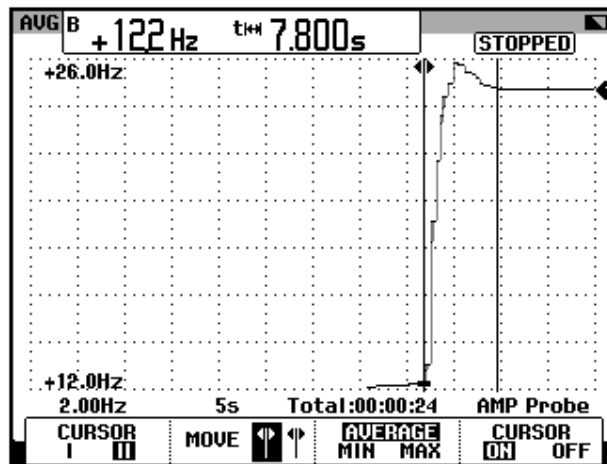


Figura 4.48: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador.

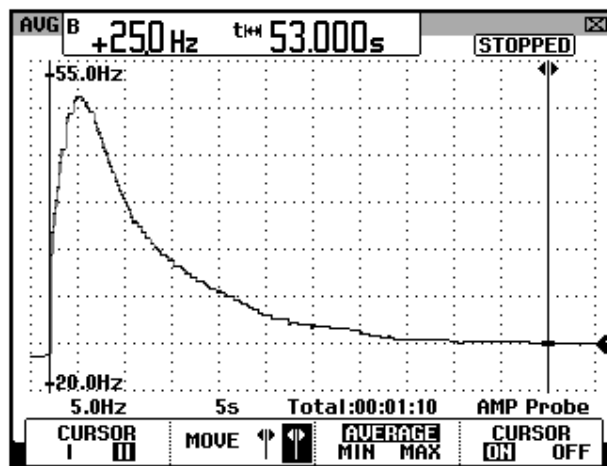


Figura 4.49: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0.1$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador.

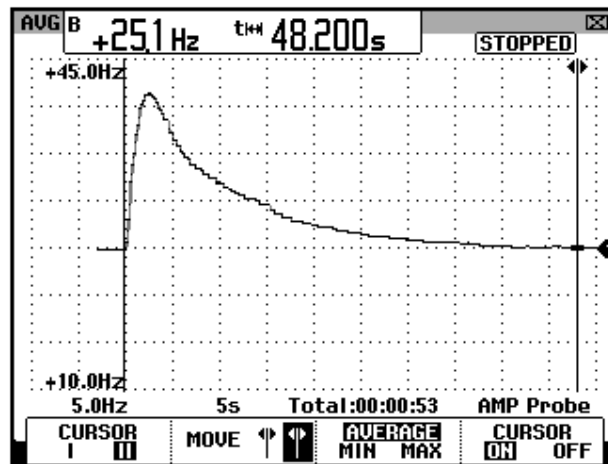


Figura 4.50: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=0.1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador

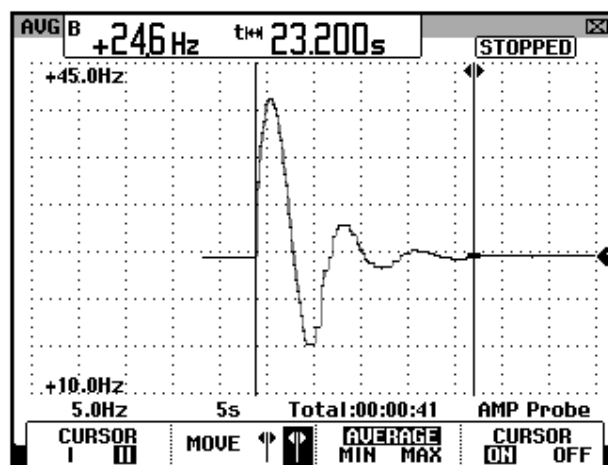


Figura 4.51: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=1$ en el control de velocidad por taco-generador

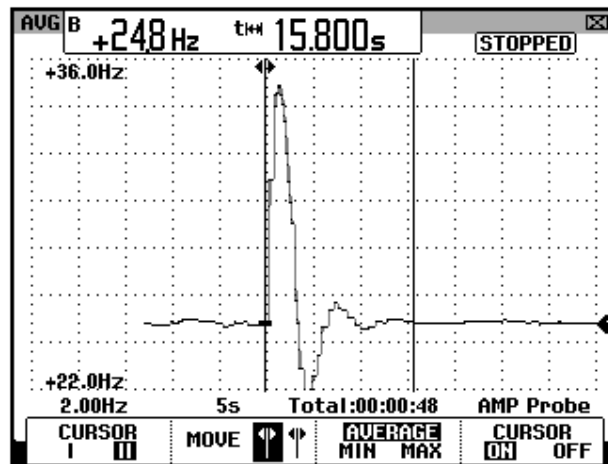


Figura 4.52: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por taco-generador

Mantener los ajustes anteriores de las ganancias proporcional e integral de los controladores de velocidad y corriente. Operar la máquina MV1006 en vacío. Al reducir lentamente la ganancia proporcional $1/G_N$ hasta llegar a cero, se observan oscilaciones en la velocidad, es decir que se llega a la zona de inestabilidad del controlador de velocidad. En la Fig. 4.53 se muestra la oscilación de la frecuencia del voltaje del taco-generador, que representa la oscilación de la velocidad. Luego, se retorna la posición del potenciómetro $1/G_N$ a 0.5 y la frecuencia se estabiliza.

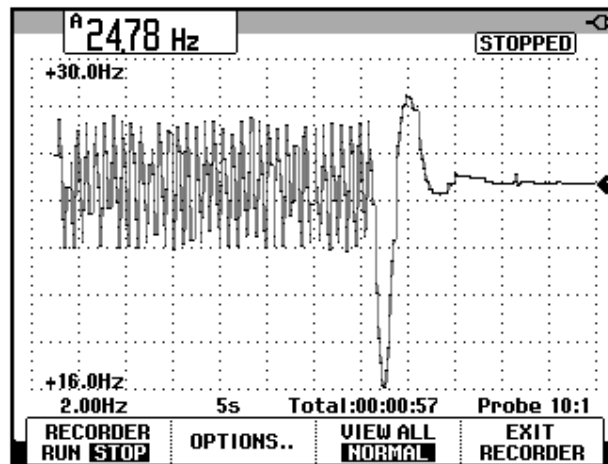


Figura 4.53: Oscilograma que muestra la inestabilidad de la velocidad del motor para una ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0$.

Para observar el efecto del potenciómetro I_{LIMIT} , es necesario provocar un aumento mayor a 6A en la corriente de armadura, el cual corresponde al valor fijado en el potenciómetro I_{LIMIT} . Dado que no es recomendable sobrecargar el motor, ajustaremos el potenciómetro mencionado en 4 y se procederá a observar el efecto en el control de velocidad. Partir con un valor de velocidad en vacío de 500 rpm. Mantener los ajustes óptimos de las ganancias proporcional e integral del controlador de velocidad. Para la adquisición de corriente, emplear la escala de 20ms en el osciloscopio. En la tabla 4.3, se muestra la regulación de velocidad.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.88	502
2.04	500
3.01	500.1
4.04	499.6
4.48	499.8
5.08	498.7
5.57	498.2
5.98	436.9

Tabla 4.3: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=4$.

En la Tabla 4.3, se observa que al alcanzar la corriente nominal, el control de velocidad se pierde.

Repetir el procedimiento pero con el potenciómetro $I_{LIMIT}=2$ para magnificar su efecto sobre el control de velocidad. En la tabla 4.4, se observa que a medida que se aumenta la corriente de armadura, el control de velocidad se pierde. Adicionalmente, se nota que a pesar de ajustar el potenciómetro BRAKE FORCE del control de freno MV1045, en la posición máxima, la corriente de armadura no aumenta considerablemente. Con esto se concluye, que el potenciómetro I_{LIMIT} limita el incremento de corriente de armadura.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.89	501.5
2.04	300.6
3	77.83
3.12 (Pot. Brake Force en máximo)	55.17

Tabla 4.4: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=2$.

A continuación, se apreciará el efecto del controlador de corriente en el control de velocidad. Emplear el óptimo valor de las ganancias de velocidad, es decir $1/G_N=0.5$ y $W_N=1$. Ajustar el potenciómetro I_{LIMIT} en 6. La velocidad en vacío de las mediciones corresponde a 500 rpm. Mantener $W_I=1$. La prueba para cada ajuste del potenciómetro $1/G_I$, consiste en ajustar el potenciómetro BRAKE FORCE hasta lograr una corriente de armadura de 4A; luego, se reduce rápidamente este potenciómetro al mínimo y se mide el tiempo de estabilización de la corriente.

Para la captura de estos oscilogramas, es necesario emplear el modo RECORDER del osciloscopio FLUKE 192B. Al presionar el botón A o B del osciloscopio, presionar F4, correspondiente a INPUT A OPTIONS, para acceder a la opción BANDWIDTH y elegir la alternativa 10KHz (HF REJECT).

En la Fig. 4.54, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_I=0.2$ y $W_I=1$. En la Fig. 4.55, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$. En la Fig. 4.56, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura

para $1/G_1=0.7$ y $W_1=1$. En la Fig. 4.57, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_1=1$ y $W_1=1$.

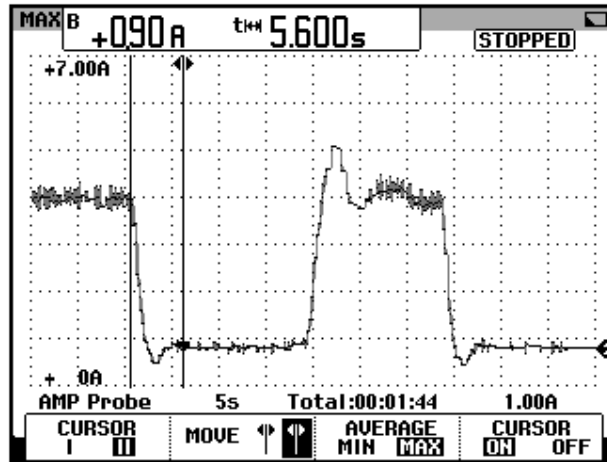


Figura 4.54: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_1=0.2$ y $W_1=1$ en el control de velocidad del método por taco-generador.

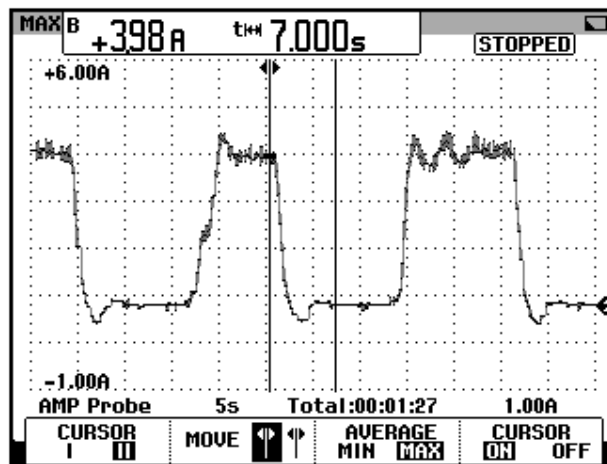


Figura 4.55: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_1=0.5$ y $W_1=1$ en el control de velocidad por taco-generador.

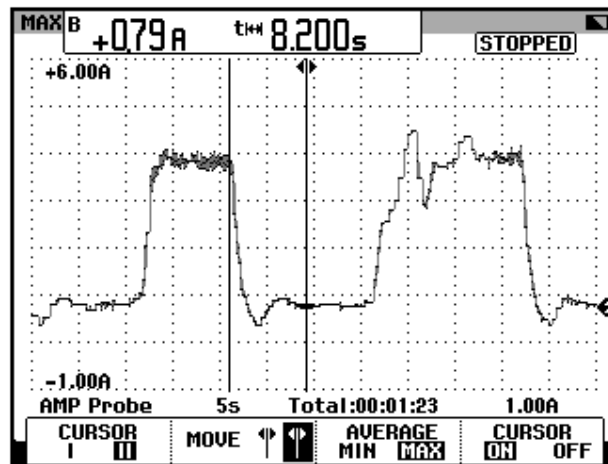


Figura 4.56: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.7$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador

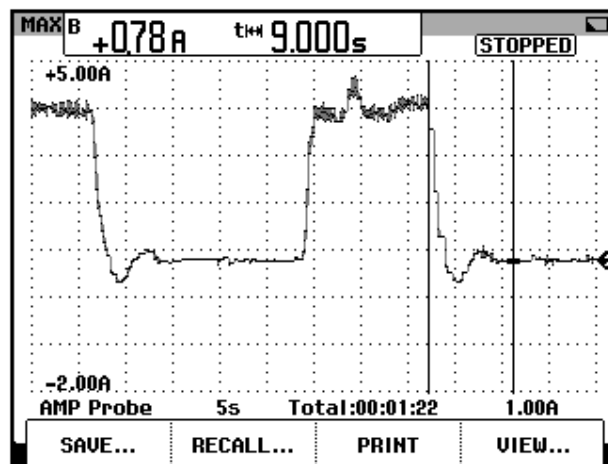


Figura 4.57: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=1$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador

Se comprueba que a medida que la ganancia proporcional de corriente aumenta, el tiempo de estabilización también lo hace.

Adicionalmente, en la Fig. 4.58 se muestra un oscilograma mostrando la inestabilidad del controlador a medida que la ganancia proporcional $1/G_I$ disminuye. Simultáneamente, es posible escuchar vibraciones en el motor DC debido a los cambios bruscos de torque eléctrico. El valor de $1/G_I$ es 0.08 y el de W_I es 1. No es recomendable operar el motor con este ajuste del controlador de corriente. El valor pico de la corriente es 6A.

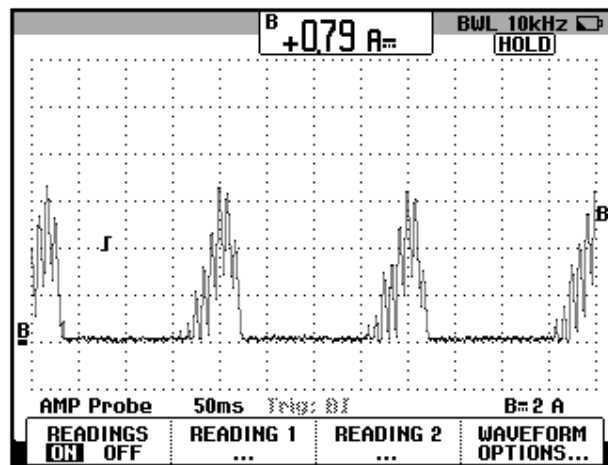


Figura 4.58: Oscilograma que muestra la inestabilidad del controlador de corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.08$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por taco-generador

A continuación, se modificará la ganancia integral W_I . La prueba es similar a la realizada previamente en la sintonización de la ganancia proporcional $1/G_I$. En la Fig. 4.59, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente ante un cambio en la carga. El ajuste corresponde a $1/G_I=0.5$ y $W_I=0$. En la Fig. 4.60, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente ante un cambio en la carga. El ajuste corresponde a $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$. En la Fig. 4.61, se muestra la inestabilidad de la corriente de armadura para el ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$. Se aplica un ligero aumento del potenciómetro

BRAKE FORCE y se alcanza la inestabilidad. El valor pico de la corriente es 8A.

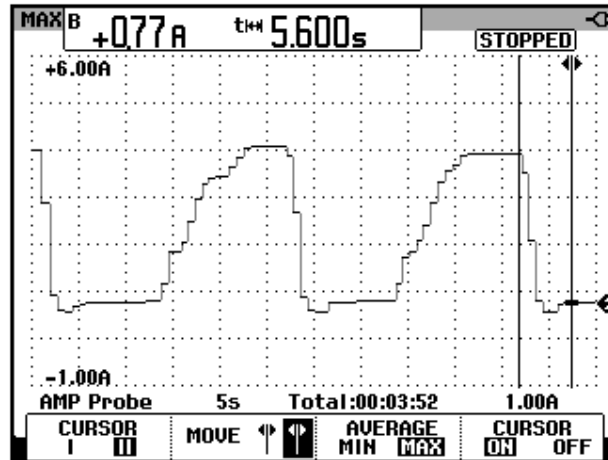


Figura 4.59: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_1=0.5$ y $W_1=0$ en el control de velocidad por taco-generador

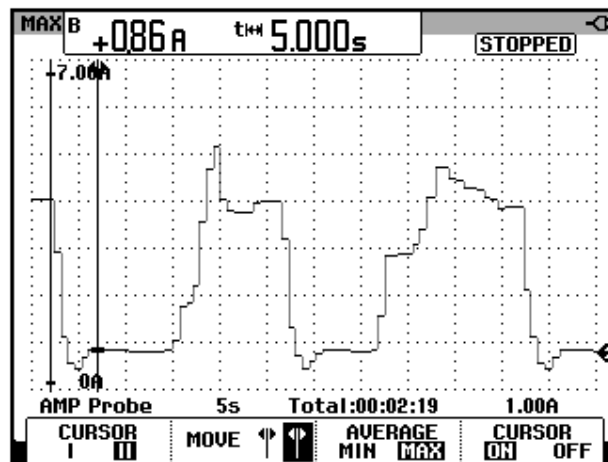


Figura 4.60: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_1=0.5$ y $W_1=1$ en el control de velocidad por taco-generador

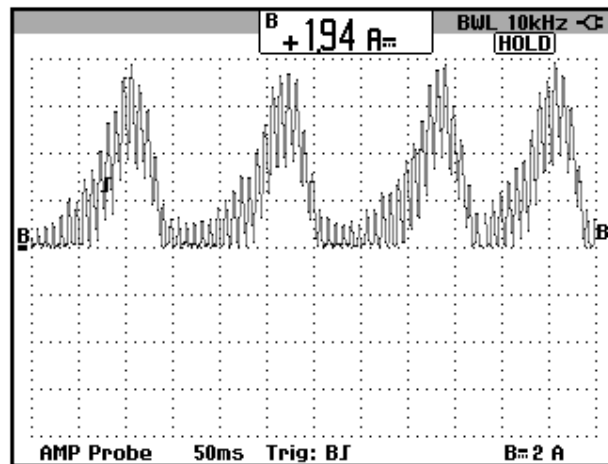


Figura 4.61: Oscilograma que muestra la inestabilidad de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$ en el control de velocidad por taco-generador

Se observa que al aumentar la ganancia integral, el tiempo de estabilización de la corriente de armadura se reduce pero un aumento considerado puede llevar al controlador de corriente a la zona de inestabilidad.

El fabricante del equipo TERCO MV4200, sugiere emplear el siguiente ajuste del controlador de corriente: $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$.

Luego de la experimentación, se procede a explicar las conexiones realizadas. En primer lugar, se explica la formación de la señal de error que es enviada al controlador de velocidad. Para formar la señal de error se requiere obtener la diferencia entre una señal de referencia y una señal real. La señal de referencia proviene del bloque de ajuste de doble referencia y la señal real proviene del taco-generador AC. Por este motivo, es necesario cortocircuitar las borneras 2 y 3. Observar la Fig. 4.62 que resalta las

conexiones, polaridades y sentidos de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente.

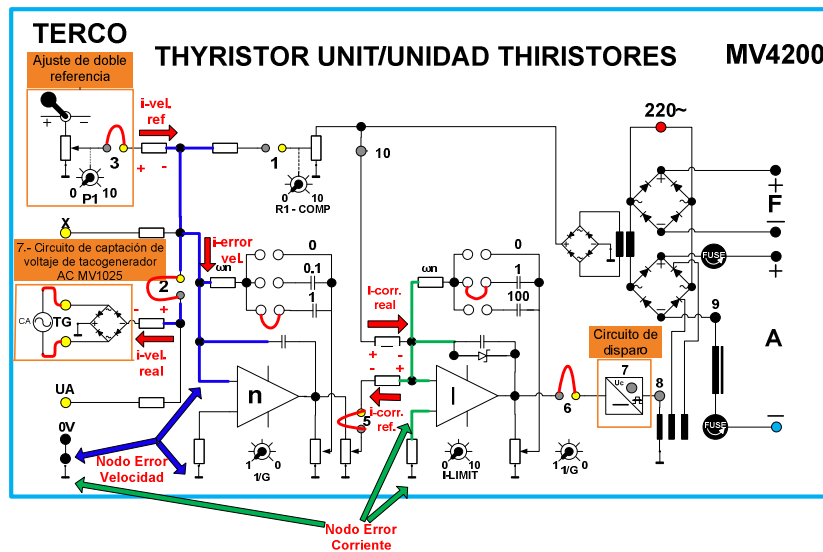


Figura 4.62: Conexiones en el drive MV4200 indicando la polaridad de voltaje y sentido de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente para el control de velocidad por el método de tacogenerador

Se analiza en primer lugar el controlador de velocidad. Se asume que al realizarse el control, el mismo opera en zona lineal. Por este motivo, el voltaje diferencial es cero, en las terminales de entrada. Se observa que existe una resistencia conectada a la referencia del circuito de control y también a la terminal positiva del OPAMP de velocidad; debido a la linealidad del OPAMP, esto indica que el voltaje en la terminal positiva de entrada del OPAMP de velocidad es también el de la referencia del circuito de control, es decir, cero voltios. Se observa que existe un nodo de color azul, el voltaje en este nodo es de cero voltios. El sentido de la corriente que circula a través de la resistencia ubicada junto a la bornera # 3, tiene el

sentido mostrado en la Fig. 4.62, dado que en el bloque de ajuste de doble referencia, el divisor de tensión aporta con una tensión positiva. Este es el motivo por el cual el selector de polaridad debe colocarse en positivo. De esta forma, se aporta con una corriente que ingresa al nodo de error de velocidad. Con respecto al sentido de la corriente que circula hacia el puente rectificador del voltaje del taco-generador, tiene el sentido mostrado, dado que el puente aporta con un voltaje negativo. De esta forma se aporta con una corriente que sale del nodo de error de velocidad. La diferencia de estas dos corrientes, genera una corriente que ingresa hacia el controlador de velocidad; esta corriente representa el error de velocidad. Un análisis similar se puede realizar para el controlador de corriente; considerar que la corriente que representa la señal real de corriente de armadura ingresa al nodo de error de corriente y que la corriente que representa la señal de referencia de corriente de armadura, sale del nodo de error de corriente, produciéndose así la diferencia entre ambas que representan el error de corriente de armadura. Para verificar, que la corriente que representa la referencia de corriente sale del nodo de error de corriente, se muestra la Fig. 4.63, la cual muestra una medición de voltaje negativo en el puente 5 con respecto a la referencia del circuito de control; para la medición, se opera el motor en vacío a 500 rpm.

Adicionalmente, se comprueba que el controlador de velocidad impone la referencia al controlador de corriente. Es necesario controlar la corriente de armadura del motor para evitar cambios bruscos en el torque inducido que perjudiquen a la carga mecánica.

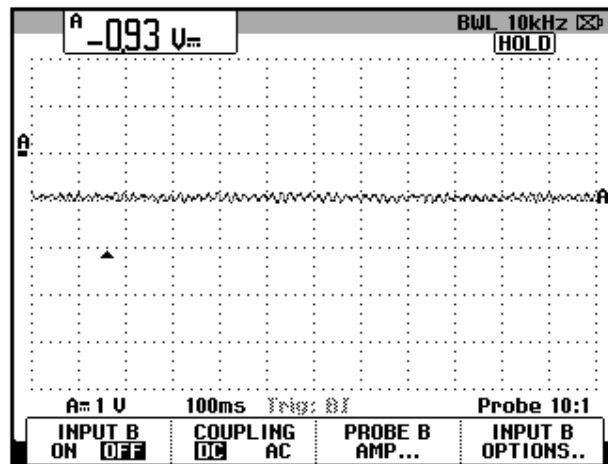


Figura 4.63: Medición de voltaje negativo en el puente 5 para comprobación del sentido de la corriente de referencia del controlador de corriente. (Ch1: V5)

4.9. Control de velocidad por el método de compensación IXR, con lazo interno de corriente. Sintonización de las ganancias proporcional e integral del controlador PI de velocidad ante cambios bruscos del torque aplicado al eje del motor (velocidad constante y la corriente variable). Cambio en el nivel de corriente máxima solicitada al controlador PI de corriente. Método de ajuste de la compensación IXR.

En este experimento, se procederá a observar el efecto del potenciómetro **IR-COMP**, en la regulación de velocidad. Se observará la respuesta en el tiempo de la corriente ante un cambio súbito del torque aplicado al eje del motor. Se observará el efecto del potenciómetro **I-LIMIT**. Se explica el fundamento del control de velocidad por compensación IxR.

Efectuar las conexiones siguientes mostradas en la Fig. 4.64.

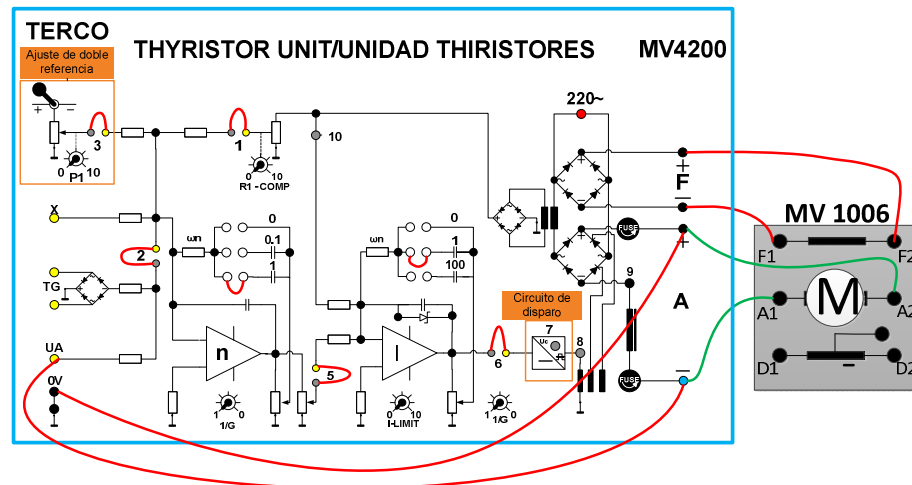


Figura 4.64: Conexiones en el drive. Conexiones hacia la caja de borneras del motor DC MV1006 y el taco-generador MV1025 para el control de velocidad por el método IXR.

En el panel del drive MV4200, emplear el ajuste óptimo del controlador de velocidad, es decir $1/G_N = 0.5$ y $W_N = 1$; con respecto al controlador de corriente, emplear el ajuste sugerido por el fabricante del drive, es decir $1/G_I = 0.5$ y $W_I = 1$. Ajustar el potenciómetro I-LIMIT en 6. Fijar el potenciómetro RI-COMP en 0.

A continuación, operar el motor en vacío a 500 rpm y aumentar la corriente de armadura hasta que la misma sea de 6A; notar la disminución de velocidad. La tabla 4.5 muestra la regulación de velocidad, en pasos de 1A.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.71	500.9
2.08	465.5
2.90	445.2
4.06	416.8
5.08	393.9
6.06	371.4

Tabla 4.5: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 para el control de velocidad por el método IXR y RI-COMP=0KΩ.

Luego, ajustar el potenciómetro RI-COMP hasta que la velocidad retorne a la velocidad de vacío, es decir, 500 rpm; el valor experimental de la corriente de armadura aumenta a 6.55A. Se ha encontrado un valor experimental de RI-COMP que permite mejorar el control de velocidad. Retornar el motor a su operación en vacío. La regulación de velocidad con el nuevo valor de RI-COMP se muestra en la Tabla 4.6; reajustar la velocidad en vacío a 500rpm. Apagar el drive, desconectar el puente 1. El valor parcial de la resistencia RI-COMP es de 1.54KΩ.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.78	502
1.99	481.1
3.17	468.8
3.97	460.7
5.02	454.4
6.03	447.7

Tabla 4.6: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 para el control de velocidad por el método IXR y RI-COMP=1.54KΩ.

Comparando la Tabla 4.5 y 4.6, se observa que el control de velocidad mejora al regular el potenciómetro RI-COMP. Finalmente, comparando la tabla 4.2 y 4.6, se puede confirmar que el control de velocidad por el método de taco-generador es más efectivo que el control de velocidad por el método IXR. La ventaja del método IXR consiste en descartar el uso de un taco-generador, sin embargo, su regulación de velocidad es menor que en el control de velocidad por taco-generador.

En base al procedimiento similar descrito en la sección anterior, la corriente de armadura parte de 4A, previo al retiro de la carga al motor. En la Fig. 4.65 se muestra la medición del tiempo de estabilización de la velocidad para $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$. Se observa el efecto del potenciómetro I_{LIMIT} empleando este método de control. La regulación de velocidad para $I_{LIMIT}=4$, se muestra en la tabla 4.7. Partir con una velocidad en vacío de 500 rpm y mantener el ajuste encontrado del potenciómetro RI-COMP.

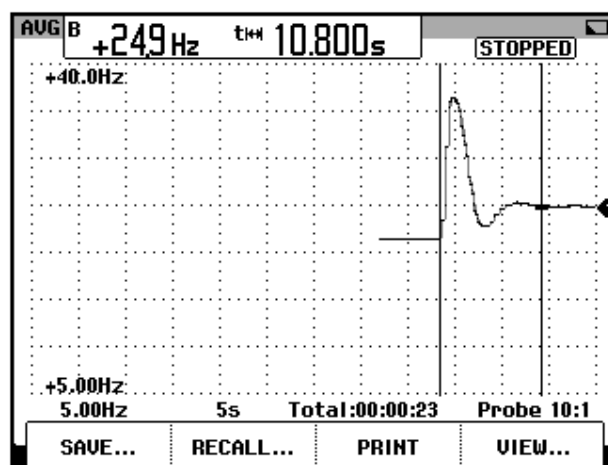


Figura 4.65: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la velocidad con un ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0.5$ en el control de velocidad por el método IXR.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.68	499.6
1.98	476.9
2.93	468.1
3.96	460
5.08	450.1
6.00	443.8

Tabla 4.7: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=4$.

Se modifica el ajuste del potenciómetro I_{LIMIT} a 2. Nuevamente, partir con una velocidad en vacío de 500 rpm y mantener el ajuste encontrado del potenciómetro RI-COMP. Ajustar la escala de tiempo del osciloscopio en 100ms. En la tabla 4.8 se muestra la regulación de velocidad.

Corriente de armadura (A)	Velocidad (RPM)
0.76	497.3
1.99	271
2.98 (Pot. Brake Force en máximo)	55.7

Tabla 4.8: Regulación de velocidad empleando el drive MV4200 en el control de velocidad por taco-generador con el ajuste del potenciómetro $I_{LIMIT}=2$.

Al igual que en el control de velocidad por taco-generador, el potenciómetro I_{LIMIT} permite limitar la corriente de armadura.

A continuación, se apreciará el efecto del controlador de corriente en el control de velocidad. Mantener el ajuste de las ganancias del controlador de

velocidad, es decir $1/G_N=0.5$ y $W_N=1$. Ajustar el potenciómetro I_{LIMIT} en 6. La velocidad en vacío de las mediciones corresponde a 500 rpm. Mantener $1/G_I=0.5$. La prueba para cada ajuste de W_I , consiste en ajustar el potenciómetro BRAKE FORCE hasta lograr una corriente de armadura de 4A; luego, se reduce rápidamente este potenciómetro al mínimo y se mide el tiempo de estabilización de la corriente.

Para la captura de estos oscilogramas, es necesario emplear el modo RECORDER del osciloscopio FLUKE 192B.

En la Fig. 4.66, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_I=0.5$ y $W_I=0$. En la Fig. 4.67, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$. En la Fig. 4.68, se muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura para $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$.

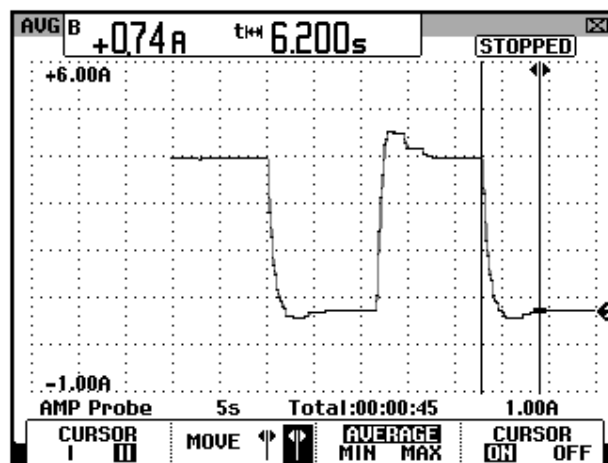


Figura 4.66: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=0$ en el control de velocidad por el método IXR.

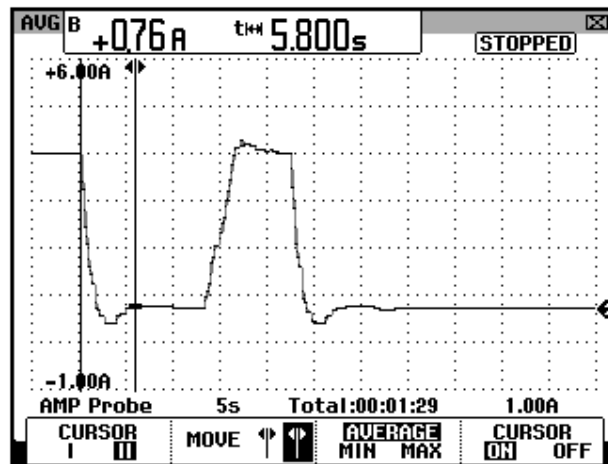


Figura 4.67: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=1$ en el control de velocidad por el método IXR.

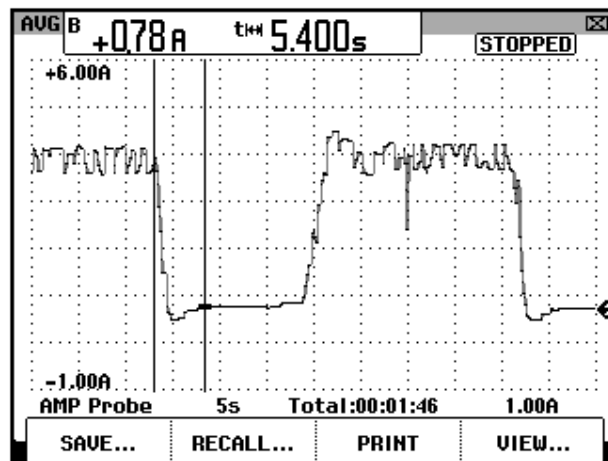


Figura 4.68: Oscilograma que muestra el tiempo de estabilización de la corriente de armadura con un ajuste de $1/G_I=0.5$ y $W_I=100$ en el control de velocidad por el método IXR.

Previo a la explicación de las conexiones realizadas, se explica el fundamento del control de velocidad IxR. En primer lugar es necesario obtener una diferencia entre una señal de referencia y una señal real; esta

diferencia debe ser enviada al circuito controlador. El punto de suma, se lo muestra en la Fig. 4.69:

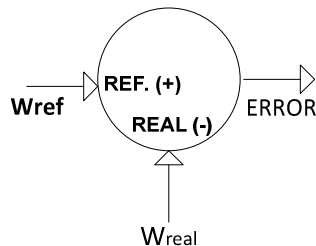


Figura 4.69: Punto de suma para la formación del error hacia el controlador de velocidad en el método IxR.

Observar que se debe garantizar que la señal ω_{REAL} ingrese al punto de suma de forma inversa. Se tiene entonces que:

$$\text{señal}(\text{Error}) = \text{señal}(\omega_{SP}) - \text{señal}(\omega_{REAL}) \quad (4.6)$$

Relacionando la ecuación 4.1 y 4.4, se obtiene que:

$$K\Phi W_{REAL} = V_T - IaRa \quad (4.7)$$

Dado que se debe generar una señal de error en la ecuación 4.6, se requiere entonces un término que sea proporcional a la señal (w_{sp}): el cual es $K\Phi W_{SP}$. Así mismo, se requiere un término que sea proporcional a la velocidad real, el cual es $K\Phi W_{REAL}$; en este caso, el factor $K\Phi$ no afecta puesto que es constante dado K depende de la construcción del motor y Φ es un flujo constante debido a que el voltaje DC que alimenta al campo, es entregado por un puente rectificador monofásico no controlado. De esta forma, en base a la ecuación 4.6 y 4.7, la señal de error se muestra en la ecuación 4.8.

$$K\Phi W_{ERROR} = K\Phi W_{SP} - K\Phi W_{REAL}$$

$$K\Phi W_{ERROR} = K\Phi W_{SP} - V_T + I_A R_A \quad (4.8)$$

De esta forma el punto de suma se modifica y el mismo se muestra a continuación.

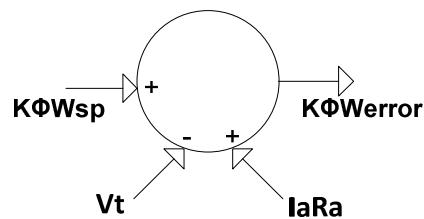


Figura 4.70: Modificación del punto de suma para la formación del error hacia el controlador de velocidad en el método IXR.

En la figura anterior se observa, que para obtener la señal de error, se requiere ingresar una señal de referencia y también el voltaje terminal o de armadura con polaridad opuesta y además, el producto entre la corriente de armadura y la resistencia de armadura. Este punto de suma es el que se requiere implementar con las conexiones en el panel frontal del drive.

Las conexiones que indican la polaridad de voltaje y sentido de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente para el control de velocidad por el método IXR se muestra en la Fig. 4.71. Un análisis similar al realizado en la Fig. 4.62 se puede realizar para la Fig. 4.71. Con respecto al circuito de captación de la corriente de armadura, se observa que se dispone de un transformador de corriente, que en su primario adquiere la corriente que ingresa al puente rectificador semi-controlado, que alimenta la armadura del motor DC; la

corriente en mención no tiene nivel DC como se muestra en la Fig. 3.54 del capítulo 3, por lo que debe ser rectificada. El puente rectificador del circuito de captación de corriente de armadura, realiza esta función, dado que en el secundario del transformador de corriente se genera un voltaje proporcional a la corriente adquirida por el primario. Este voltaje rectificado es enviado hacia la resistencia RI-COMP; este potenciómetro representa la resistencia de armadura del motor. Dado que la resistencia de armadura varía de acuerdo al motor MV1006 conectado, se requiere un potenciómetro ubicado en el circuito de control del drive para ajustar su valor al de la resistencia de armadura del motor empleado.

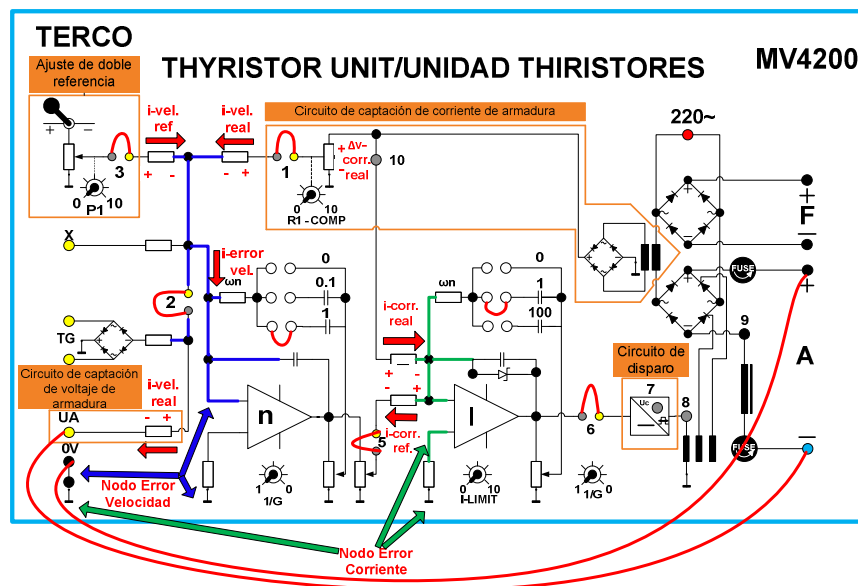


Figura 4.71: Conexiones en el drive MV4200 indicando la polaridad de voltaje y sentido de corriente en las resistencias que intervienen en la formación de las señales de error de velocidad y corriente para el control de velocidad por el método IXR.

CAPÍTULO 5

SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES MONOFASICOS TOTALMENTE CONTROLADOS PARA OPERACIÓN EN CUATRO CUADRANTES

En el presente capítulo, se identifica las secciones importantes de un circuito electrónico de un controlador de velocidad profesional de motor DC basado en un rectificador monofásico totalmente controlado para operación en cuatro cuadrantes. Se analiza el diagrama eléctrico del panel. Se observa la regulación de velocidad empleando los dos métodos de control de velocidad, se visualizan oscilogramas donde es posible observar la variación de corriente de armadura durante frenado regenerativo y dinámico.

5.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indica a continuación:

- Panel eléctrico Fincor MKII 2236
- Motor DC MV1006
- Tacogenerador DC MV1024
- Freno por corrientes de Eddy TERCO MV1045
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Multímetro FLUKE 87V
- Cables de tipo banana

5.2. Presentación del panel eléctrico Fincor.

En la Fig. 5.1 se muestra una imagen de los dos paneles eléctricos Fincor del Laboratorio de Electrónica de Potencia.



Figura 5.1: Paneles eléctricos Fincor: original (izquierda) y réplica (derecha).

En la Fig. 5.2 se muestra una imagen de la parte posterior del panel eléctrico Fincor original.



Figura 5.2: Parte posterior del panel eléctrico Fincor original.

En el panel eléctrico original, está montada la tarjeta FINCOR MKII 2236 de código de inventario: 2011-91905; en el panel eléctrico réplica, está montada la misma tarjeta pero de código de inventario 2011-91904.

En la Fig. 5.3, se muestra una vista del panel frontal del panel eléctrico FINCOR MKII 2236. En la Fig. 5.4, se muestra una vista del disyuntor principal de 10A, dos porta-fusibles de 32A, y el contactor de 10A con sus contactos auxiliares. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 5.5, se muestra el modelo del fusible rápido a colocarse en el porta-fusible de 32A. Se requiere un par de este tipo de fusible. El fusible rápido es requerido para protección del drive FINCOR MKII 2236. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 5.6, se muestra información del contactor provista por el fabricante Telemecanique.

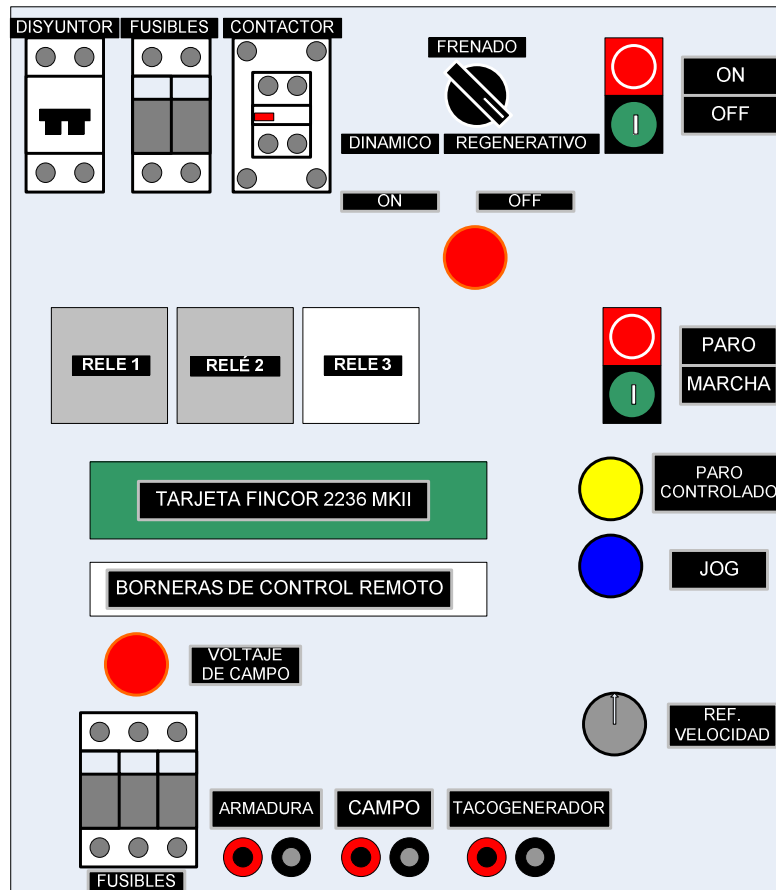


Figura 5.3: Vista frontal del panel eléctrico Fincor.

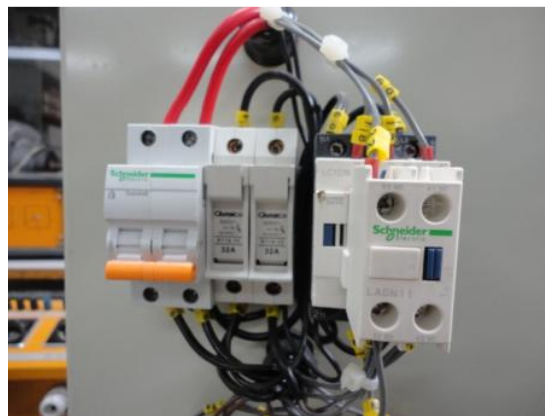


Figura 5.4: Disyuntor 10A, porta-fusibles 32A y contactor con contacto auxiliar.



Figura 5.5: Fusible rápido de 10A.



Figura 5.6: Información del contactor de 10A.

En la Fig. 5.6, se muestran tres relés. De izquierda a derecha se los numera como relé 1, relé 2 y relé 3. El relé 3 es empleado para realizar el intercambio de la conexión de la armadura del motor hacia las terminales A1 y A2 del drive ó hacia las terminales M1 y M2 del drive, por ello la capacidad

de sus contactos auxiliares es de 10A. Las terminales A1 y A2 se ubican en la bornera TB1 y las terminales M1 y M2 se ubican en la bornera TB7. Esto se aprecia en el diagrama eléctrico A mostrado en la figura 5.14. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 5.7 se observan las características del relé 1 y 2 y la numeración de las terminales de los contactos auxiliares. Imagen tomada del panel réplica.



Figura 5.6: Relés 1, 2 y 3.



Figura 5.7: Características de los relés 1 y 2 y numeración de conexiones de los contactos auxiliares.

En la Fig. 5.8 se observa el socket para la conexión de los relés 1 y 2. En la misma, junto a los tornillos se ubican la numeración de los terminales de los contactos auxiliares del relé. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 5.9 se observan las características del relé 3 y la numeración de las terminales de los contactos auxiliares. Imagen tomada del panel réplica. La capacidad de corriente de los contactos de este relé es de 10A.

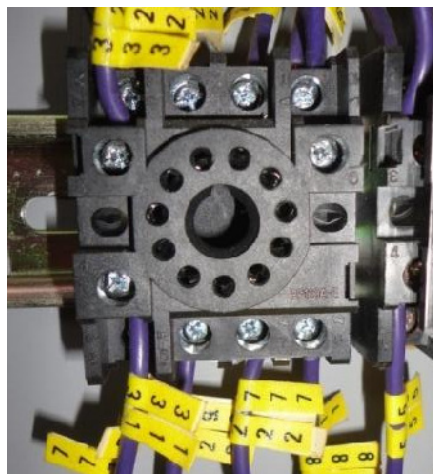


Figura 5.8: Socket para la conexión de los relés 1 y 2.



Figura 5.9: Características del relé 3 y numeración de conexiones de los contactos auxiliares.

En la Fig. 5.10 se observa el socket para la conexión del relé 3. En la misma, junto a los tornillos se ubica la numeración de los terminales de los contactos auxiliares del relé; se considera el estándar NEMA en los diagramas eléctricos A y B de las figuras 5.14 y 5.15. Imagen tomada del panel réplica.

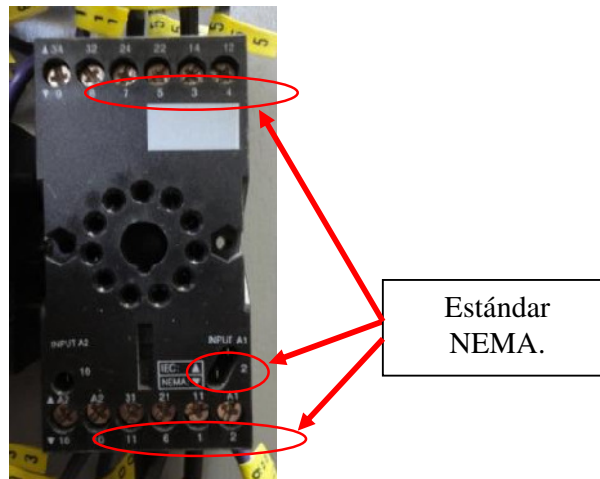


Figura 5.10: Socket para la conexión del relé 3.

En la Fig. 5.11 se observan dos porta-fusibles para la armadura del motor y un porta-fusible para el campo del motor. Adicionalmente, se observa la luz piloto de indicación de habilitación del voltaje de campo en las borneras de conexión hacia el circuito de campo del motor DC; también se observan las borneras de conexión hacia el taco-generator DC. La polaridad es determinada con el drive funcionando; esto se revisará posteriormente.



Figura 5.11: Porta-fusibles de campo y armadura, luz piloto de habilitación de voltaje de campo y borneras de conexión hacia el tacogenerador, campo y armadura del motor DC.

Para el campo y la armadura se emplean fusibles rápidos de 1A y de 10A respectivamente.

En la Fig. 5.12 se muestra una imagen que muestra el selector de frenado SEL, las botoneras ON, OFF, MARCHA, PARO, PARO CONTROLADO, JOG y el potenciómetro de referencia de velocidad.



Figura 5.12: Selector de frenado SEL, las botoneras ON, OFF, MARCHA, PARO, PARO CONTROLADO, JOG y el potenciómetro de referencia de velocidad.

En la Fig. 5.13 se muestra la conexión de las borneras de control remoto. Estas borneras permiten conectar contactos externos que funcionan en paralelo con las botoneras ON, OFF, PARO, MARCHA, PARO CONTROLADO, JOG. En el diagrama eléctrico B de la Fig. 5.15, se comprueba el tipo de contacto externo que se debe conectar, es decir, normalmente abierto o cerrado; se han colocado tres puentes externos que reemplazan a los contactos externos normalmente cerrado.

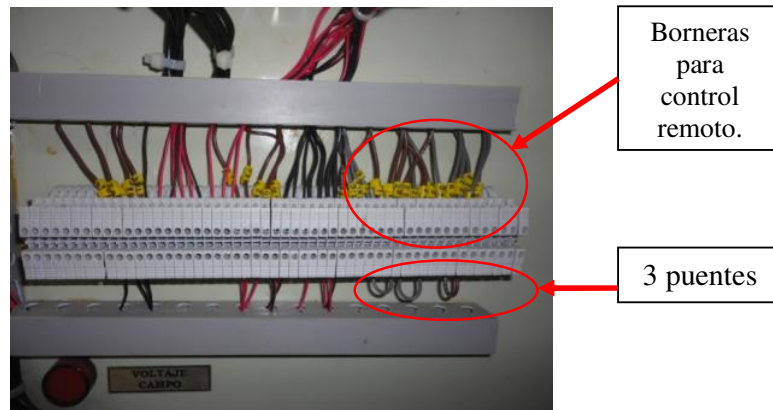


Figura 5.13: Borneras para control remoto y puentes externos.

En la Fig. 5.14 se muestra el diagrama de conexiones eléctricas hacia las borneras TB1 y TB7 del drive. En la Fig. 5.15 se muestra el diagrama de conexiones eléctricas hacia las borneras TB2 y TB5 del drive.

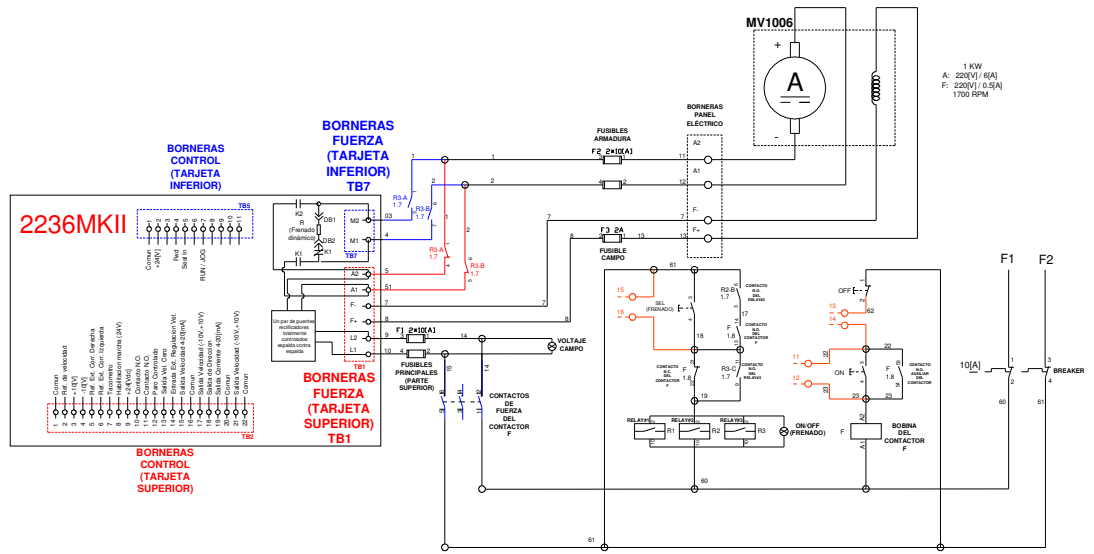


Figura 5.14: Diagrama eléctrico A: conexión hacia las borneras de fuerza TB1 y TB7 de las tarjetas electrónica superior e inferior del drive 2236 MKII.

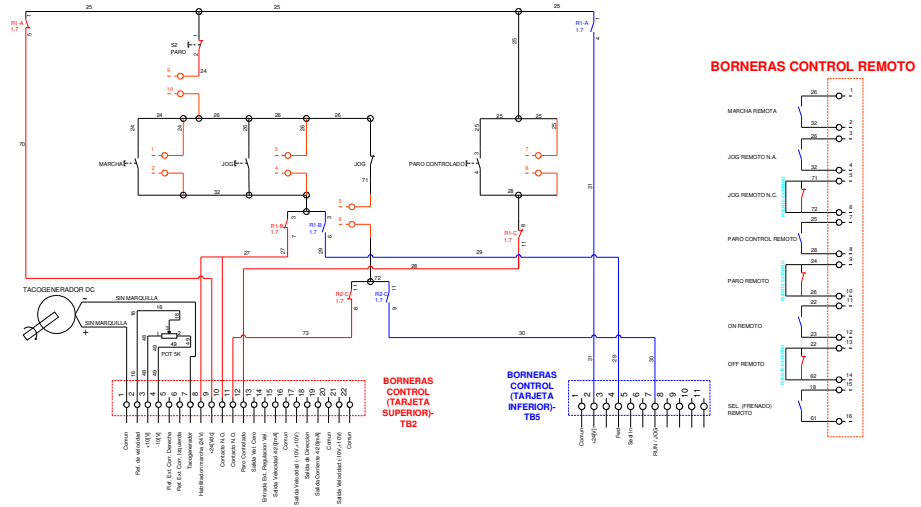


Figura 5.15: Diagrama eléctrico B: conexión hacia las borneras de fuerza TB2 Y TB5 de las tarjetas electrónica superior e inferior del drive 2236 MKII

El tablero eléctrico FINCOR permite emplear la tarjeta FINCOR 2236 MKII para que realice frenado dinámico y frenado regenerativo. Se procede a

analizar la lógica de relés mostrada en los diagramas eléctricos A y B de las figuras 5.4 y 5.5 respectivamente. En primer lugar se observa el diagrama A: al accionar el disyuntor, es posible seleccionar entre los dos tipos de frenado; si luego se presiona la botonera ON, no es posible realizar el cambio de tipo de frenado. Al presionar la botonera ON, se acciona la bobina del contactor, lo cual permite que el contacto auxiliar normalmente cerrado del mismo mantenga encendida a la bobina. En el caso de haber elegido el frenado regenerativo, el contacto SEL permanece abierto y la luz piloto ON/OFF, así como los relés R1, R2 y R3 permanecen sin energía; si luego, se presiona la botonera ON, el contacto normalmente cerrado del contactor F permanece abierto imposibilitando el cambio de tipo de frenado. Por el contrario, si se ha elegido el frenado dinámico, el contacto SEL permanece cerrado y la luz piloto ON/OFF, así como los relés R1, R2 y R3 se energizan; si a continuación, se presiona la botonera ON, se mantienen energizados estos elementos a través de los contactos normalmente abiertos del relé 2, del relé 3 y del contacto auxiliar normalmente abierto del contactor, imposibilitando el apagado de los relés R1, R2, R3 y la luz piloto ON/OFF. Al accionar la botonera ON, se energiza la tarjeta FINCOR y se enciende la luz piloto VOLTAJE CAMPO indicando que es posible conectar las terminales de campo al motor.

En el diagrama eléctrico B de la Fig. 5.15, se muestra la conexión de las botoneras de PARO, MARCHA, PARO CONTROLADO, JOG y la del potenciómetro de referencia de velocidad. Adicionalmente, se pueden distinguir dos borneras: TB2 y TB5. La bornera TB2 corresponde a la

bornera de control de la tarjeta electrónica superior y en ella se controla la marcha, avance gradual o jog y paro controlado; mientras que la bornera TB5 corresponde al control de la tarjeta electrónica inferior y en ella se controla la marcha y el paro del motor al haber elegido el frenado dinámico. Observar el diagrama eléctrico B de la Fig. 5.15, y en caso de haber elegido el frenado regenerativo, al presionar la botonera de marcha, se habilita la marcha del motor dado que el voltaje de 24V de la bornera 9 llega a la bornera 8 de TB2; simultáneamente, se cierra en el drive un contacto normalmente abierto existente entre las terminales 10 y 11 de TB2, permitiendo que se mantenga, a través del contacto normalmente cerrado de JOG, el voltaje de 24V en la bornera 8 de TB2 cuando se suelta la botonera de marcha. Al presionar el botón de PARO, la señal presente en la bornera 8 desaparece. Si inicialmente se presiona la botonera de JOG en vez de la botonera de MARCHA, el motor se pone en marcha mientras esté presionada la botonera de JOG, dado que el contacto normalmente cerrado de JOG se abre, impidiendo la retención de la marcha a través de los contactos normalmente abiertos de las borneras 10 y 11 de TB2. Al presionar la botonera PARO CONTROLADO, llegan 24V a la bornera 12 correspondiente a la habilitación del paro controlado del motor. Si se observa el diagrama eléctrico A, de la Fig. 5.14, al elegir frenado regenerativo, las terminales de armadura del motor están conectadas a las terminales A1 y A2 de la bornera TB2.

Al seleccionar el frenado dinámico, observar en el diagrama eléctrico B, que el estado de los contactos auxiliares de los relés 1, 2 y 3 cambian. Al

presionar la botonera de marcha, aparecen 24V en la terminal 4 de la bornera TB5, correspondiente a la señal de FORWARD; al soltar la botonera de marcha, esta señal desaparece y llegan 24V a la terminal 7 de esta bornera a través del contacto normalmente abierto de la botonera de JOG, lo que permite la retención de la acción de marcha. Al presionar la botonera de JOG, aparecen 24V en la terminal 4 de TB5, sin embargo, su acción no se retiene debido a que el contacto normalmente cerrado de la botonera de JOG cambia de estado, evitando que lleguen 24V a la terminal 7 de TB5 y logrando que el motor opere únicamente al presionar la botonera de JOG. En el diagrama eléctrico A, se observa que al presionar MARCHA, los contactos de fuerza normalmente cerrados de los relés del drive, K1 y K2 se cierran y el contacto normalmente cerrado de K1 se abre. Al presionar la botonera de STOP, al soltar la señal de JOG o en caso de que el panel eléctrico FINCOR se desconecte de la alimentación principal, el contacto normalmente cerrado de K1 se repone, permitiendo que la energía cinética del motor contenida en la fuerza contra-electromotriz del motor se disipe a través de la resistencia de frenado dinámico R; los contactos normalmente abiertos de K1 y de K2 se abren para desconectarse del par de puentes de rectificadores totalmente controlados conectados en espalda contra espalda. Referirse a la página 11 del manual del fabricante del drive para comparar el diagrama de conexiones.

5.3. Identificación de los bloques básicos de control en el diagrama electrónico del drive FINCOR MKII 2236.

En la Fig. 5.16 se muestra el drive FINCOR MKII 2236 y las dos tarjetas electrónicas que lo conforman. En la Fig. 5.17 se muestra el circuito electrónico del drive FINCOR MKII 2236 [6].

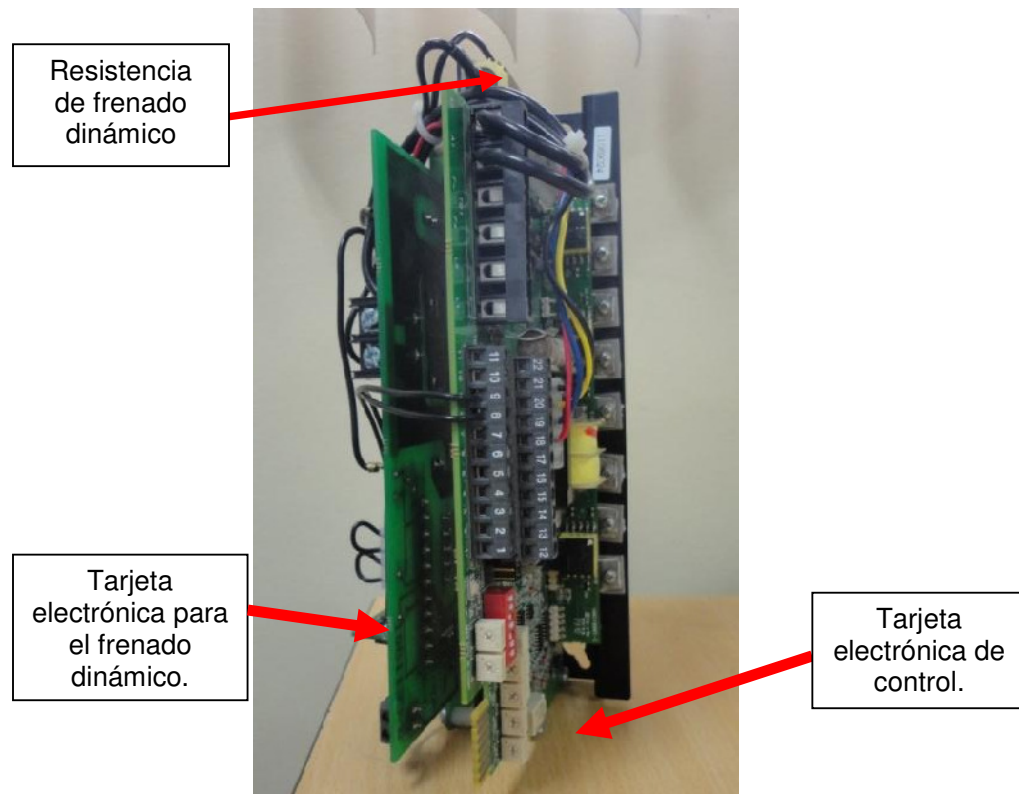


Figura 5.16: Vista frontal del drive FINCOR.

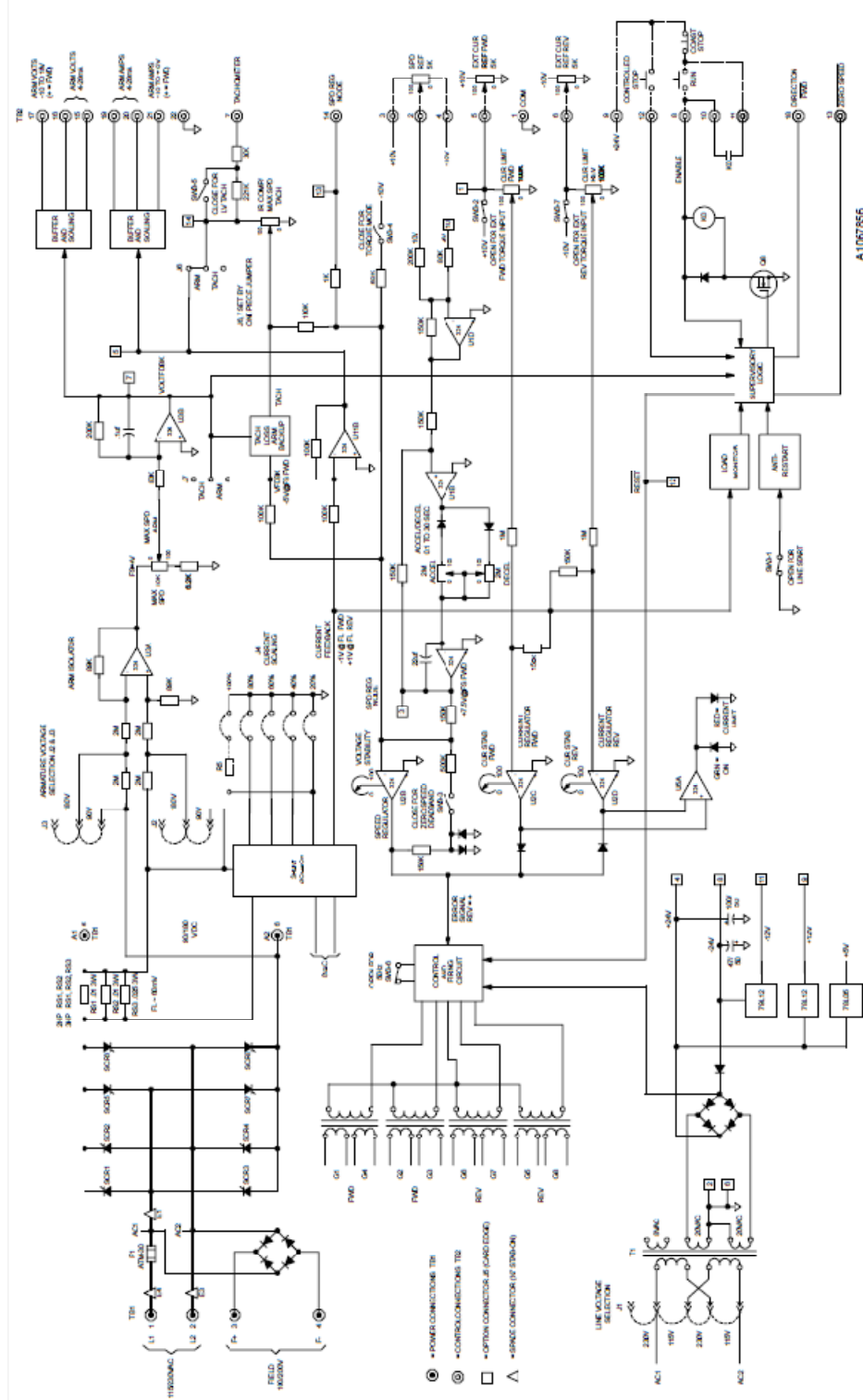


Figura 5.17: Circuito electrónico del DRIVE 2236 MKII FINCOR.

En la Fig. 5.18, se muestran los circuitos de fuerza como la alimentación de armadura con dos rectificadores monofásicos totalmente controlados tipo puente en conexión anti paralelo y protecciones, alimentación de campo con rectificador monofásico no controlado tipo puente. En la Fig. 5.19, se muestran los ocho tiristores que conforman los dos puentes rectificadores totalmente controlados para el circuito de armadura y los cuatro transformadores de pulsos. Se requiere un transformador de pulso por cada par de tiristores.

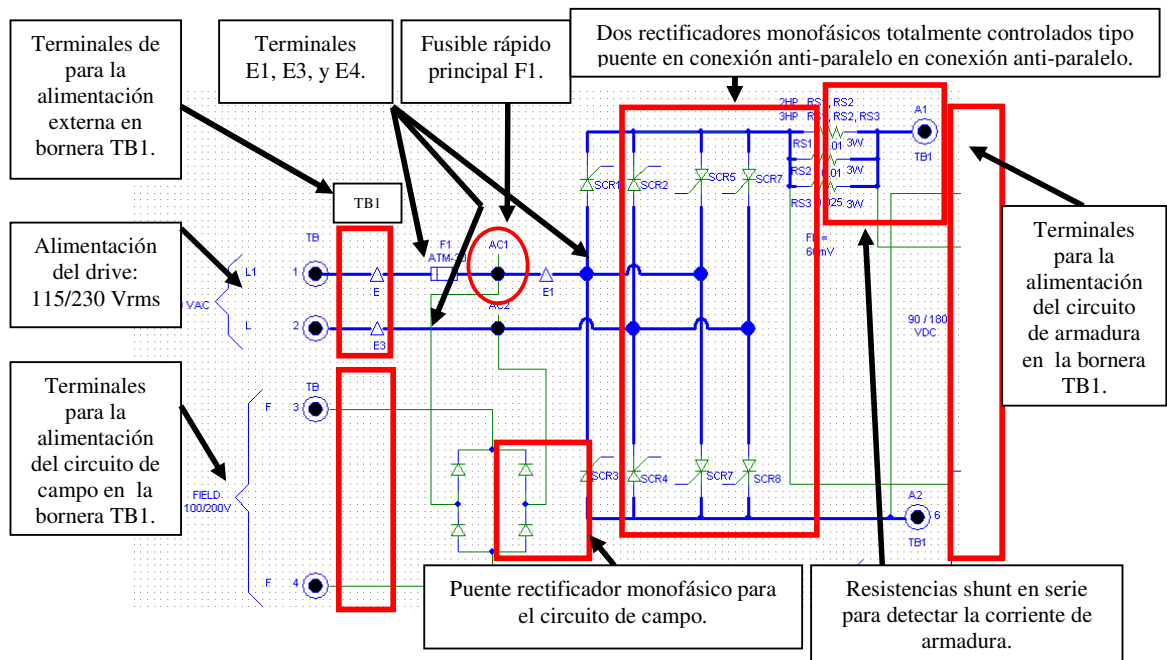


Figura 5.18: Circuitos de fuerza de campo y de armadura; y protecciones del drive 2236 MKII FINCOR.

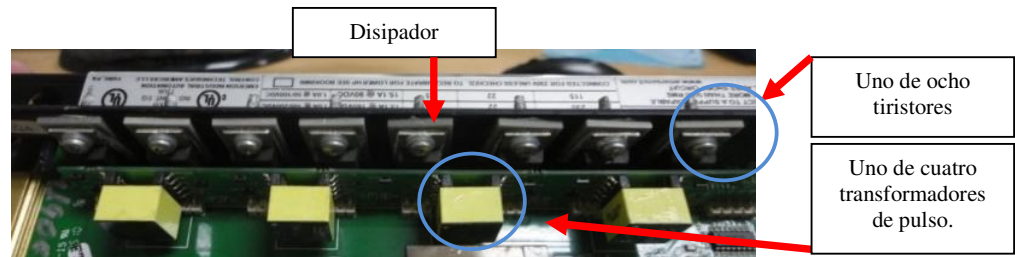


Figura 5.19: Ocho tiristores y transformadores de pulso del drive 2236 MKII FINCOR

En la Fig. 5.20, se muestran los ocho tiristores que conforman los dos puentes rectificadores totalmente controlados para el circuito de armadura y los cuatro transformadores de pulsos. Se requiere un transformador de pulso por cada par de tiristores: el SCR1 y el SCR4 son activados simultáneamente. En la Fig. 5.21, se muestra el circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar.

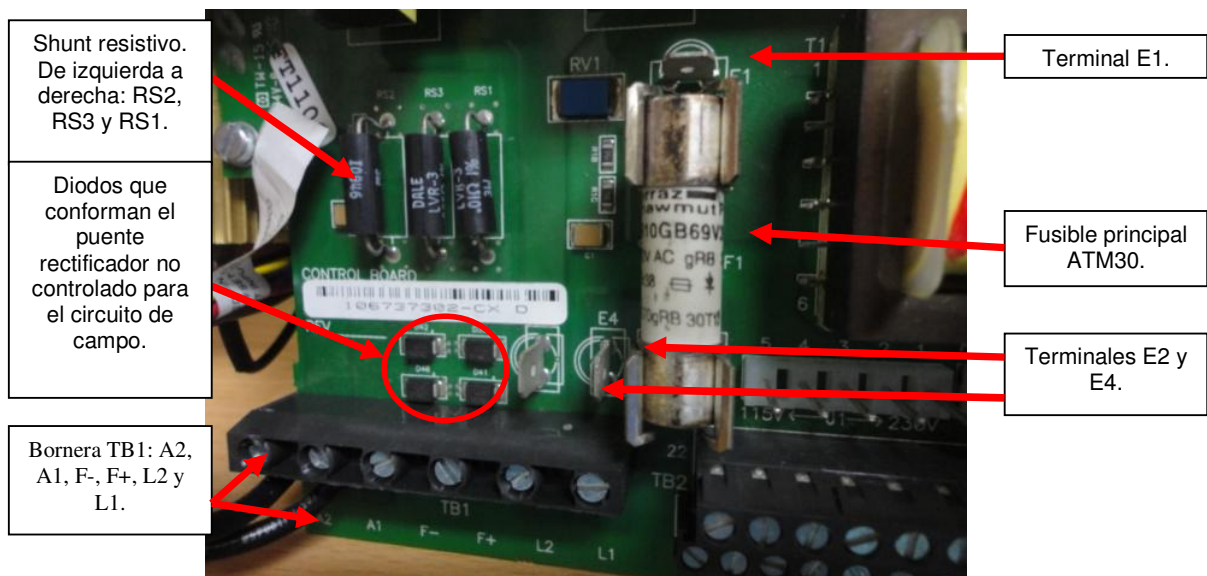


Figura 5.20: Resistencias *shunt*, diodos del puente rectificador no controlado, terminales E1, E2, E4 y el fusible principal del drive 2236 MKII FINCOR.

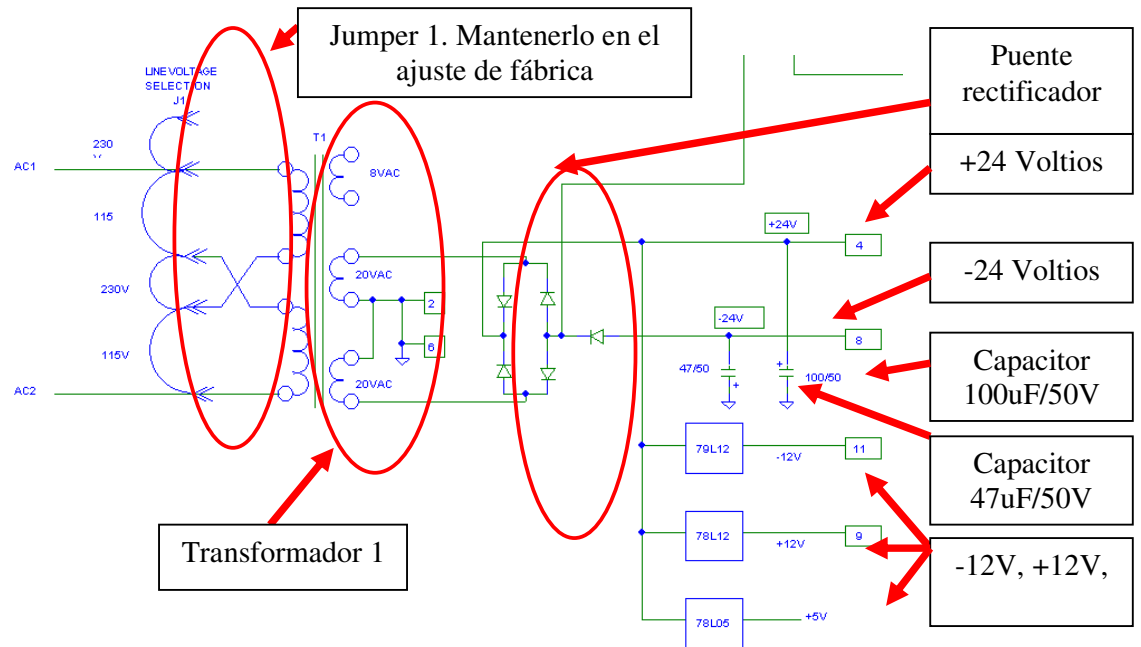


Figura 5.21: Circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar.

En la Fig. 5.22, se muestra el circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar. En la Fig. 5.23 se muestra el puente J1, cuyo ajuste de fábrica es 230V. Esta imagen corresponde a la tarjeta de frenado dinámico.

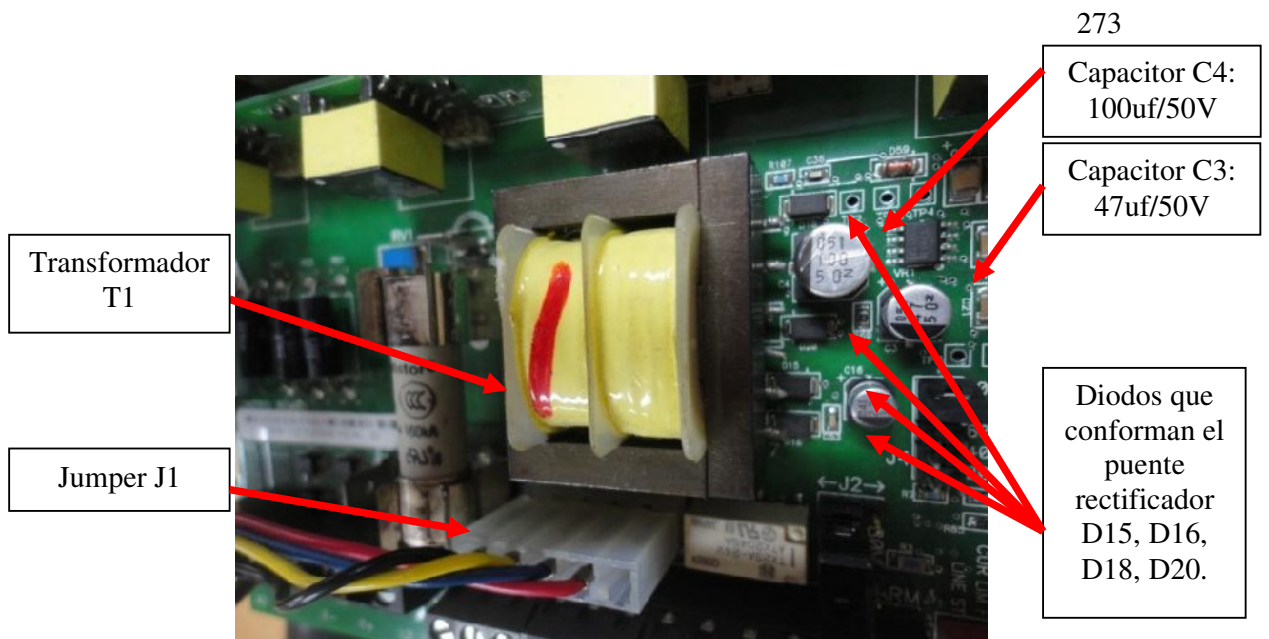


Figura 5.22: Circuito de generación de voltajes de alimentación de las secciones de control y referencia bipolar.

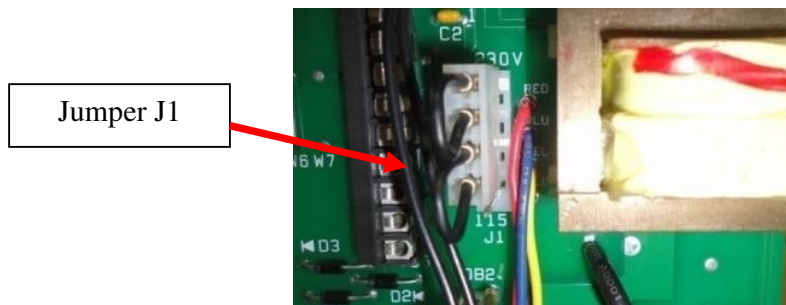


Figura 5.23: Tarjeta de frenado dinámico: ajuste del puente J1 en 230V.

En la Fig. 5.24, se muestra el circuito sincronizador y generador de pulsos de disparo con aislamiento. En la Fig. 5.25, se muestra el ajuste de fábrica de los 7 interruptores del dip-switch SW3 junto con el interruptor 6 del mismo.

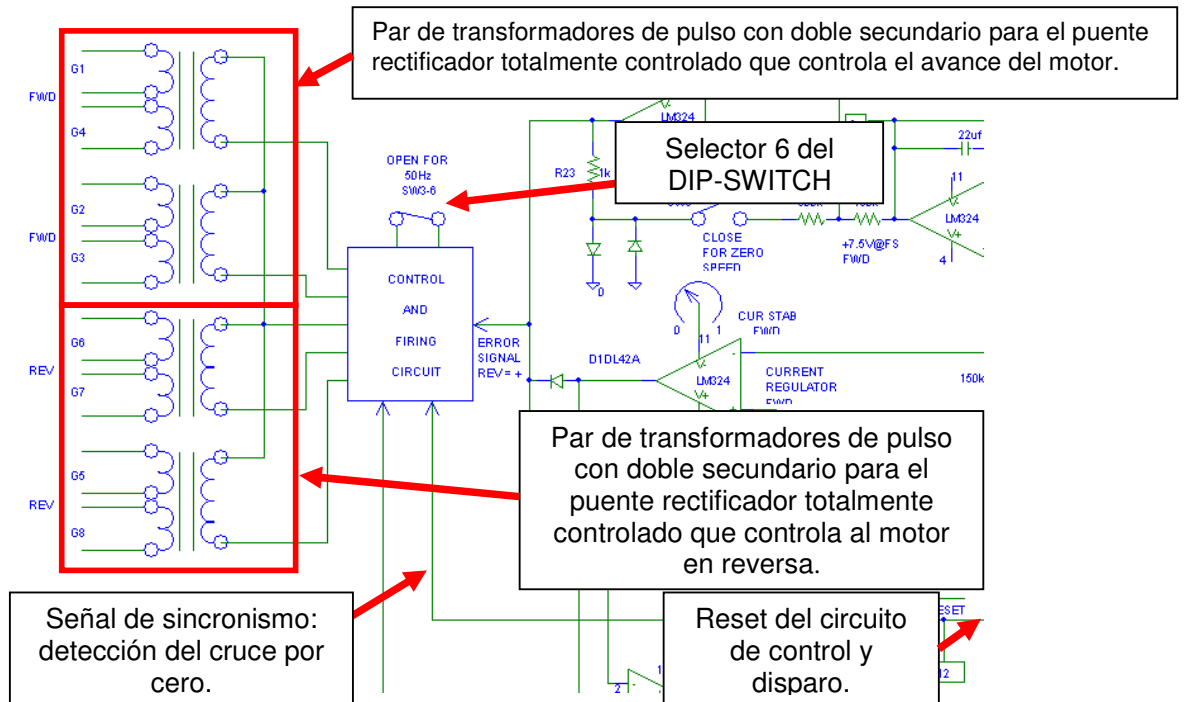


Figura 5.24: Circuito sincronizador y generador de pulsos de disparo con aislamiento.

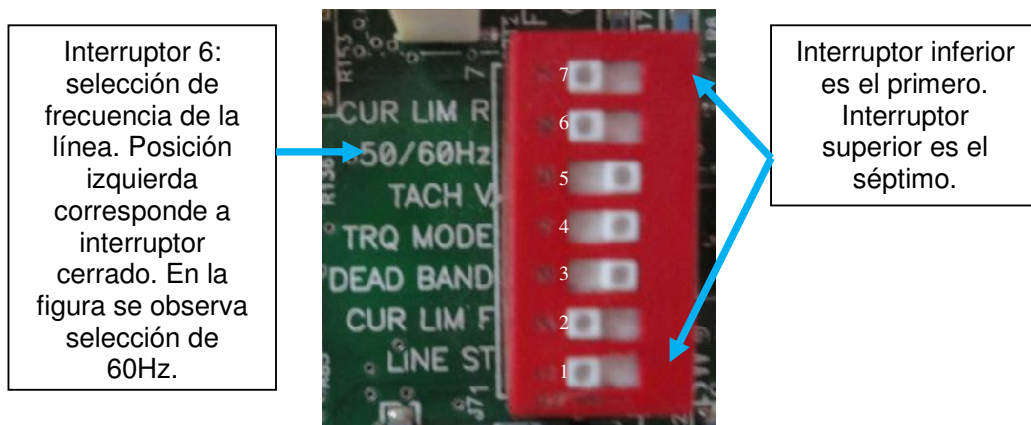


Figura 5.25: Dip-switch SW3.

En la Fig. 5.26, se muestra los circuitos de captación de señales de realimentación: captación de corriente por shunt resistivo con bloque de aislamiento (escalamiento de corriente) y voltaje de armadura con

amplificador diferencial y puentes de escalamiento. En la Fig. 5.27 se muestran los puentes de escalamiento J2, J3, J6 y J7 y los potenciómetros MAX SPEED e IR-COMP. Imagen tomada del drive ubicado en el panel de réplica. El potenciómetro MAX SPEED tiene un valor de 10KΩ y el potenciómetro IR-COMP tiene un valor de 79KΩ.

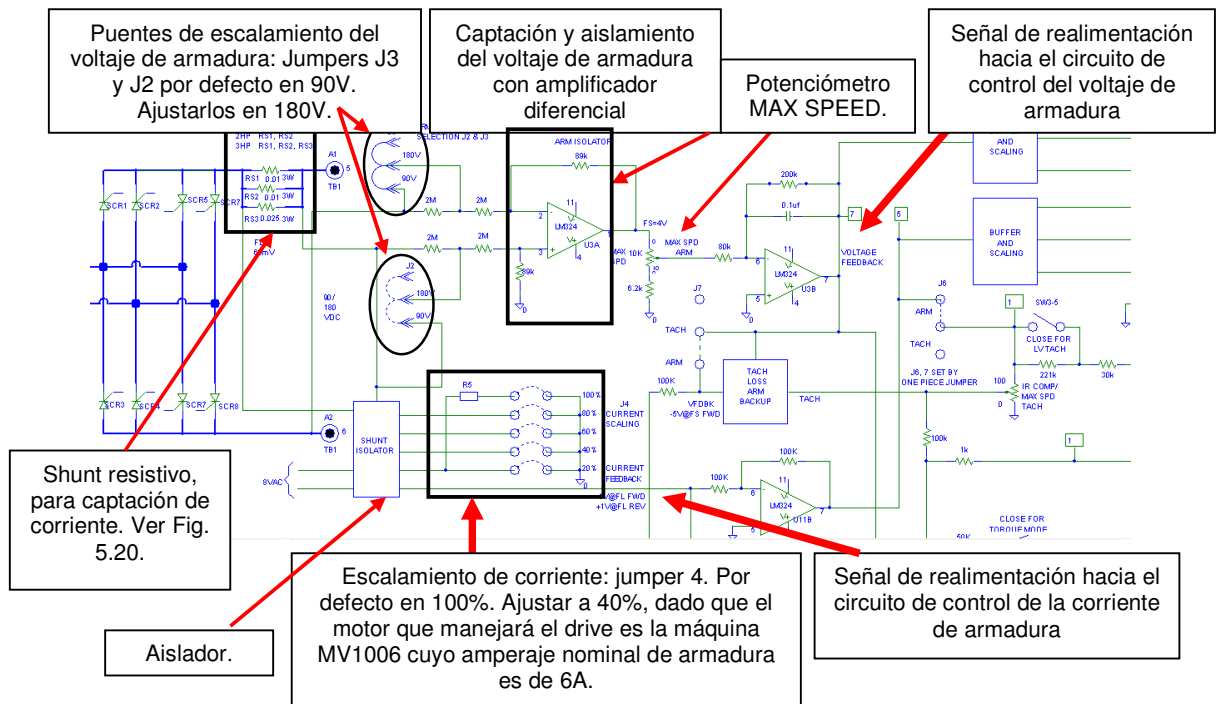


Figura 5.26: Circuitos de captación de señales de realimentación: captación de corriente por shunt resistivo con bloque de aislamiento (escalamiento de corriente) y voltaje de armadura con amplificador diferencial y puentes de escalamiento.

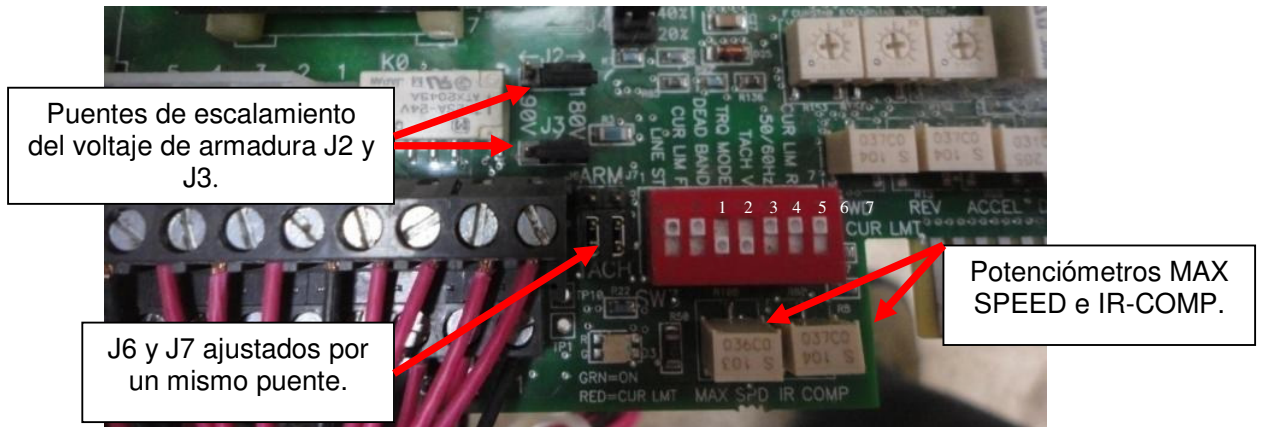


Figura 5.27: Puentes de escalamiento J2, J3, J6 y J7 junto con el potenciómetro MAX SPEED e IR-COMP.

En la Fig. 5.28 se muestran los circuitos de monitoreo de voltaje y corriente de armadura. En la Fig. 5.29, se muestra el circuito de escalamiento para el taco-generador analógico. En la Fig. 5.27 se muestra el potenciómetro IR-COMP.

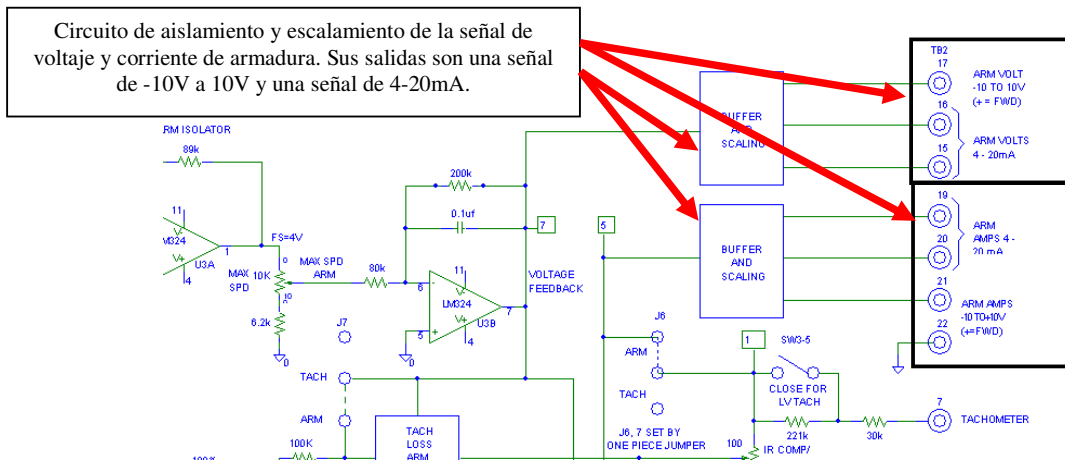


Figura 5.28: Circuitos de monitoreo de voltaje y corriente de armadura.

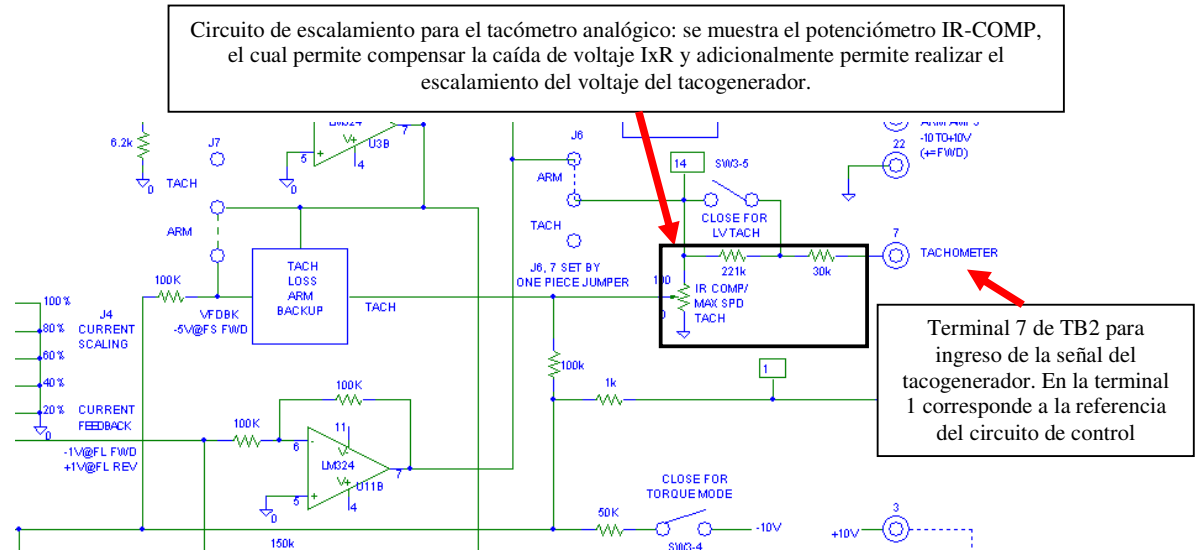


Figura 5.29: Circuito de escalamiento para el tacogenerador analógico.

En la Fig. 5.30 se muestra el circuito de detección de pérdida de tacómetro para cambio automático a método de control I x R.

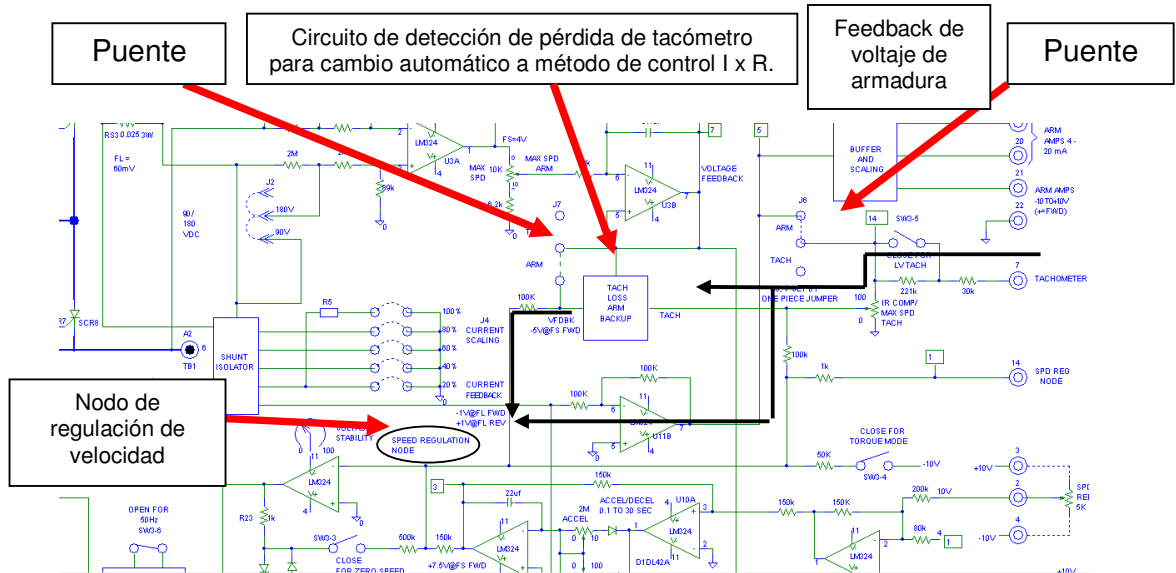


Figura 5.30: Circuito de detección de pérdida de tacómetro para cambio automático a método de control I x R.

En la Fig. 5.30, se aprecia que el voltaje del taco-generador pasa desde la terminal 7 de la bornera TB2 hacia el nodo de regulación de velocidad; cuando se desconecta el taco-generador sin motivo alguno, el circuito de detección de pérdida de tacómetro detecta este cambio y en base a la realimentación de voltaje (voltage feedback), la cual corresponde al voltaje terminal de armadura, estima la velocidad la cual es enviada hacia el nodo de regulación de velocidad. En el método de control por taco-generador, los puentes J6 y J7 deben cambiarse de posición ya que el ajuste de fábrica corresponde al método de control por armadura.

En la Fig. 5.31 se muestra el circuito de control de aceleración y desaceleración. El OPAMP que opera como integrador permite generar las rampas de aceleración o de desaceleración, de acuerdo al aumento o disminución de referencia de velocidad, respectivamente.

En la Fig. 5.32 se muestran los potenciómetros ACCEL, DECEL, VOLTSTAB, FCURSTAB, RCURSTAB, FwdCURLIMIT y RevCURLIMIT.

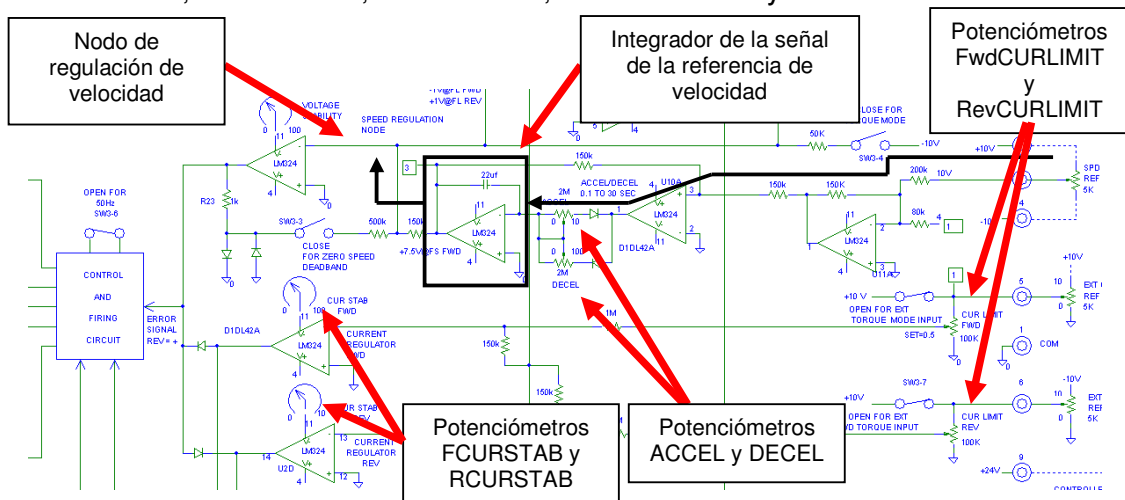


Figura 5.31: Circuito de control de aceleración y desaceleración.

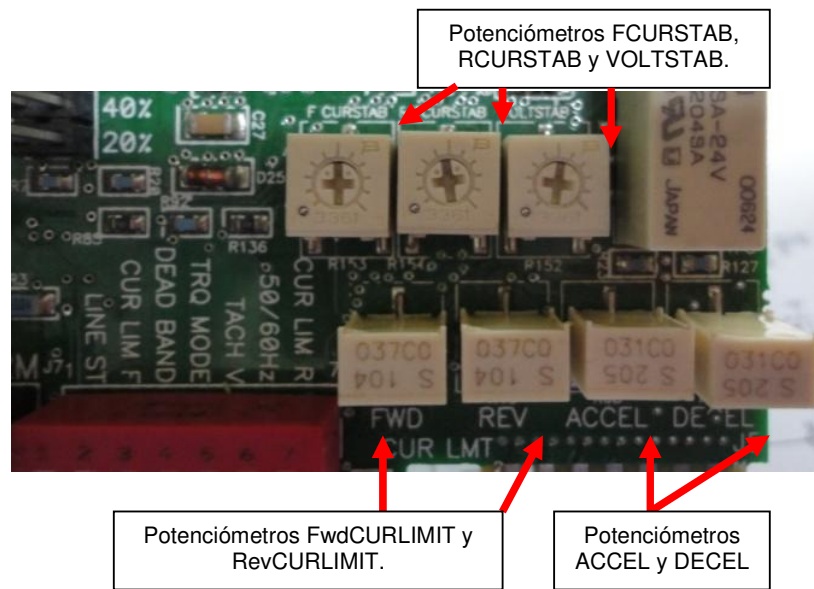


Figura 5.32: Potenciómetros ACCEL, DECEL, VOLTSTAB, FCURSTAB, RCURSTAB.

En la Fig. 5.33 se muestran los controladores PI de velocidad y de corriente. En la parte superior de cada OPAMP se muestra el potenciómetro de regulación de estabilidad.

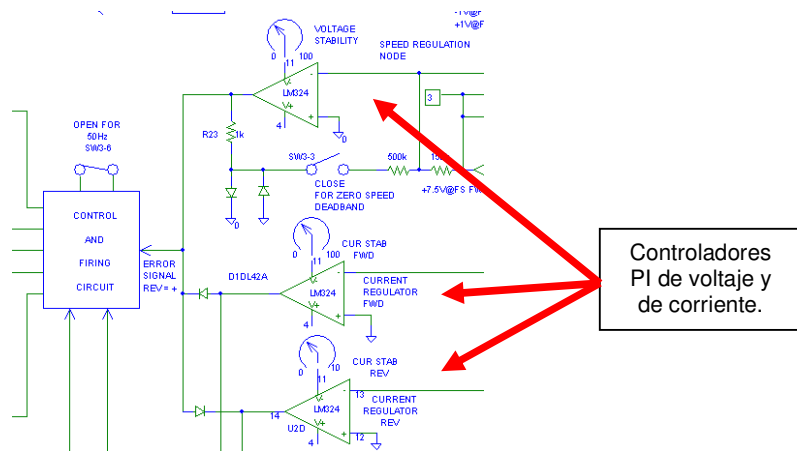


Figura 5.33: Controladores PI de velocidad y de corriente.

5.4. Determinación de la polaridad del tacómetro

Previo a la determinación de la polaridad del tacómetro, en la Tabla 5.1 se muestran los ajustes de los potenciómetros del drive FINCOR 2236 MKII.

	Drive Fincor instalado en el panel eléctrico Fincor original (cód. inv. 91905)		Drive Fincor no instalado en ningún panel eléctrico (cód. inv. 91906)---Ajustes de fábrica	
	Medición entre pin izquierdo y central (K Ω)	Medición entre pin izquierdo y derecho (K Ω)	Medición entre pin izquierdo y central (K Ω)	Medición entre pin izquierdo y derecho (K Ω)
MAX SPD	8	10	7.96	10.61
IR COMP	33.26	100	0	79
FwdCURLMT	33.46	33.46	66.9k	66.9k
RevCURLMT	33.83	33.83	73.6k	73.6k
ACCEL	303.2	303.2	224	224
DECEL	266.2	266.2	240	240
FCURSTAB	131.3	131.3	127.5k	127.5k
RCURSTAB	128.7	128.7	128.8k	128.8k
VOLTSTAB	251.4	251.4	253.5	253.5

Tabla 5.1: Ajustes de los potenciómetros de los drives Fincor 2236 MKII

En la Fig. 5.34, se muestran la identificación de los pines según la cual se realizó la medición de resistencia de los diferentes potenciómetros. Adicionalmente, en la tabla 5.2 se muestran los ajustes de fábrica y finales de los puentes en el drive FINCOR 2236 MKII.

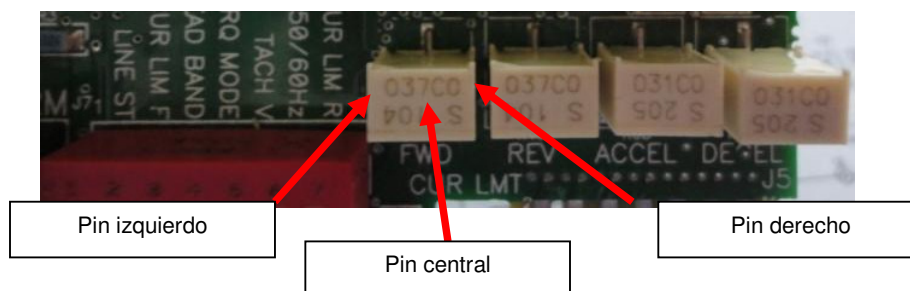


Figura 5.34: Identificación de pines del potenciómetro FwdCURLMT.

PUENTE	Drive Fincor instalado en el panel eléctrico Fincor original (cód. inv. 91905)	Drive Fincor no instalado en ningún panel eléctrico (cód. inv. 91906)---Ajustes de fábrica
J1	230V	230V
J2	180V	90V
J3	180V	90V
J4	40%	100%
J6 y J7 (puente único para ambos)	TACH	ARM

Tabla 5.2: Ajustes de fábrica de los puentes J1 a J7.

Adicionalmente, en la tabla 5.3 se muestran los ajustes del dip-switch SW3 tanto en el drive Fincor instalado en el panel eléctrico original cuyo código de inventario es 91905 y en el drive no instalado de código de inventario 91906.

Selector (IZQ.- cerrado/DER.- abierto)	Drive Fincor instalado en el panel eléctrico Fincor original (cód. inv. 91905)	Drive Fincor no instalado en ningún panel eléctrico (cód. inv. 91906)---Ajustes de fábrica
1-LINE ST	IZQ	IZQ
2-CURLIM F	IZQ	IZQ
3-DEAD BAND	DER	DER
4- TRQ MODE	DER	DER
5- TACH V	IZQ	DER
6-50/60Hz	IZQ	IZQ
7-CUR LIM R	IZQ	IZQ

Tabla 5.3: Ajustes del dip-switch SW3.

Se observa que el selector 5 se ha cambiado de posición dado que el tacogenerador DC empleado es de bajo voltaje; recordar que en el capítulo 1 se determinó que a 1500 rpm, el voltaje DC generado por el tacogenerador es de 30V aproximadamente.

La primera variante consiste en realizar el control de velocidad sin conectar el taco-generador al panel eléctrico FINCOR. Para ello, realizar las conexiones mostradas en la Fig. 5.35. Observar que el taco-generador no se encuentra conectado al panel.

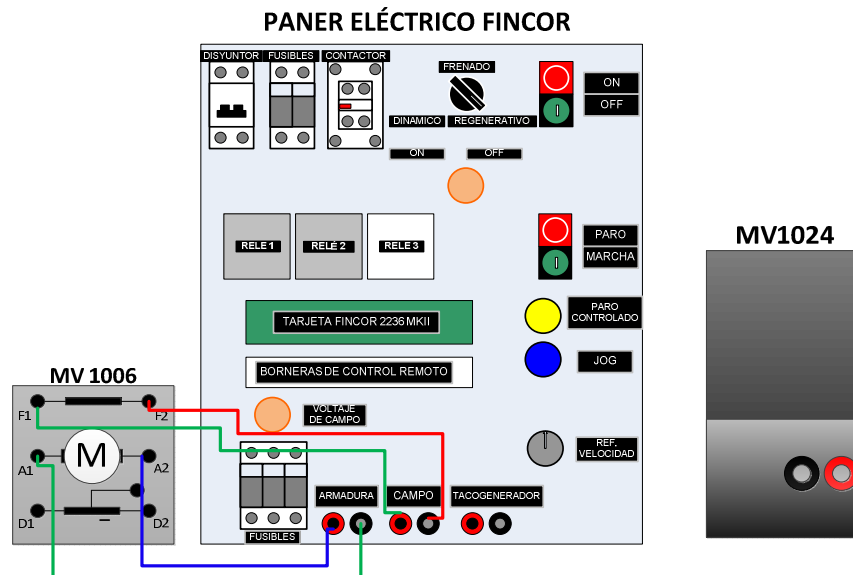


Figura 5.35: Conexión entre panel eléctrico FINCOR y la máquina DC MV1006

Para realizar el encendido del panel FINCOR, verificar que el selector de frenado se encuentre en REGENERATIVO; luego accionar el disyuntor, a continuación, presionar el botón ON y verificar con el multímetro FLUKE 87V que el voltaje de campo sea de 185V aproximadamente, caso contrario, presionar el botón OFF y desactivar el disyuntor para luego revisar el fusible de campo; es conveniente revisar los fusibles de armadura. Si el voltaje de campo es el adecuado, presionar el botón de MARCHA. En este instante, el motor debe arrancar, caso contrario, ajustar el potenciómetro de referencia

de velocidad hasta que el eje del motor gire. Girar en sentido contrario y de forma gradual, este potenciómetro, para verificar que el eje del motor gira en ambos sentidos; de esta forma se verifica que el drive responde al ajuste de la velocidad en base al circuito detector de pérdida de taco-generador previamente visto. Luego, proceder a verificar el control de velocidad sin taco-generador, para ello, ajuste la velocidad del motor en 1000 rpm en cualquier sentido de giro; aplicar carga mecánica con el freno MV1045. Los resultados se muestran en la tabla 5.4.

Velocidad (RPM)	Corriente de armadura (A)
1006	0.82
866	6.11

Tabla 5.4: Control de velocidad sin conectar el tacogenerador DC.

En la Fig. 5.36 se muestra la variación de la velocidad ante cambios en la corriente de armadura. La velocidad es proporcional al voltaje generado.

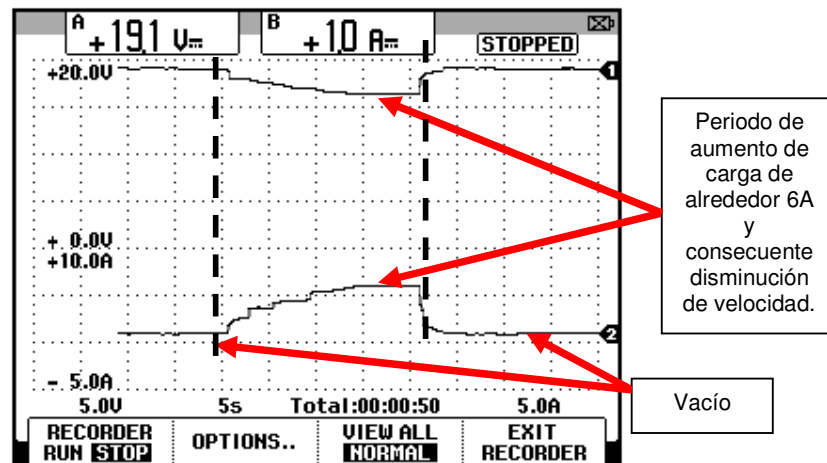


Figura 5.36: Variación de la velocidad ante cambios de carga sin conectar el taco-generador DC al panel FINCOR.

A continuación, detener el motor. Para ello, presionar el botón de PARO, luego el botón OFF y finalmente reponer el disyuntor. Luego, conectar el taco-generador a las borneras correspondientes en el panel eléctrico FINCOR. A continuación, realizar el proceso de arranque del motor, es decir, accionar el disyuntor, presionar el botón ON y luego el botón de MARCHA. En estas circunstancias, es posible que se presenten dos situaciones: que el motor se embale o que el mismo responda al ajuste de velocidad por medio del potenciómetro. En la primera situación, verificar que al cambiar la referencia de velocidad, el motor no responde a estos cambios; se comprueba entonces que es necesario invertir la polaridad del taco-generador DC. Para ello, desconectar el motor, por el procedimiento descrito previamente. En la segunda situación, se ha conectado correctamente el taco-generador DC y por ello el motor sí responde al control de velocidad. En la tabla 5.5, se muestran las velocidades en vacío y bajo carga mecánica máxima; nuevamente, partir de 1000 rpm aproximadamente.

Velocidad (RPM)	Corriente de armadura (A)
1004	0.86
1008	6.04

Tabla 5.5: Control de velocidad conectando el taco-generador DC.

En la Fig. 5.37 se muestra que no existe variación de la velocidad ante cambios en la corriente de armadura debido a que el control de velocidad por taco-generador es muy preciso. La señal de voltaje corresponde al voltaje generado por el taco-generador DC.

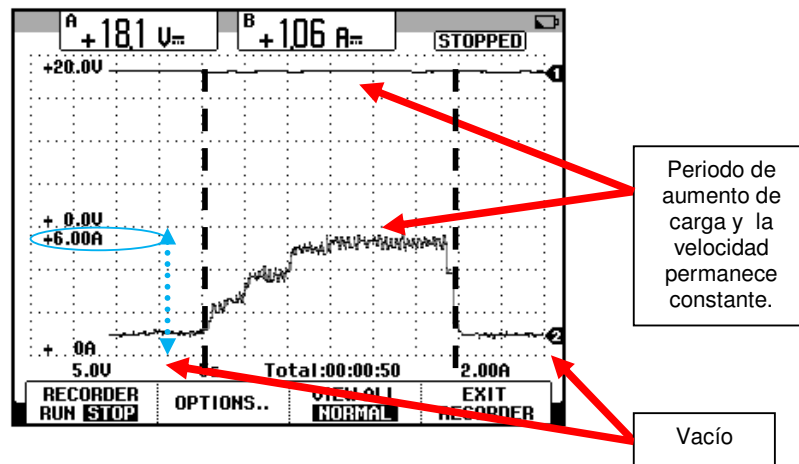


Figura 5.37: Variación de la velocidad ante cambios de carga con el tacogenerador DC conectado al panel FINCOR.

5.5. Control de velocidad en cuatro cuadrantes empleando la realimentación por tacómetro. Oscilogramas de corriente de línea y armadura para determinar los cambios en estas variables durante el frenado regenerativo.

En la Fig. 5.38 se muestra un oscilograma donde la señal superior corresponde a la corriente RMS de línea y en la señal inferior se observa la corriente DC de armadura del motor.

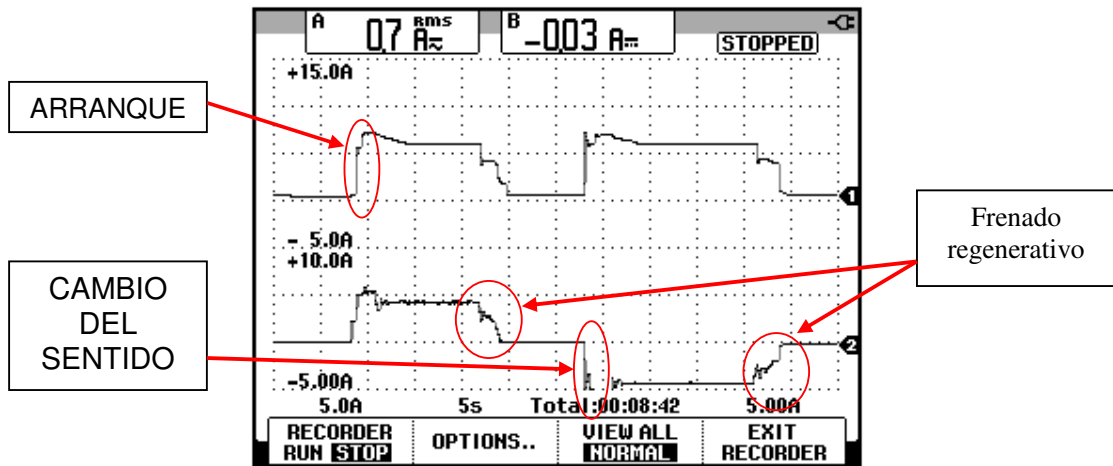


Figura 5.38: Frenado regenerativo.

5.6. Control de velocidad con el método IxR. Calibración del potenciómetro IxR para obtener la óptima regulación de velocidad del variador.

Cambiar la posición del puente J6-J7 a **ARM**; con este procedimiento se cambia el tipo de control de velocidad al método de compensación IxR. En la tabla 5.6 se muestra la variación de la velocidad en vacío y a plena carga. Se ha ajustado la velocidad en vacío en 1016 rpm.

Velocidad (RPM)	Corriente de armadura (A)
1016	0.82
945.3	6.05

Tabla 5.5: Control de velocidad por el método IxR.

El ajuste del potenciómetro **IR-COMP** es el mostrado en la tabla 5.1 y su valor de ajuste es de 33.1 K Ω . En la Fig. 5.39 se muestra la variación de

voltaje DC del taco-generador a medida que se aumenta el torque de carga; esto se refleja en la corriente de armadura mostrada. Recordar que el control IxR es menos preciso que el control por taco-generador.

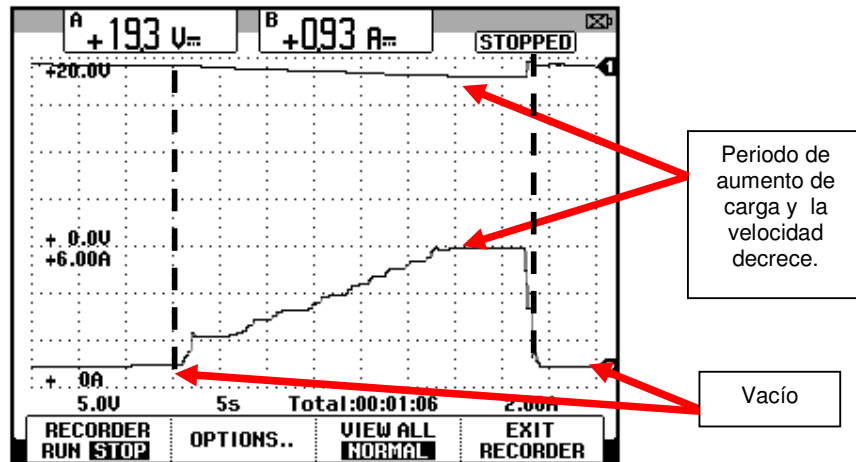


Figura 5.39: Control de velocidad por el método IxR.

5.6. Análisis de los tipos de frenado del motor con carga, mediante oscilogramas de corriente y velocidad del motor DC.

En este experimento, se muestran los tipos de frenado que dispone el drive Fincor 2236MKII. Los tres tipos de frenado son: por rueda libre, dinámico y regenerativo. Debido a una falla en los drives Fincor durante la redacción de este documento, fue necesario obtener los oscilogramas siguientes a partir de reportes realizados en conjunto con los alumnos del Laboratorio; por este motivo, el osciloscopio que se empleó fue el osciloscopio Fluke 192C, que tiene la característica de que las imágenes en el display muestran diversos colores.

En la figura 5.40 se muestran el voltaje y la corriente de armadura durante el frenado en rueda libre. En la figura 5.41 se muestran el voltaje y la corriente de armadura durante el frenado en rueda libre. En la figura 5.42 se muestran el voltaje y la corriente de armadura durante el frenado regenerativo.

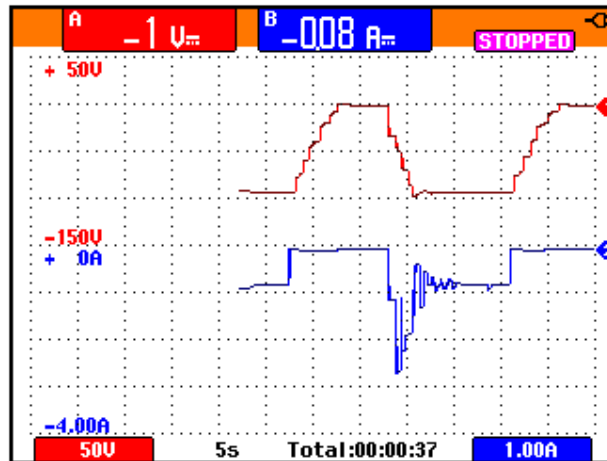


Figura 5.40: Frenado en rueda libre (Ch1: Varm; Ch2: Iarm)

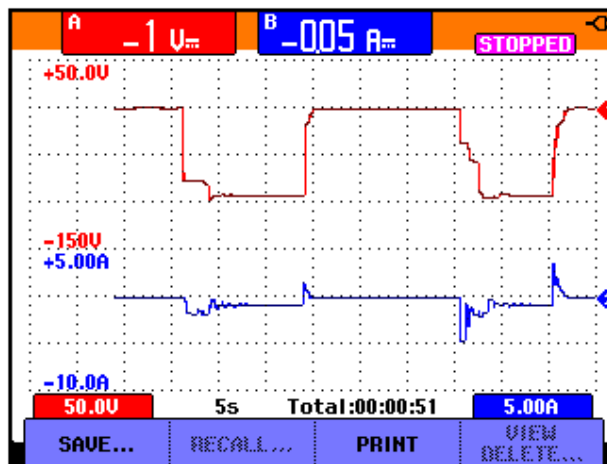


Fig. 5.41: Frenado dinámico (Ch1: Varm; Ch2: Iarm)

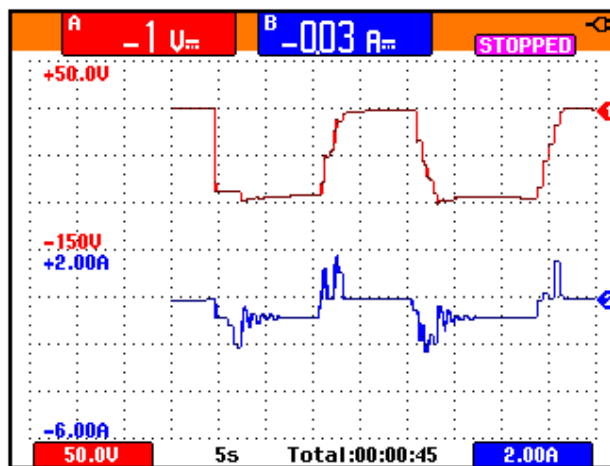


Fig. 5.42: Frenado regenerativo (Ch1: V_m; Ch2: I_m)

CAPÍTULO 6

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS RECTIFICADORES TRIFASICOS CONMUTADOS POR LINEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLES MAWDSLEY'S

En el presente capítulo se analizan las topologías de cuatro convertidores AC-DC trifásicos: Convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos, convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico), convertidor AC-DC trifásico de onda completa tipo puente semi-controlado y convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador. Se calculan figuras de mérito en las diferentes topologías empleando carga resistiva y un ángulo de disparo fijo, se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y se obtienen las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente de los semiconductores empleados en cada topología para una carga resistiva-

inductiva y un ángulo de disparo fijo. En la última topología se emplea el motor DC MV1006 como carga.

6.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica, procedimientos de uso del drive y conexiones entre el drive y las cargas eléctricas.

6.1.1. Listado de equipos a emplearse

- Drive Mawdsley's
- Osciloscopio FLUKE 192B o 192C
- Analizador de energía FLUKE 434 o 435
- Multímetro FLUKE 87V
- Banco de resistencias TERCO MV 1100
- Banco de inductores TERCO MV1101
- Interruptor TERCO MV 1500
- Cables de tipo banana.

6.1.2. Procedimientos de uso del drive

6.1.2.1. Conexión de instrumentos de medición

- Considerar que en la terminal 1, el voltaje es mayor que en la terminal 6 y que la corriente circula desde la terminal 1 a la carga y de esta, regresa al drive por la terminal 6.

- Con respecto a los oscilogramas de voltaje y corriente y análisis de armónicos, conectar la punta de prueba de voltaje en las terminales 1 y 6 del drive y la punta de prueba de corriente considerando la señal que indica el sentido de la corriente; es necesario calibrar la punta de corriente a través de su perilla ZERO.

6.1.2.2. Energización del Drive

- Verificar que todos los breakers de la Mawdsley's estén repuestos (abiertos).
- Conectar el convertidor de potencia Mawdsley's a la red trifásica del Laboratorio.
- Verificar que la lámpara de ENCENDIDO, lo esté.

6.1.2.3. Energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
- Fijar positivamente (+) el selector REFERENCE POLARITY.
- Accionar el breaker del transformador trifásico.
- Accionar el breaker S superior.
- Accionar el breaker S inferior.
- Accionar el breaker DC de la carga.

6.1.2.4. Des-energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
- Reponer el breaker DC de la carga.
- Reponer el breaker S superior.
- Reponer el breaker S inferior.
- Reponer el breaker del transformador trifásico.

Al realizar este procedimiento es necesario medir el voltaje de referencia, es decir el voltaje entre las terminales T1 y CONTROL COMMON, en caso de que el ángulo de disparo sea el mismo para la siguiente variante del experimento y evitar su reajuste a través del osciloscopio.

6.1.3. Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.

6.1.3.1. Carga resistiva

Observar la Fig. 6.1, en ella se muestra la conexión respectiva.

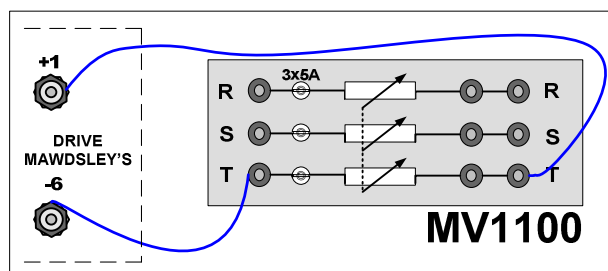


Figura 6.1: Conexión del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's

6.1.3.2. Carga resistiva-inductiva

Observar la Fig. 6.2, en ella se muestra la conexión respectiva.

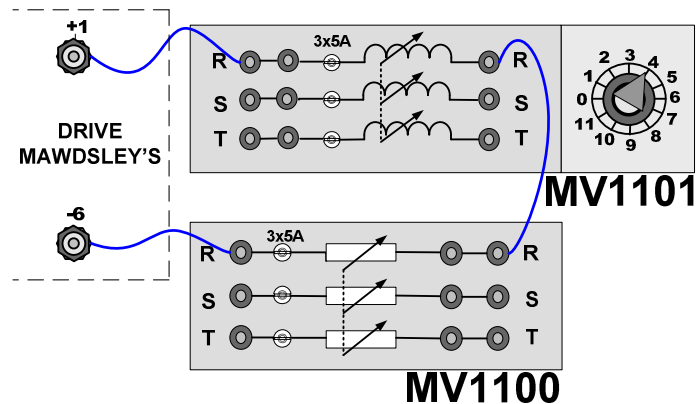


Figura 6.2 Conexión del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's

6.1.3.3. Carga resistiva-inductiva con diodo de paso libre

Cambiar la posición del interruptor MV1500. En la posición 1, el interruptor trifásico permite la conducción. Referirse al circuito de potencia, al inicio de cada experimento. Observar la Fig. 6.3.

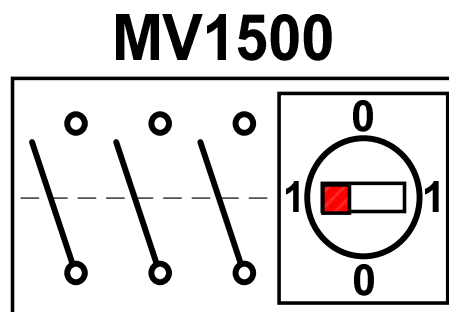


Figura 6.3 Conexión de un diodo de paso libre empleando el interruptor MV1500

6.2. Familiarización con el transformador trifásico y el generador de pulsos

El ángulo de desfase entre el voltaje línea-línea y el voltaje línea-neutro se puede realizar, midiendo el intervalo de desfase entre el voltaje en la bobina a5-a6 del transformador trifásico y el voltaje en la bobina a2-a1 del transformador monofásico. El voltaje de la bobina a5-a6 de T1 está en fase con el voltaje de línea línea, L1-L2; mientras que el voltaje de la bobina a2-a1 de T2, está en fase con el voltaje de línea neutro, L1-N. En la Fig. 6.4 se muestra el panel inferior del drive Mawdsley's y la ubicación de las bobinas mencionadas. La medición eficaz del voltaje de cada bobina se muestra en la Fig. 6.5. El intervalo de desfase entre el voltaje de cada bobina se muestra en la Fig. 6.6.

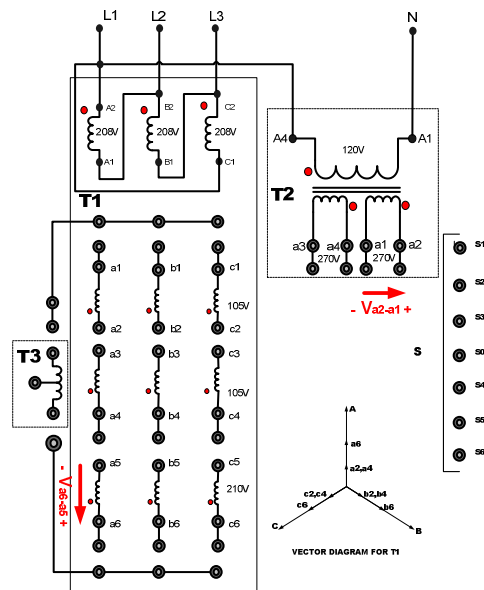


Figura 6.4: Panel inferior del drive Mawdsley's mostrando las bobinas a6-a5 y a2-a1 entre las cuales se requiere observar, en el osciloscopio, el desfase en sus voltajes

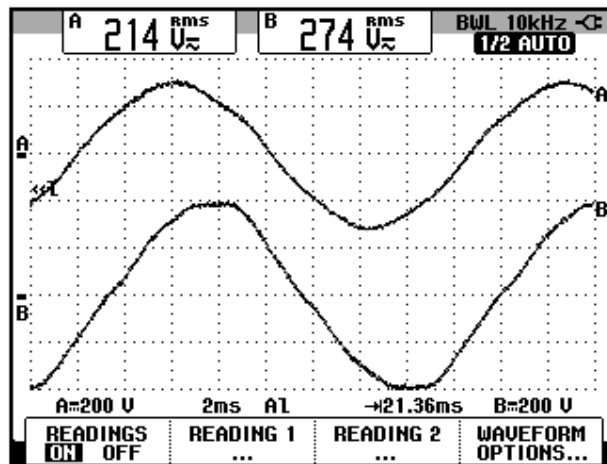


Figura 6.5: Medición eficaz del voltaje en las bobinas a6-a5 y a2-a1 (CH1: Va6-a5; CH2: Va2-a1)

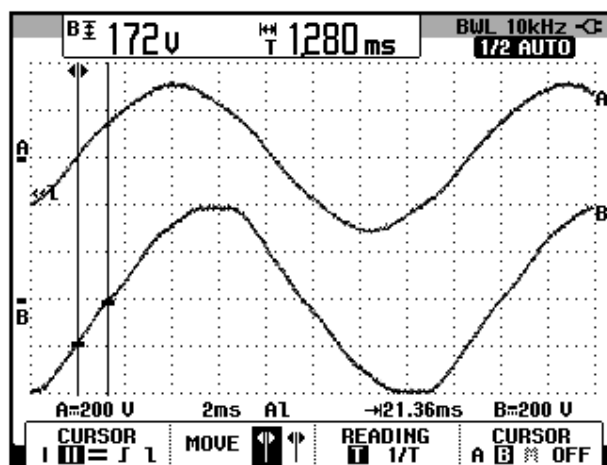


Figura 6.6: Medición eficaz del voltaje en las bobinas a6-a5 y a2-a1 (CH1: Va6-a5; CH2: Va2-a1)

El ángulo de desfase, en grados, corresponde a:

$$\phi = 28^\circ \approx 30^\circ$$

El desfase entre el cruce por cero ascendente del voltaje en la bobina a6-a5 y el voltaje en P6 cuando el potenciómetro **REFERENCE** está en la posición máxima se muestra en la Fig. 6.7. Se debe haber previamente conectado T1 a T9 en el panel superior del drive Mawdsley's. El desfase entre el cruce por cero ascendente del voltaje en la bobina a6-a5 y el voltaje en P6 cuando el potenciómetro REFERENCE está en la posición máxima se muestra en la Fig. 6.8. Así, el ángulo de disparo puede ser variado en un intervalo de 120° desde 30° hasta 150° , considerando el cruce por cero como referencia.

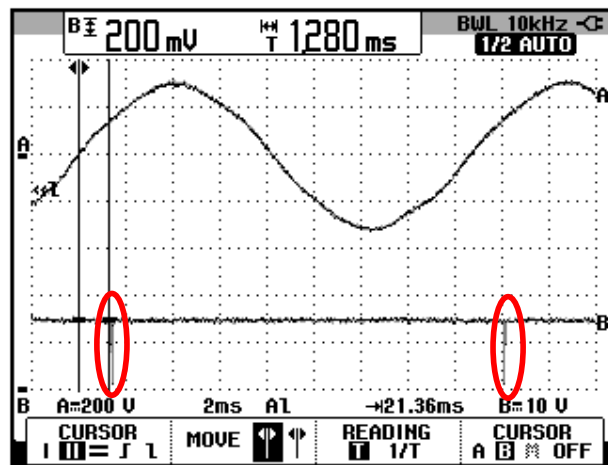


Figura 6.7: Desfasamiento entre el voltaje en las bobinas a6-a5 y el pulso P6 cuando REFERENCE es máximo (CH1: Va6-a5; CH2: Vp6)

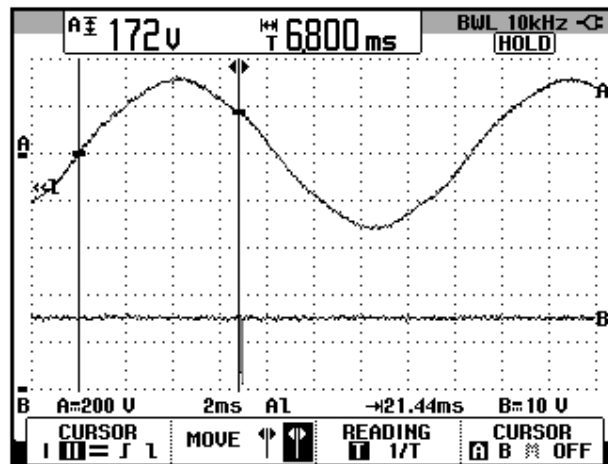


Figura 6.8: Desfasamiento entre el voltaje en las bobinas a6-a5 y el pulso P6 cuando REFERENCE es mínimo (CH1: Va6-a5; CH2: Vp6)

6.3. Convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos

En esta sección se desarrolla el primer experimento de la práctica.

6.3.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

6.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado se muestra en la Fig. 6.9. Las conexiones del secundario del transformador trifásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran

en la Fig. 6.10. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 6.11.

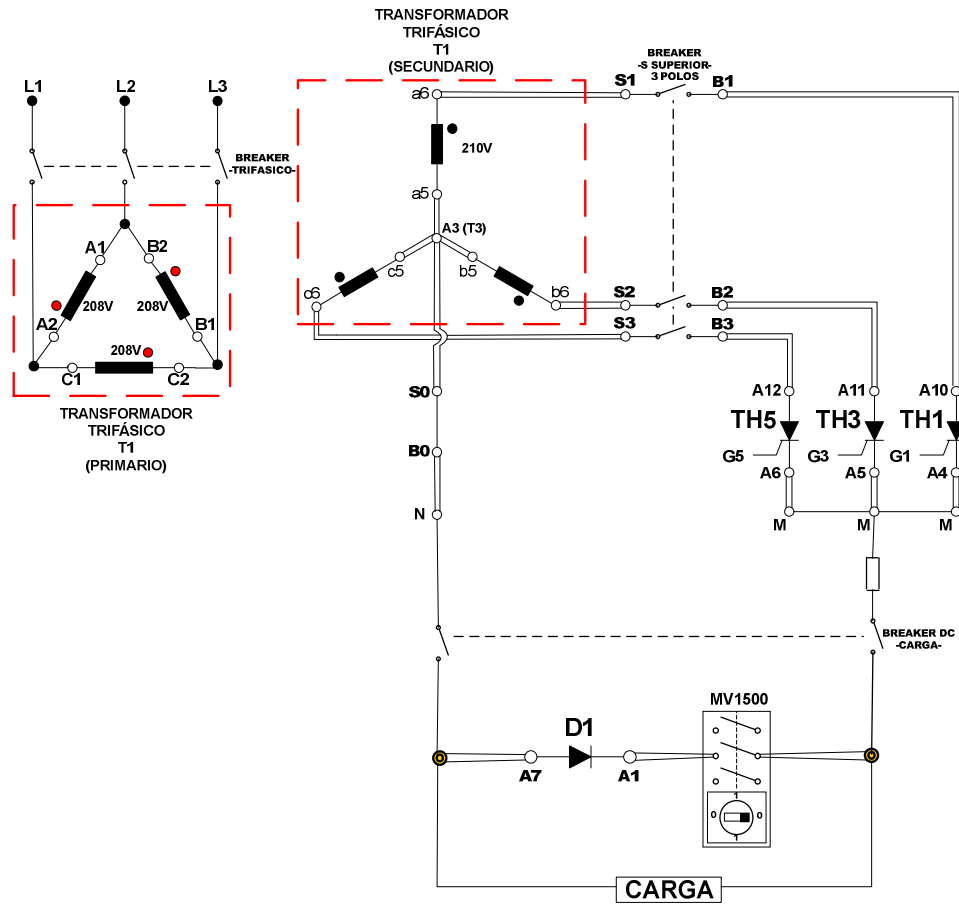


Figura 6.9: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos

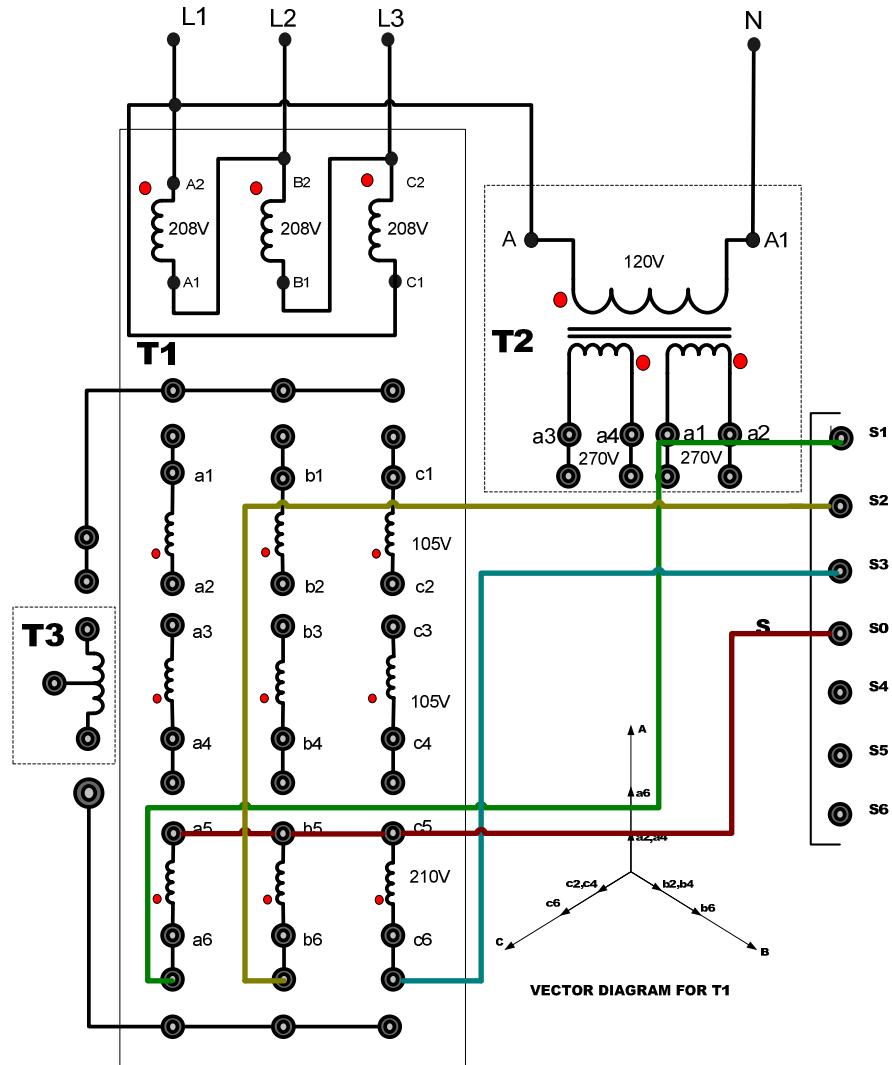


Figura 6.10: Conexiones del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos

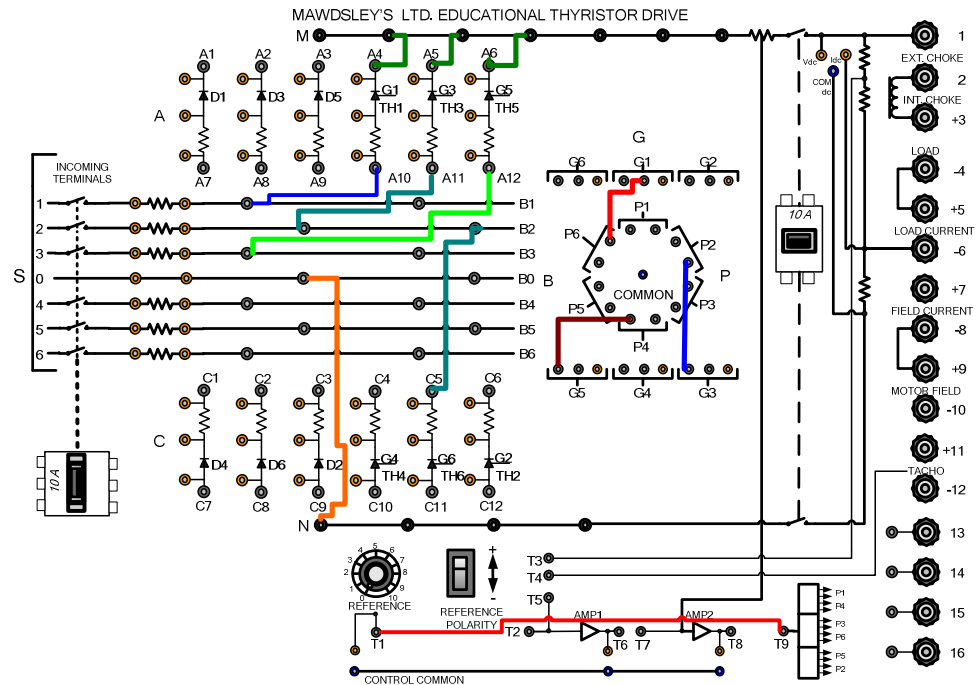


Figura 6.11: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos en el panel frontal del Drive Mawdsley's

6.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=0^\circ$. En el rectificador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 30° después del cruce por cero del voltaje en la bobina a6-a5. En la Fig. 6.12, se muestra la medición del intervalo correspondiente a 30° .

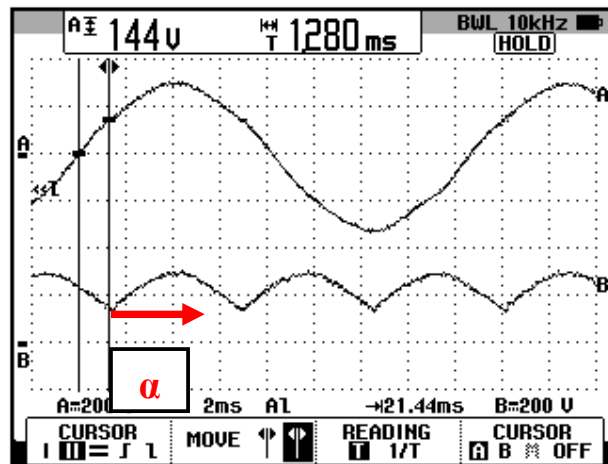


Figura 6.12: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)

Observar el oscilograma de la Fig. 6.13. En el voltaje de salida existen tres crestas correspondientes a los voltajes de línea-neutro es decir los voltajes en las bobinas a6-a5, b6-b5 y c6-c5. Las tres crestas aparecen en un periodo del voltaje de la bobina a6-a5; éste es el motivo del nombre del convertidor analizado. En la Fig. 6.13 se observa que durante un periodo del voltaje en la bobina a6-a5, aparecen tres crestas en el voltaje de salida. Se puede concluir que cada cresta tiene una duración de 120° . En el oscilograma de la Fig. 6.14, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.15, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.16, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

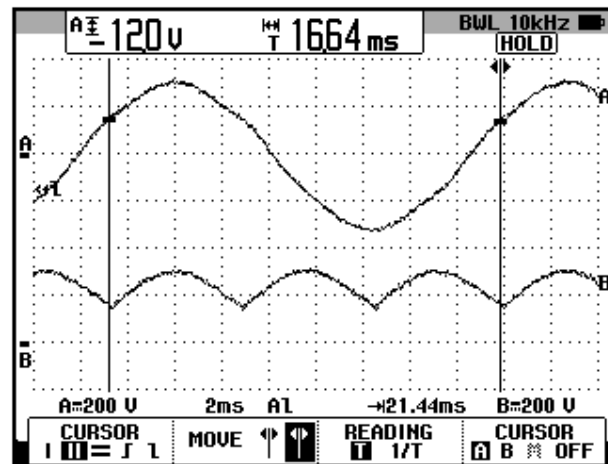


Figura 6.13: Oscilograma que muestra tres crestas en el voltaje de salida del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)

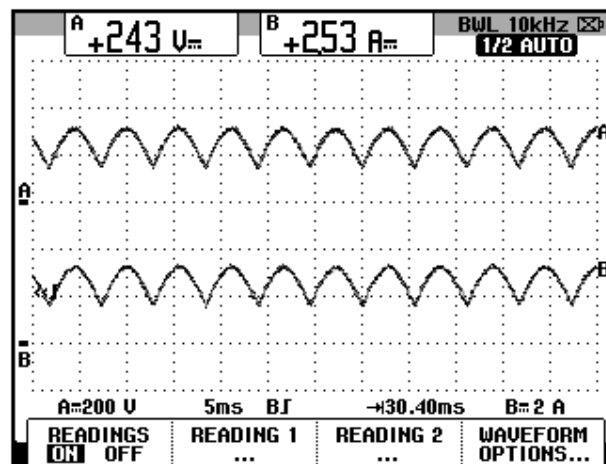


Figura 6.14: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).

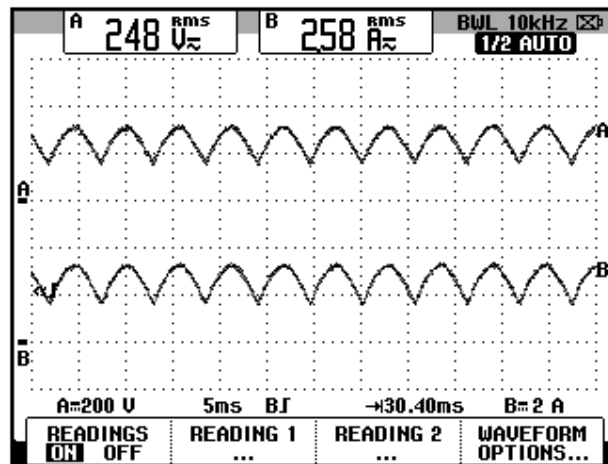


Figura 6.15: Oscilograma y mediciones eficaz de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).

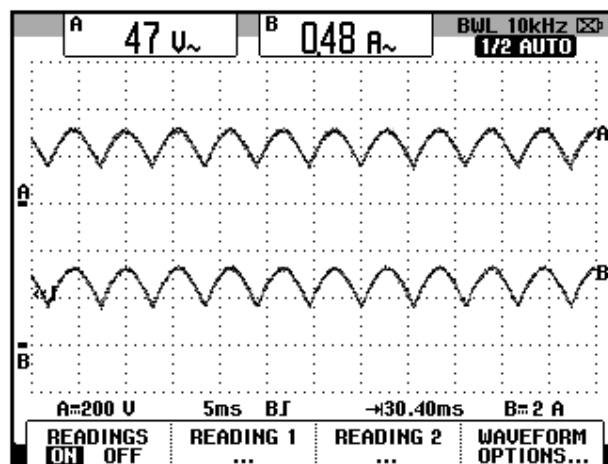


Figura 6.16: Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=0^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 614.8 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig.

6.17:

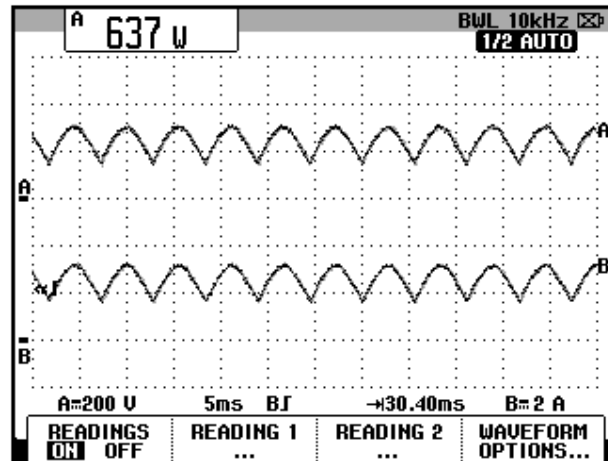


Figura 6.17: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}).

La eficiencia del convertidor:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}}$$

$$\eta = 0.97$$

El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida:

$$FF = \frac{V_{OUT(RMS)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$FF = 1.02$$

El factor de rizo (RF, de *ripple factor*), que es una medida del contenido alterno residual:

$$RF = \frac{V_{OUT(AC)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$RF = 0.19$$

El factor de utilización de transformador, TUF:

$$TUF = \frac{P_{OUT(DC)}}{V_S I_S} \quad (2.6)$$

$$TUF = 0.28$$

6.3.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

6.3.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar en el analizador de energía, el menú **SETUP** del analizador de energía, como se muestra en la Fig. 6.18. En el submenú **CONFIG.**, elegir la configuración **3Ø WYE**, tal como se muestra en la Fig. 6.19. Realizar las conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente entre el analizador y el convertidor AC-DC monofásico de media onda. El modelo de la punta de prueba de corriente debe ser **80i-110s AC/DC CURRENT PROBE**, es decir la misma empleada con el osciloscopio Fluke 192B. Las conexiones se muestran en la Fig. 6.20. Considerar la bobina a6-a5 como fase A, la bobina b6-b5 como fase B y la bobina c6-c5 como fase C.

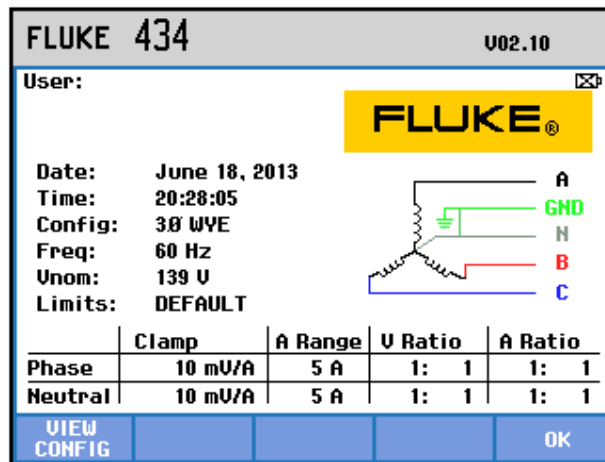


Figura 6.18 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434

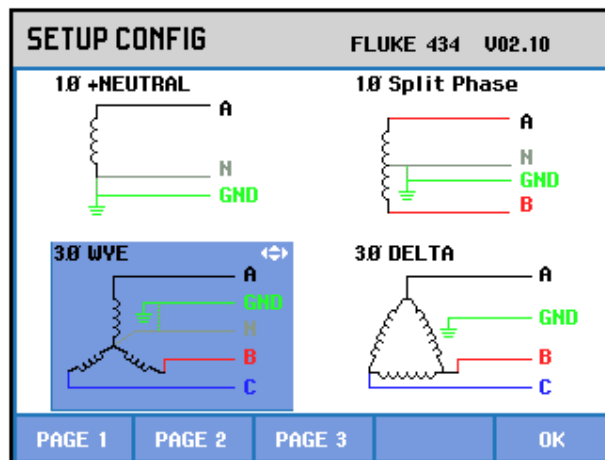


Figura 6.19 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos empleando el analizador de energía Fluke 434

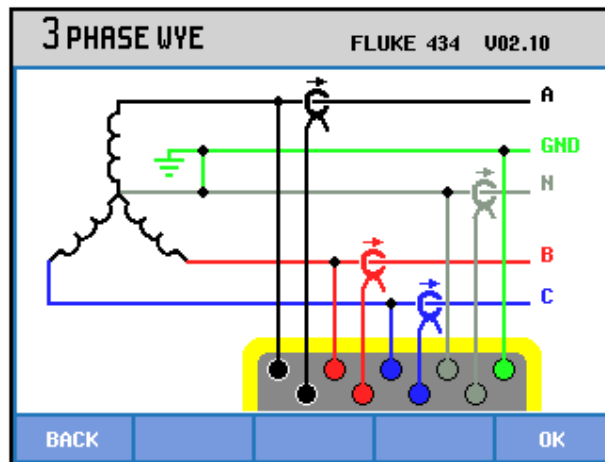


Figura 6.20 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos

Cabe recalcar que el neutro del convertidor analizado no está conectado a la tierra, por ello, conectar la punta de prueba de voltaje de tierra en el neutro del convertidor. Esto se realiza para poder emplear la única configuración trifásica en Y *con neutro* que dispone el analizador Fluke 434. Es necesario medir la corriente por el neutro dado que la misma no es nula y tiene un valor mayor a las corrientes de fase; esto se muestra en la Fig. 6.21. En el oscilograma de la Fig. 6.22 se muestra la matriz de voltajes de entrada al convertidor AC-DC analizado.

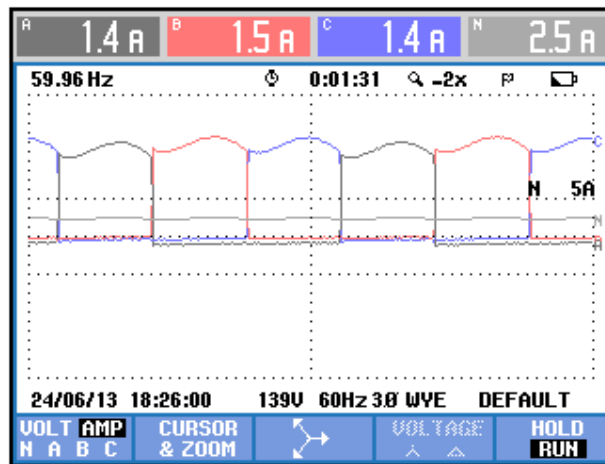


Figura 6.21 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos empleando el analizador de energía Fluke 434

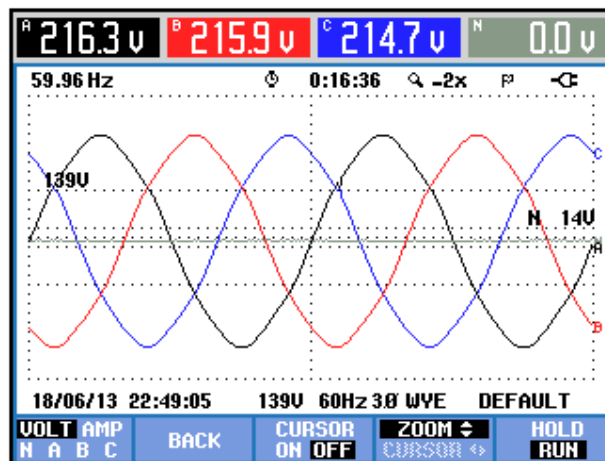


Figura 6.22 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ empleando el analizador de energía Fluke 434

6.3.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

Se puede observar en la Fig. 6.23 un listado de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase. Al comparar los resultados de un armónico dado con los de cada fase, éstos son similares, por lo que se mostrarán sólo los resultados de la fase A.

TABLA ARMÓNICOS				
Amp	A	B	C	N
THD%f	66.2	65.1	67.2	6689
H3%f	5.3	4.5	6.2	6374
H5%f	18.7	17.7	19.5	34.2
H7%f	13.2	13.9	12.5	30.8
H9%f	0.5	1.5	1.7	242.2
H11%f	8.6	7.6	9.3	27.2
H13%f	7.2	7.9	6.4	32.3
H15%f	0.5	1.6	1.6	93.4
24/06/13 18:27:39 139V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
U A W U&A	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN

Figura 6.23 THD y armónicos impares de la corriente de entrada al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.24. El valor promedio de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.25. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 6.26. Los parámetros de la segunda armónica, se muestran en la Fig. 6.27. Los parámetros de la tercera armónica, se muestran en la Fig.

6.28. Los parámetros de la cuarta armónica, se muestran en la Fig. 6.29. Los parámetros de la quinta armónica, se muestran en la Fig. 6.30. Los parámetros de la sexta armónica, se muestran en la Fig. 6.31. En la Tabla 6.1, se resumen los resultados obtenidos.

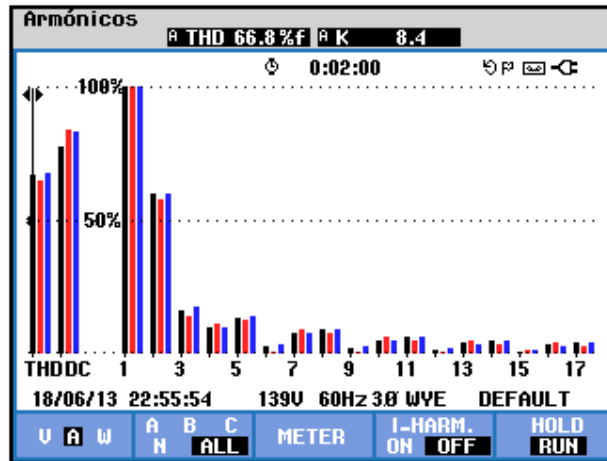


Figura 6.24 Medición de THD de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

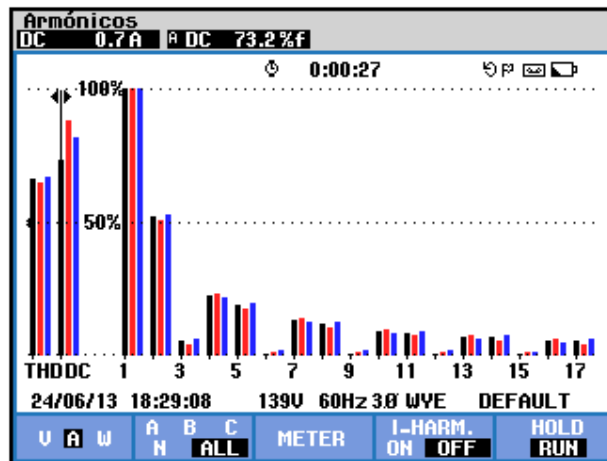


Figura 6.25 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

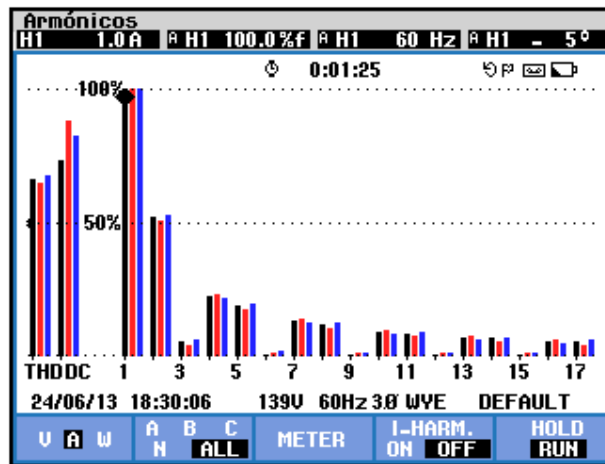


Figura 6.26 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada de la fase A al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

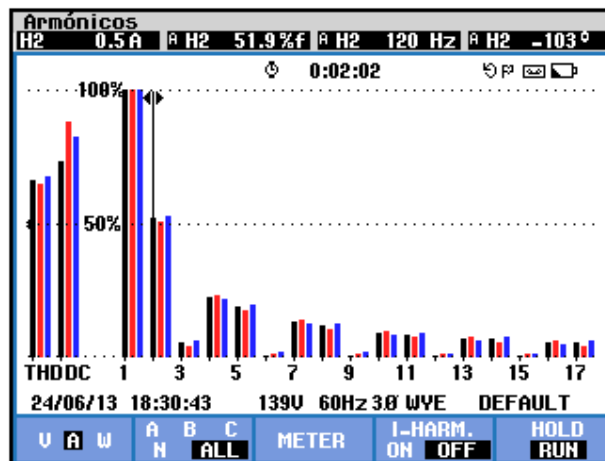


Figura 6.27 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

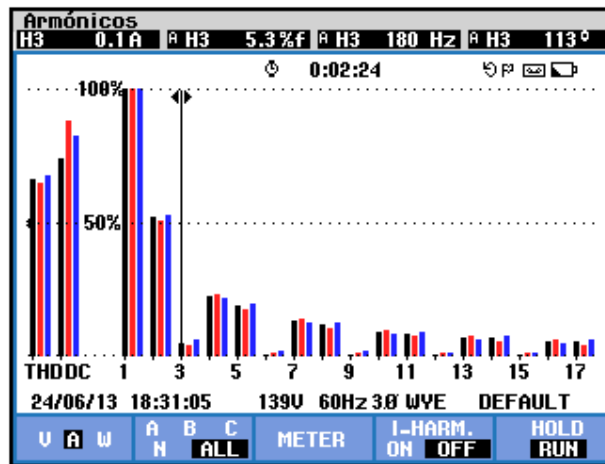


Figura 6.28 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

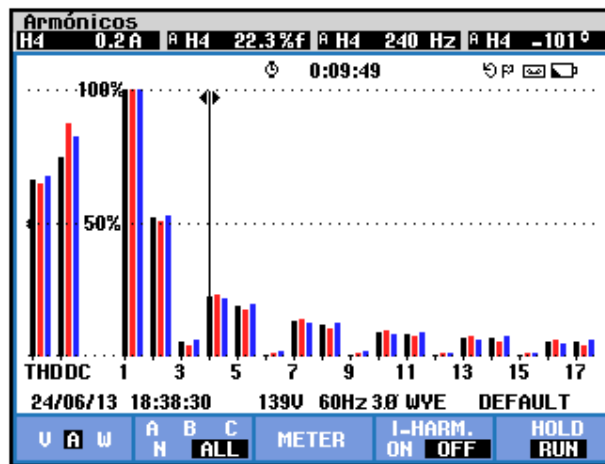


Figura 6.29 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

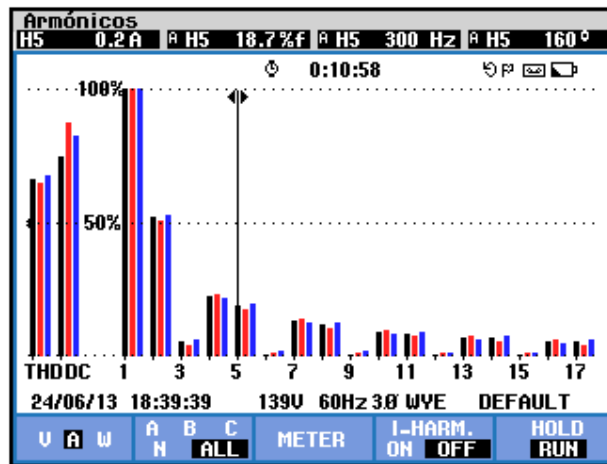


Figura 6.30 Parámetros de la quinta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

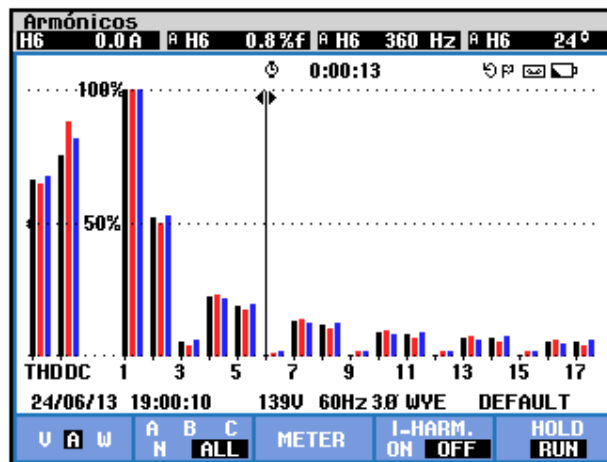


Figura 6.31 Parámetros de la sexta armónica de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

THD [%]	I_{DC} [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [$^\circ$]
66.8	0.7	1	1	-3
		2	0.5	-96
		3	0.1	176
		4	0.2	-101
		5	0.2	160
		6	0	24

Tabla 6.1 Resultados experimentales para los parámetros de las seis primeras armónicas de la corriente de entrada de la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

Se observa en las Figs. 6.24 a 6.31 que a partir de la cuarta armónica, la armónica siguiente, es decir la quinta, tiene un valor similar a la anterior; la armónica que sigue, es decir la sexta, tiene un valor despreciable. De esta forma, se observa en las figuras mencionadas, que las armónicas 7 y 8 tienen valores similares mientras que la armónica 9 tiene un valor casi nulo.

El desfase entre el voltaje y la corriente de entrada a la fase A del convertidor analizado, así como el valor eficaz de la armónica fundamental del voltaje y la corriente de entrada se muestra en la Fig. 6.32. El desfase entre el voltaje y la corriente de entrada a la fase B del convertidor analizado, así como el valor eficaz de la armónica fundamental del voltaje y la corriente de entrada se muestra en la Fig. 6.33. El desfase entre el voltaje y la corriente

de entrada a la fase C del convertidor analizado, así como el valor eficaz de la armónica fundamental del voltaje y la corriente de entrada se muestra en la Fig. 6.34. En el submenú POTENCIA Y ENERGÍA se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF** por fase. Estos parámetros se muestran en la Fig. 6.35.

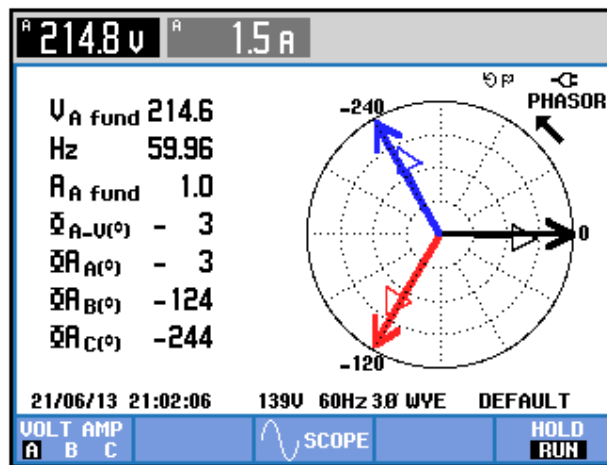


Figura 6.32 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase A convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

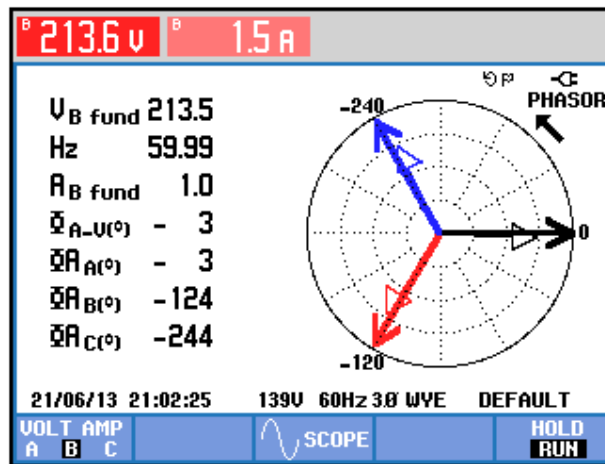


Figura 6.33 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase B en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

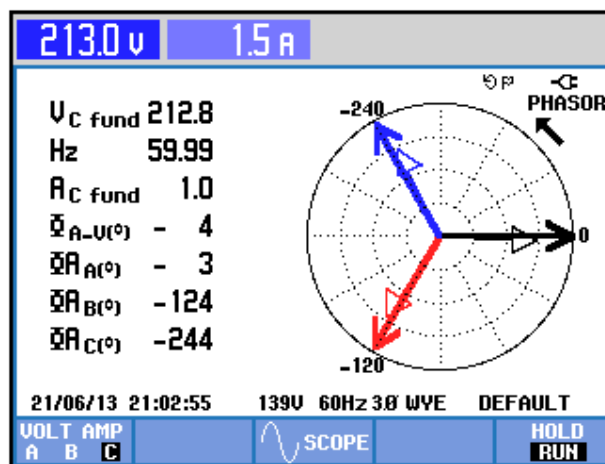


Figura 6.34 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de la fase C en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

Potencia y energía				
FUND	0:00:12			
	A	B	C	Total
W	220	220	220	670
VA	220	220	220	670
VAR	10	10	10	40
PF	0.69	0.68	0.68	0.69
DPF	1.00	1.00	1.00	1.00
Arms	1.5	1.5	1.5	
	A	B	C	
Vrms	214.6	213.7	212.9	
21/06/13 21:03:39 139V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Figura 6.35 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

6.3.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 5, correspondiente a 230mH.

La fórmula 3.9 permite calcular el intervalo de tiempo requerido para ajustar el ángulo de disparo en 60° .

$$t_{\alpha'} = \frac{8.33ms}{180^\circ} * (60^\circ) \quad (3.9)$$

$$t_{\alpha'} = 2.78ms$$

Considerar 30° adicionales a la medición anterior debido a que en el convertidor analizado, el ángulo de disparo α es medido a partir del

cruce por cero del voltaje línea-neutro de alimentación al mismo, por ello:

$$t_{\emptyset} = \frac{8.33ms}{180^{\circ}} * (30^{\circ})$$

$$t_{\emptyset} = 1.39ms$$

Por ende,

$$t_{\alpha} = t'_{\alpha} + t_{\emptyset}$$

$$t_{\alpha} = 2.78ms + 1.39ms$$

$$t_{\alpha} = 4.17ms$$

En el oscilograma de la Fig. 6.36, se muestra el ajuste del intervalo de tiempo correspondiente al ángulo de disparo. El ajuste más cercano, corresponde a 4.16ms. En el oscilograma de la Fig. 6.37, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida.

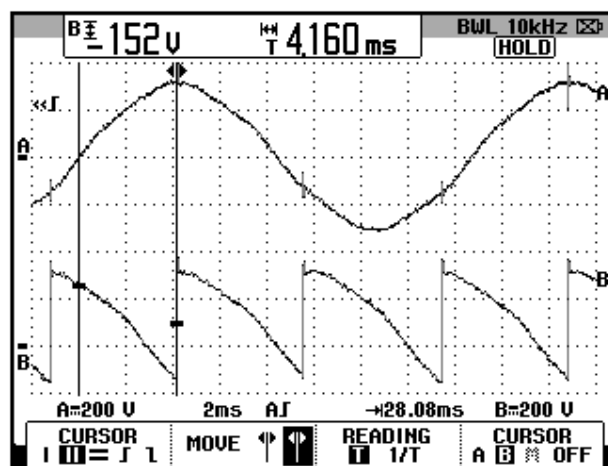


Figura 6.36 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=60^{\circ}$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 3 pulsos. (CH1: Va6-a5, CH2: Vout).

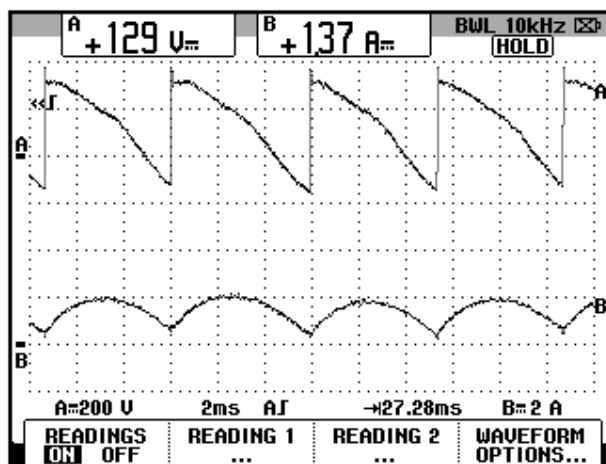


Figura 6.37 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout). Conducción continua.

6.3.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B.

En el oscilograma de la Fig. 6.38, se muestra el voltaje de alimentación al convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.39, se muestra el desfase entre el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje línea-línea B1-B3. En el oscilograma de la Fig. 6.40, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH1 y el voltaje línea-línea B1-B3. En el oscilograma de la Fig. 6.41, se muestra la corriente a través de TH1 y el voltaje línea-línea B1-B3. En el oscilograma de la Fig. 6.42, se muestra el desfase entre el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje línea-línea B2-B1. En el oscilograma de la Fig. 6.43, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH2 y el voltaje línea-línea B2-B1. En el oscilograma

de la Fig. 6.44, se muestra la corriente a través de TH2 y el voltaje línea-línea B2-B1. En el oscilograma de la Fig. 6.45, se muestra el desfase entre el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje línea-línea B3-B2. En el oscilograma de la Fig. 6.46, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH3 y el voltaje línea-línea B3-B2. En el oscilograma de la Fig. 6.47, se muestra el voltaje línea-línea B1-B0 y el voltaje en la resistencia. En el oscilograma de la Fig. 6.48, se muestra el voltaje línea-línea B1-B0 y el voltaje en el inductor.

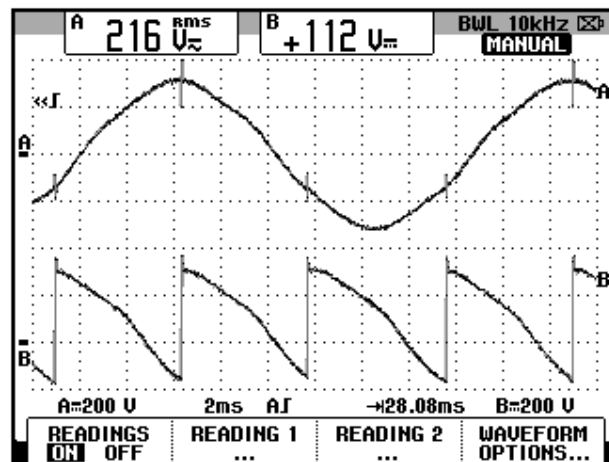


Figura 6.38 Oscilograma que muestra el voltaje de la bobina a6-a5 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Va6-a5, CH2: Vout).

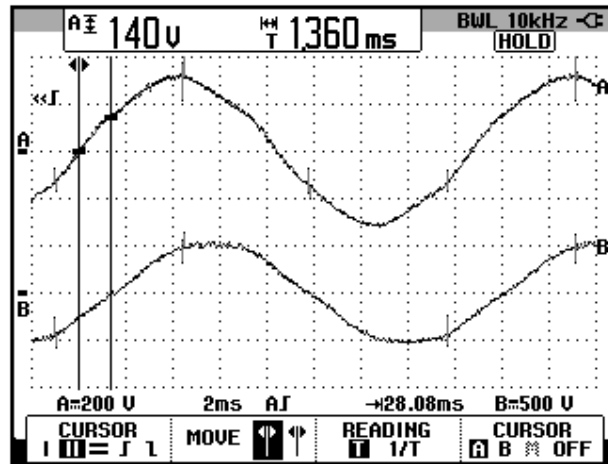


Figura 6.39 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb1-b3).

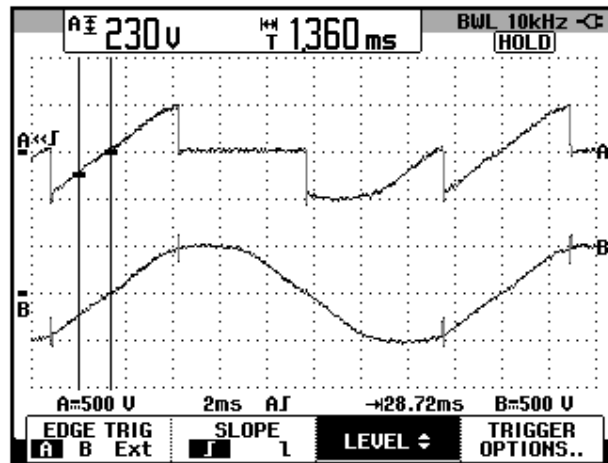


Figura 6.40 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH1 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth1, CH2: Vb1-b3).

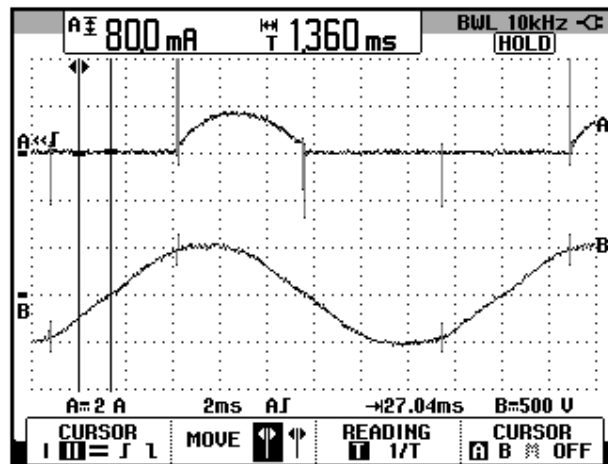


Figura 6.41 Oscilograma que muestra la corriente en TH1 y el voltaje de línea-línea B1-B3 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Ith1, CH2: Vb1-b3).

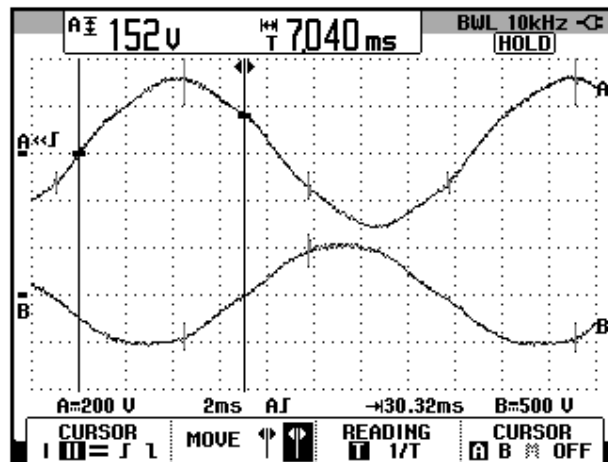


Figura 6.42 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb2-b1)

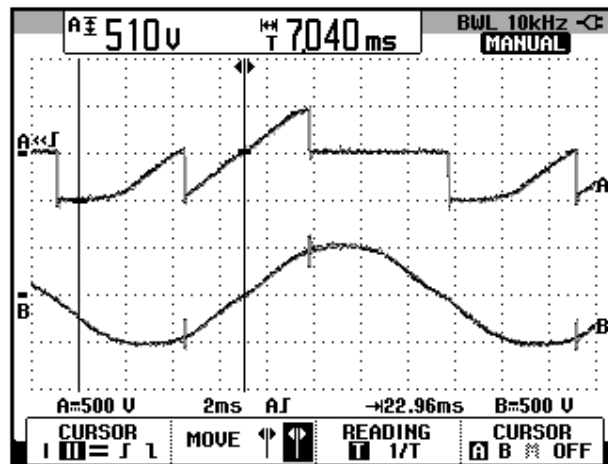


Figura 6.43 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH2 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth2, CH2: Vb2-b1).

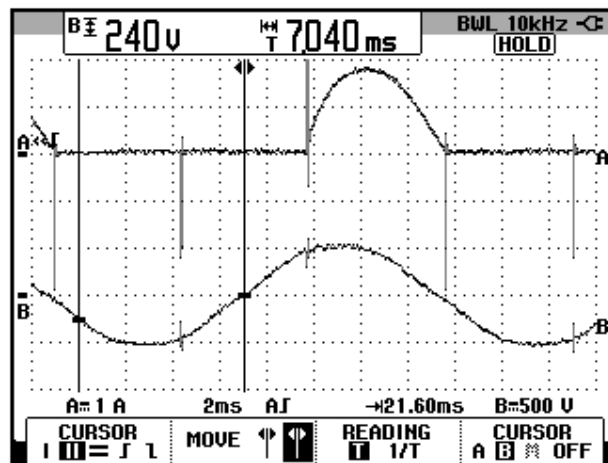


Figura 6.44 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH3 y el voltaje de línea-línea B2-B1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Ith2, CH2: Vb2-b1).

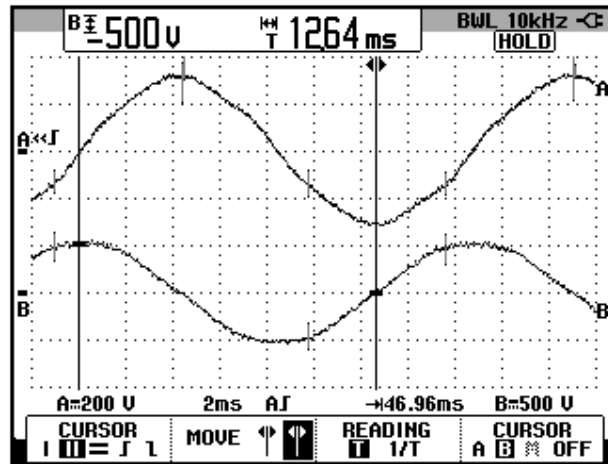


Figura 6.45 Oscilograma que muestra el voltaje línea-neutro B1-B0 y el voltaje de línea-línea B3-B2 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$ (CH1: Vb1-b0, CH2: Vb3-b2).

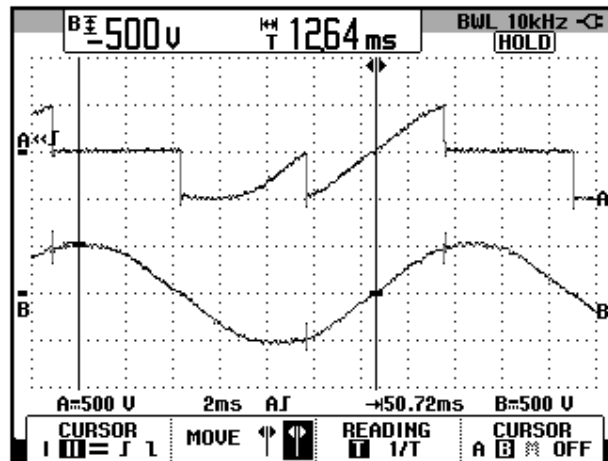


Figura 6.46 Oscilograma que muestra el voltaje A-K en TH3 y el voltaje de línea-línea B3-B2 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vth3, CH2: Vb3-b2).

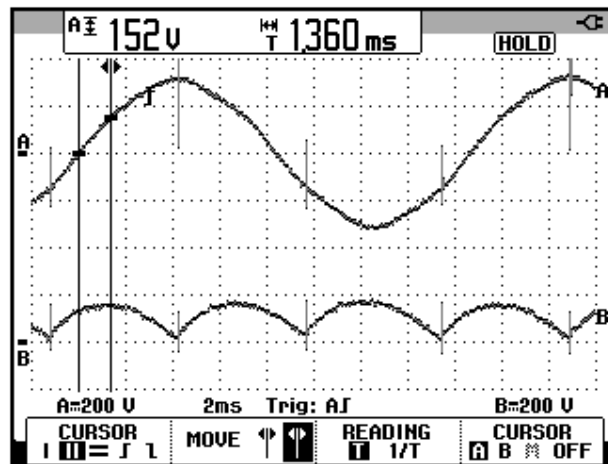


Figura 6.47 Oscilograma que muestra el voltaje de línea-neutro B1-B0 y el voltaje en la resistencia en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vb1-b0, CH2: Vr).

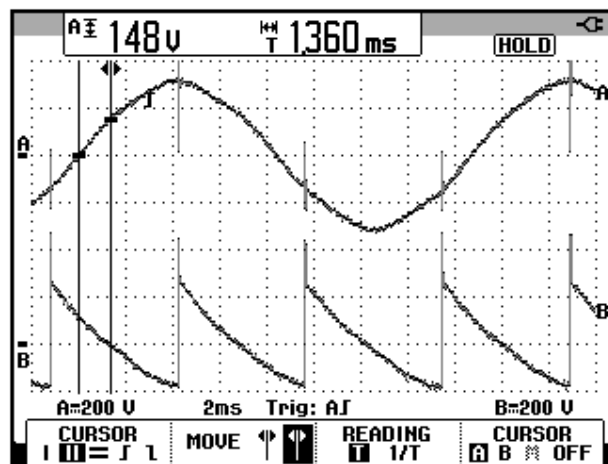


Figura 6.48 Oscilograma que muestra el voltaje de línea-neutro B1-B0 y el voltaje en el inductor en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=60^\circ$. (CH1: Vb1-b0, CH2: Vi).

6.4. Convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico).

En esta sección se desarrolla el segundo experimento de la práctica.

6.4.1. Objetivos

Analizar el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos por medio del cálculo de figuras de mérito, del análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y visualizando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

6.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC de media onda controlado de 6 pulsos, se muestra en la Fig. 6.49. Las conexiones del secundario del transformador trifásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 6.50. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 6.51.

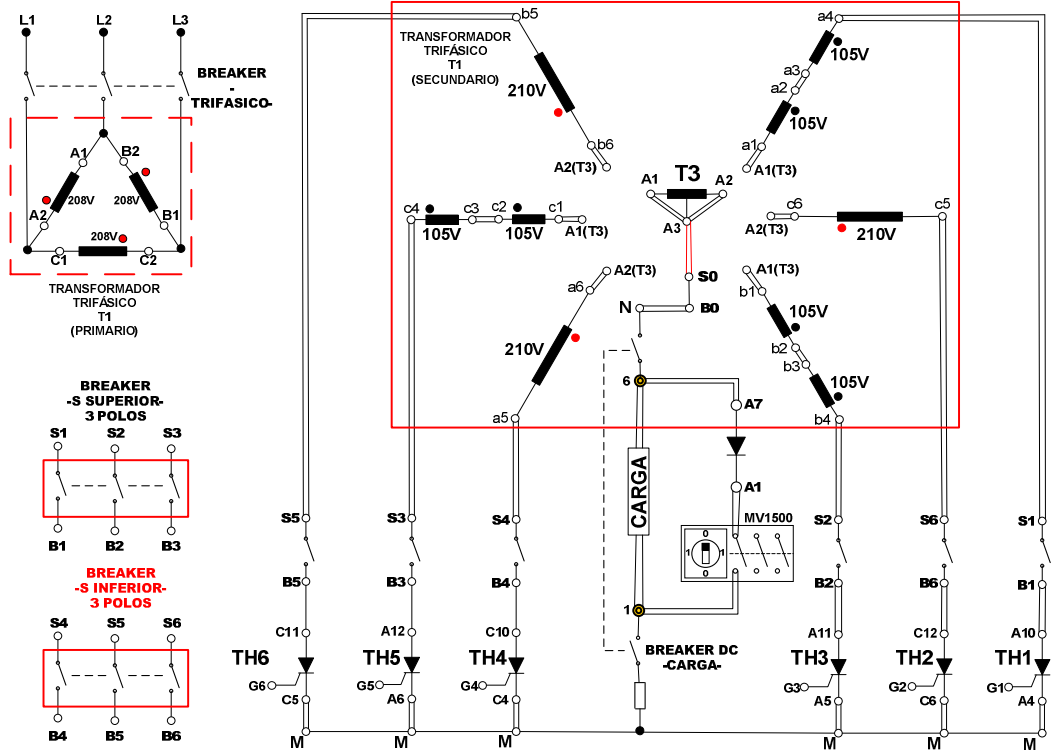


Figura 6.49: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico)

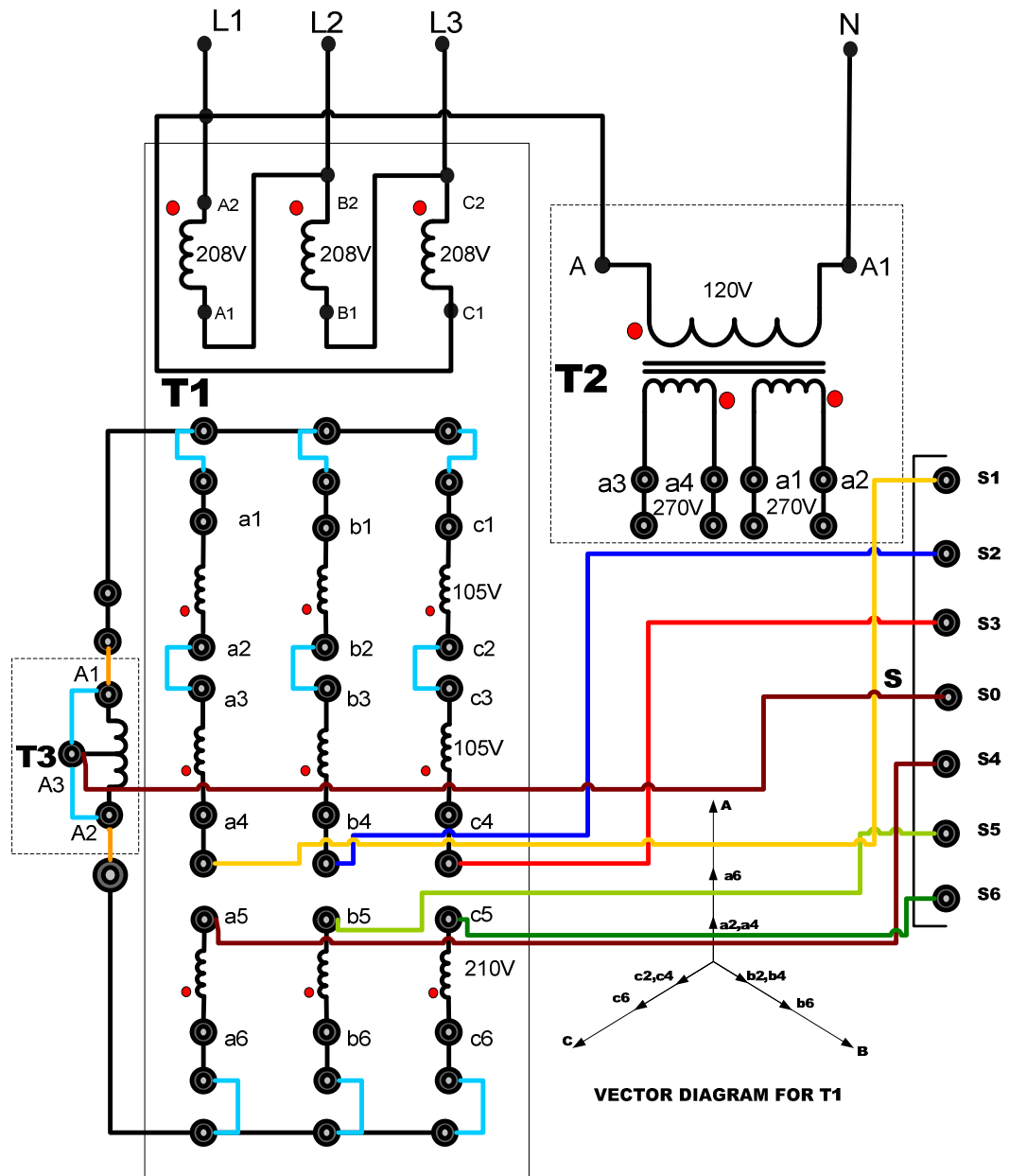


Figura 6.50: Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje hexafásica en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos.

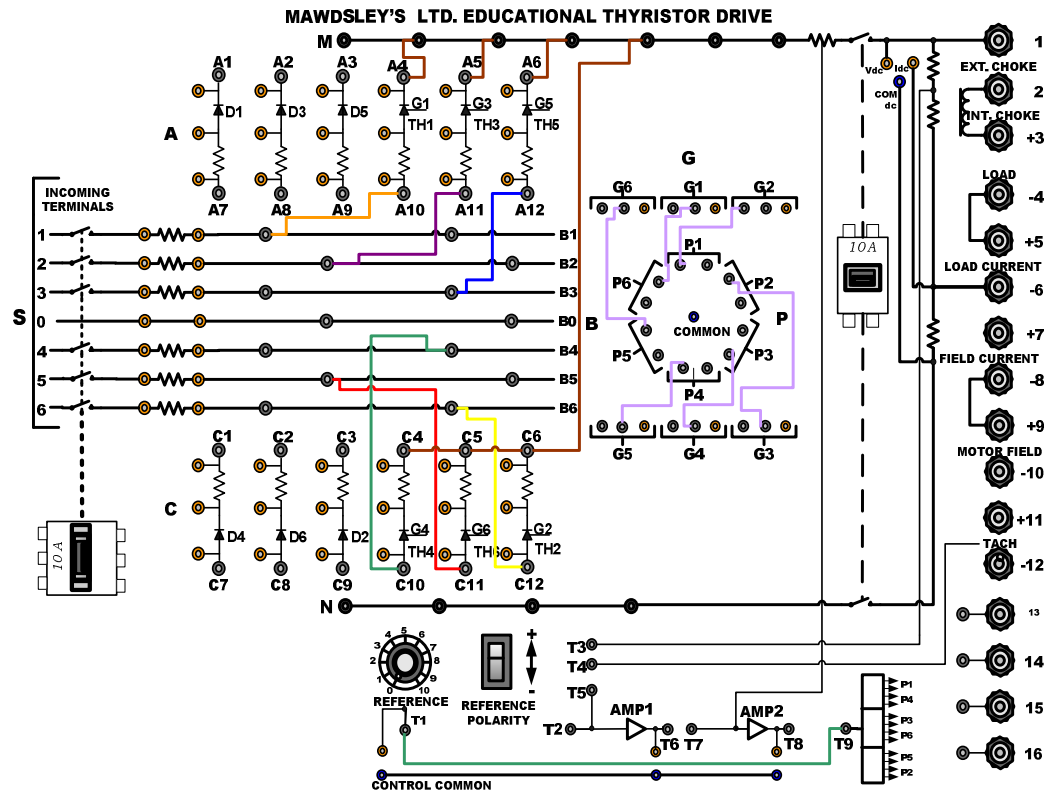


Figura 6.51: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (con fuente de seis fases: conexión con toma central del transformador trifásico) en el panel frontal del Drive Mawdsley's

6.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=0^\circ$. En el rectificador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 60° después del cruce por cero del voltaje en el arreglo serie de las bobinas a4-a3 y a2-a1 o de cada una de las bobinas que generan el voltaje hexafásico. En la Fig. 6.52, se muestra la medición del intervalo correspondiente a 60° y el instante a partir del cual se varía α .

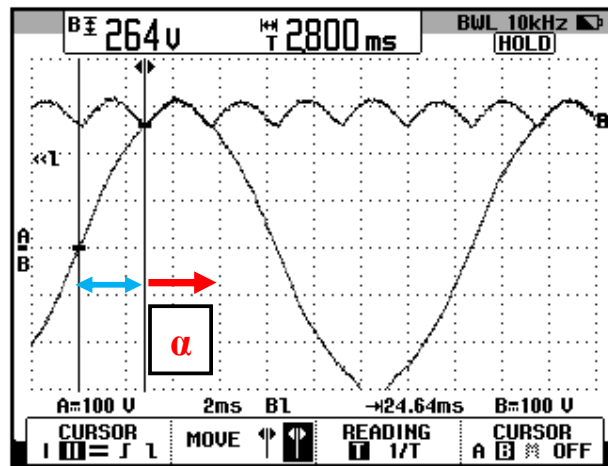


Figura 6.52: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos (CH1: V a4-a3 + a2-a1; CH2: Vout)

Observar el oscilograma de la Fig. 6.53. En el voltaje de salida existen seis crestas correspondientes a los voltajes de línea-neutro es decir los voltajes en los nodos S1-S0, S2-S0, S3-S0, S4-S0, S5-S0 y S6-S0. Las seis crestas aparecen en un periodo del voltaje en el nodo S1-S0 el cual corresponde al voltaje en el arreglo serie de las bobinas a4-a3 y a2-a1; éste es el motivo del nombre del convertidor analizado. En la Fig. 6.53 se observa que durante un periodo del voltaje S1-S0, aparecen seis crestas en el voltaje de salida. Se puede concluir que cada cresta tiene una duración de 60° . En el oscilograma de la Fig. 6.54, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.55, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.56, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

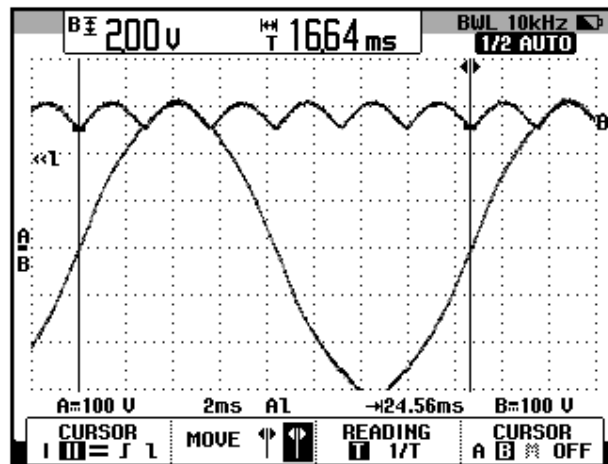


Figura 6.53: Oscilograma que muestra seis crestas en el voltaje de salida del convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Va6-a5; CH2: Vout)

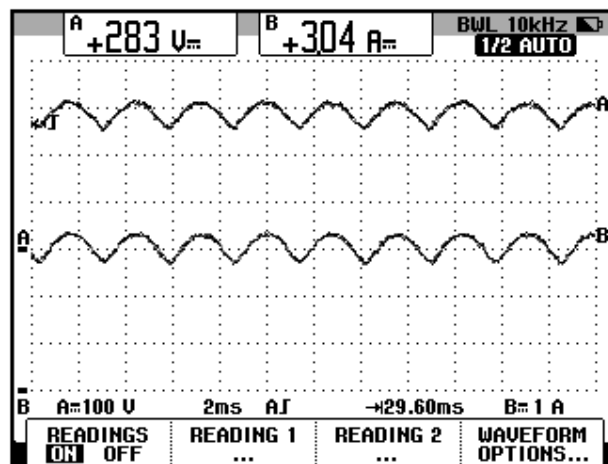


Figura 6.54: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

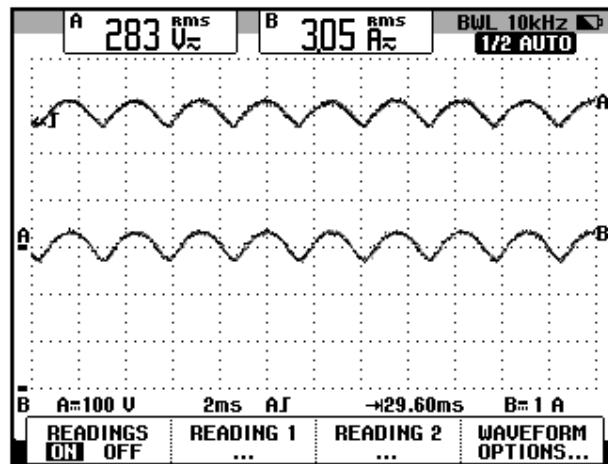


Figura 6.55: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

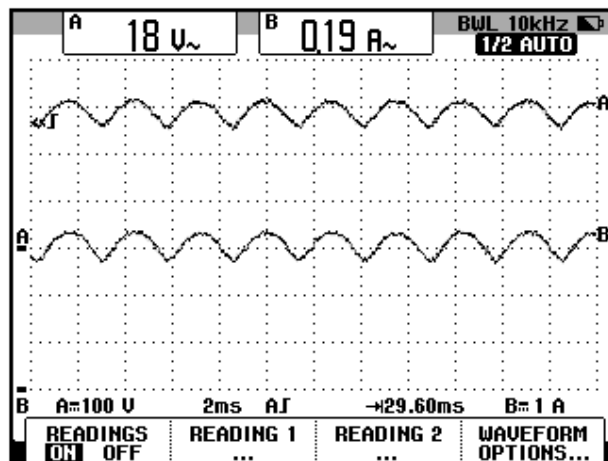


Figura 6.56: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=0^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 863.15 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig.

6.57:

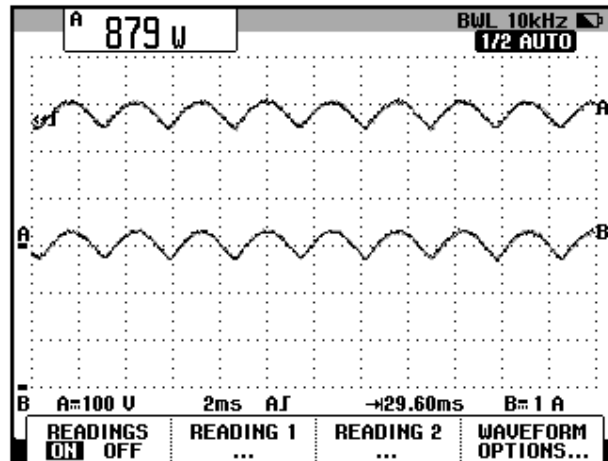


Figura 6.57: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{OUT(AC)}$) en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

La eficiencia del convertidor:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}}$$

$$\eta = 0.98$$

El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida:

$$FF = \frac{V_{OUT(RMS)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$FF = 1$$

El factor de rizo (RF, de *ripple factor*), que es una medida del contenido alterno residual:

$$RF = \frac{V_{OUT(AC)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$RF = 0.06$$

6.4.4. Análisis de armónicos de la corriente del primario del transformador en el convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

Dado que la fuente de alimentación del convertidor AC-DC analizado es hexafásica y el analizador de energía permite únicamente el análisis de sistemas trifásicos de 50/60 Hz, se realizará el análisis de armónicos en el primario del transformador trifásico.

6.4.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el menú **SETUP**, como se muestra en la Fig. 6.58. En el submenú CONFIG., elegir la configuración 3Ø DELTA, tal como se muestra en la Fig. 6.59.

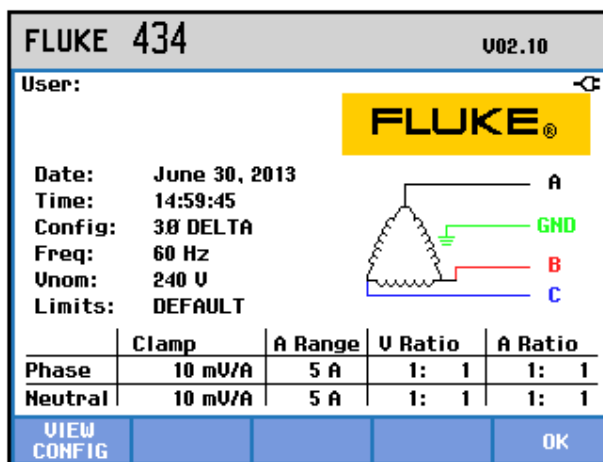


Figura 6.58 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434

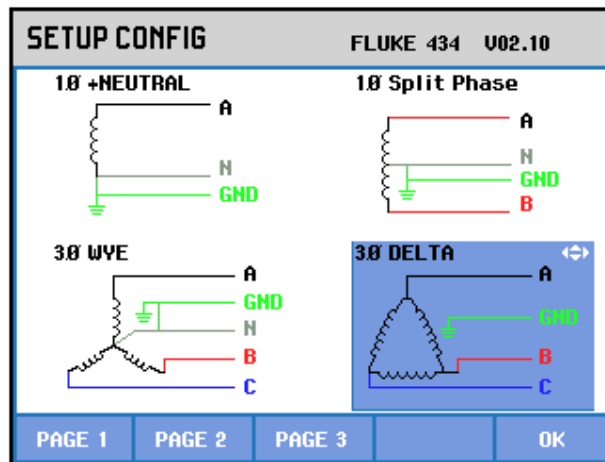


Figura 6.59 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos en el analizador de energía Fluke 434

Observar en la Fig. 3.40, el plano eléctrico general del drive Mawdsley's. Se realizarán las mediciones en el primario del transformador trifásico **PTREC. 40**; en la Fig. 6.60, se muestra una imagen real del mismo. En esta imagen se pueden apreciar las terminales del primario y del secundario. Como se puede apreciar en el plano eléctrico general del drive, las terminales del primario son los cables con las marquillas A2, B2 y C2. En la Fig. 6.61 se observan de forma ampliada los cables con las marquillas A2, B2 y C2.

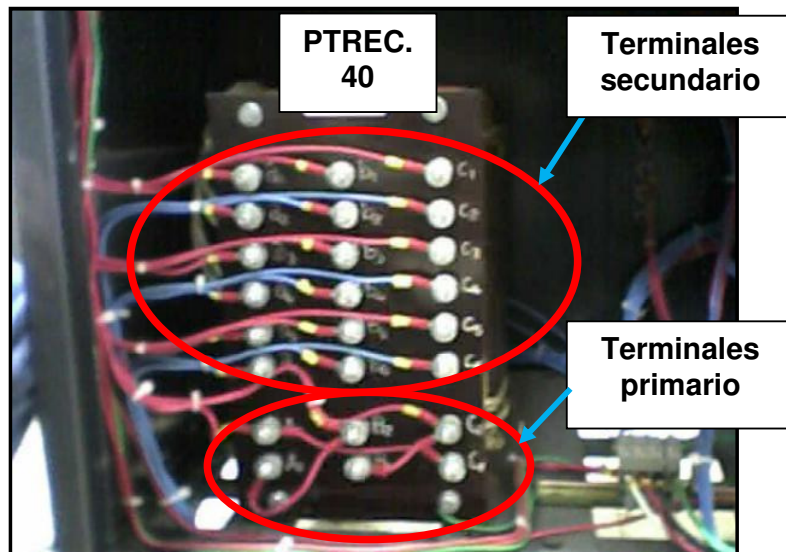


Figura 6.60 Transformador trifásico PTREC. 40 instalado en la parte posterior inferior del drive Mawdsley's.

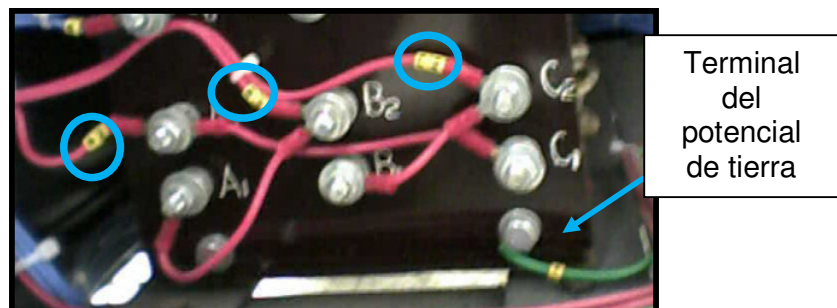


Figura 6.61 Terminales del primario del transformador trifásico PTREC. 40 del drive Mawdsley's.

En base a la descripción del transformador trifásico, realizar las conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente entre el analizador y el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. Las conexiones se muestran en la Fig. 6.62. Considerar la terminal donde está conectado el cable de la marquilla A2 de la Fig. 6.61, como la fase A de la Fig. 6.62. Realizar un procedimiento similar con las fases B y C. Considerar

la terminal del potencial de tierra del drive, la cual se muestra en la Fig. 3.14 ó en la Fig. 6.61.

El modelo de la punta de prueba de corriente debe ser **80i-110s AC/DC CURRENT PROBE**, es decir, la misma empleada con el osciloscopio Fluke 192B.

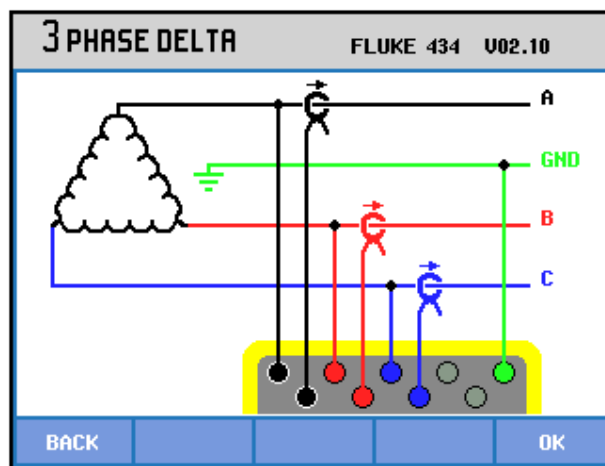


Figura 6.62 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al primario del transformador trifásico PTREC. 40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

6.4.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

En la Fig. 6.63, se muestran las corrientes de entrada al primario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig. 6.64 se muestra la matriz de voltajes de entrada al primario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig. 6.65 se muestra el voltaje y la corriente de la fase A del

transformador trifásico PTREC. 40. Esta imagen permite apreciar la forma de onda de una fase de la corriente de entrada al transformador trifásico. Se puede observar en la Fig. 6.66 un listado de los valores de las componentes amónicas impares junto con el THD de cada fase.

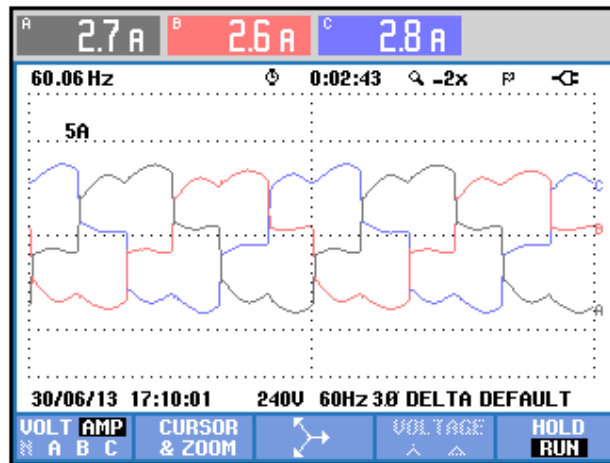


Figura 6.63 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

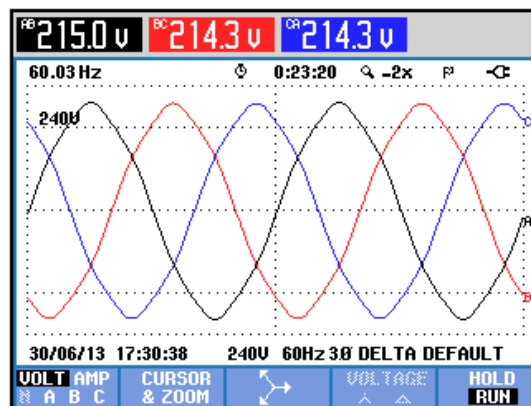


Figura 6.64 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

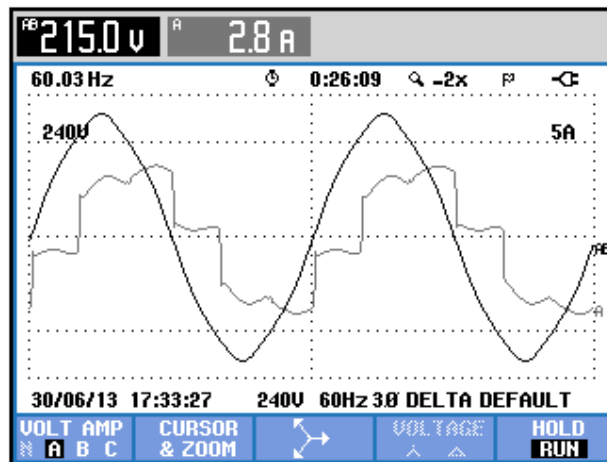


Figura 6.65 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

TABLA ARMÓNICOS			
Amp	A	B	C
THD%f	27.8	28.3	28.5
H3%f	1.7	1.2	2.0
H5%f	22.7	22.7	23.3
H7%f	9.1	10.5	8.8
H9%f	0.2	1.6	1.7
H11%f	7.9	7.0	8.5
H13%f	5.3	6.4	4.8
H15%f	0.1	1.6	1.6

0:01:15

30/06/13 18:00:26 240V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT

U A V HARMONIC TREND HOLD
U&A GRAPH RUN

Figura 6.66 THD y armónicos impares de la corriente de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

A continuación, se mostrarán solo los resultados de la fase A debido a la similitud de los resultados de una misma armónica. La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la

Fig. 6.67. La medición DC de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.68. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 6.69. Los parámetros de la segunda armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.70. Los parámetros de la tercera armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.71. Los parámetros de la cuarta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.72. Los parámetros de la quinta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.73. Los parámetros de la sexta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.74. Los parámetros de la séptima armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.75. En la Tabla 6.2, se resumen los resultados obtenidos.

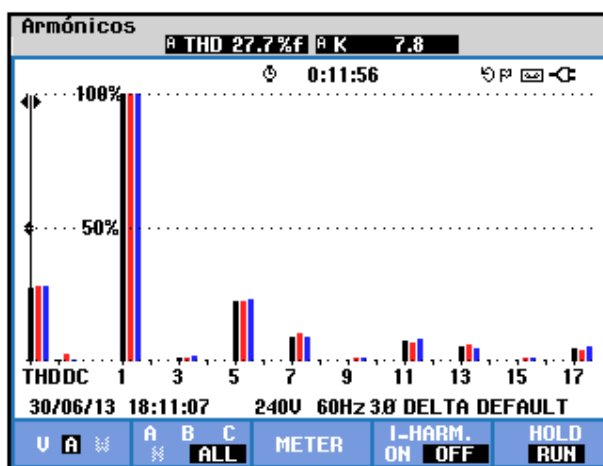


Figura 6.67 Medición de THD de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

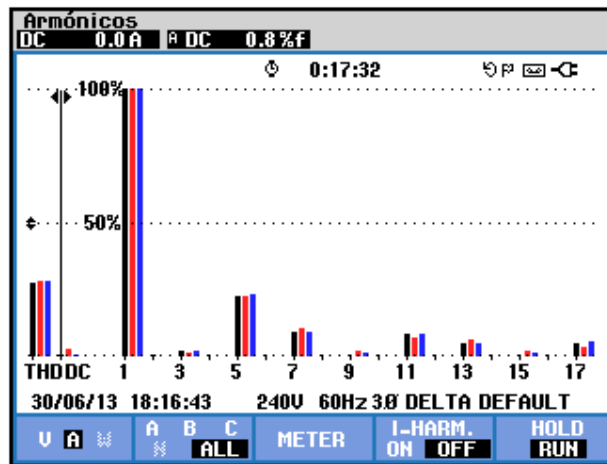


Figura 6.68 Medición DC de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

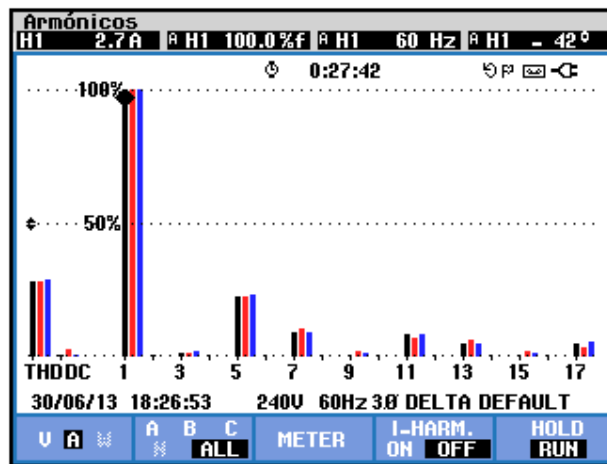


Figura 6.69 Medición de la armónica fundamental de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

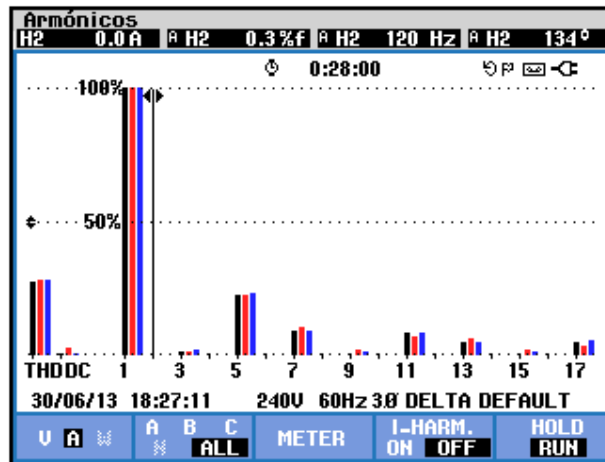


Figura 6.70 Medición de la segunda armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

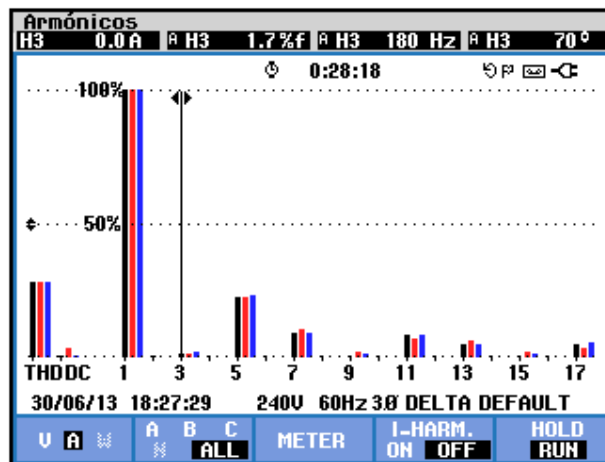


Figura 6.71 Medición de la tercera armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

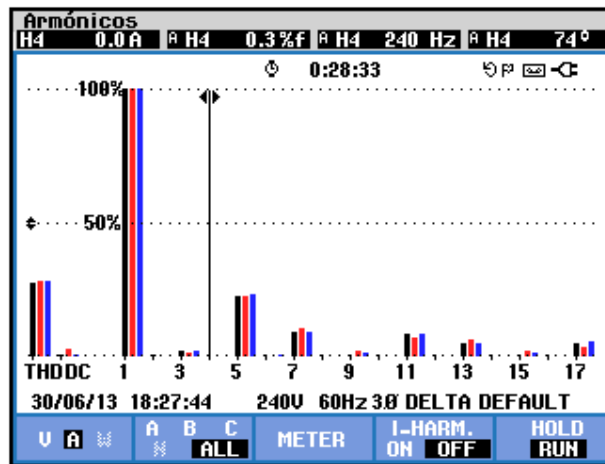


Figura 6.72 Medición de la cuarta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

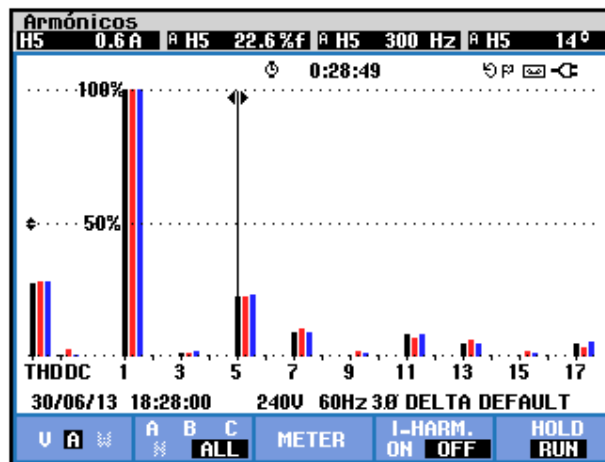


Figura 6.73 Medición de la quinta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

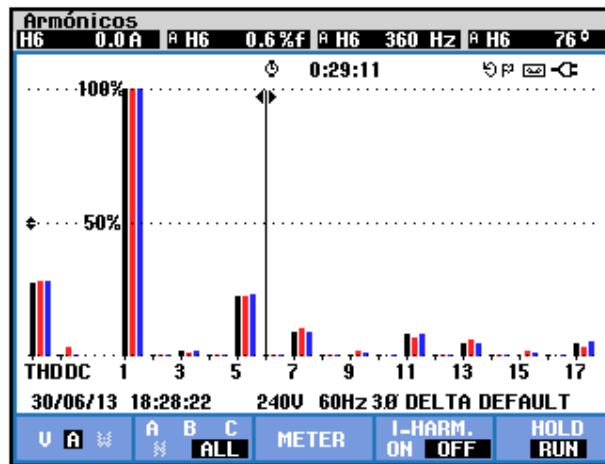


Figura 6.74 Medición de la sexta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

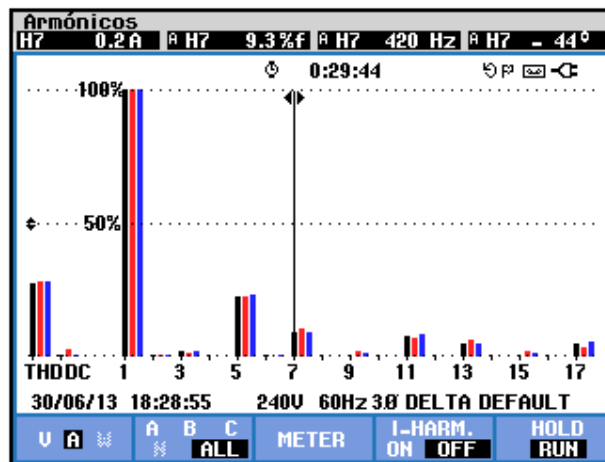


Figura 6.75 Medición de la séptima armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

THD [%]	I_{DC} [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [$^\circ$]
27.7	0	1	2.7	-42
		2	0	134
		3	0	70
		4	0	74
		5	0.6	14
		6	0	76
		7	0.2	-44

Tabla 6.2 Resultados experimentales para los parámetros de las siete primeras armónicas de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

Los parámetros de los voltajes de entrada al transformador trifásico PTREC. 40 se muestran en la 6.76. En la Fig. 3.40, el plano eléctrico general del drive Mawdsley's, indica que estos son los voltajes de línea-línea en la red del Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la parte media izquierda, se muestran los valores eficaces de las armónicas fundamentales de los voltajes de línea-neutro. En la parte inferior izquierda, se muestran las fases de cada voltaje de línea-neutro. Los parámetros de la corriente de entrada al transformador trifásico PTREC. 40 se muestran en la 6.77. En la parte media izquierda, se muestran los valores eficaces de las armónicas fundamentales de las corrientes de línea. En la parte inferior izquierda, se muestran las fases de cada

corriente de línea. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase A y la corriente de entrada a la fase A del transformador PRTEC. 40 se muestra en la Fig. 6.78. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase B y la corriente de entrada a la fase B del transformador PRTEC. 40 se muestra en la Fig. 6.79. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase C y la corriente de entrada a la fase C del transformador PRTEC. 40 se muestra en la Fig. 6.80. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**. Estos parámetros se muestran en la Fig. 6.81.

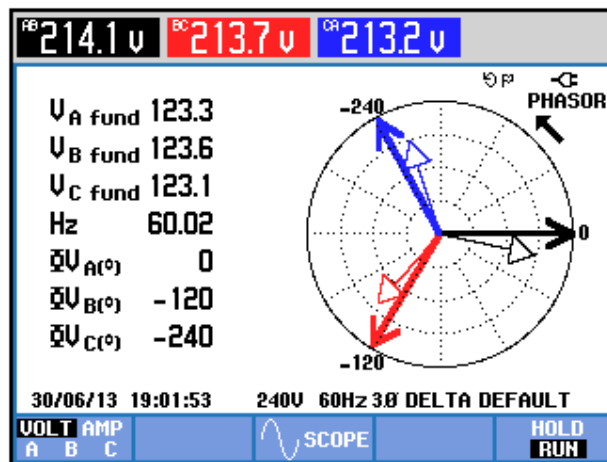


Figura 6.76 Parámetros de los voltajes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

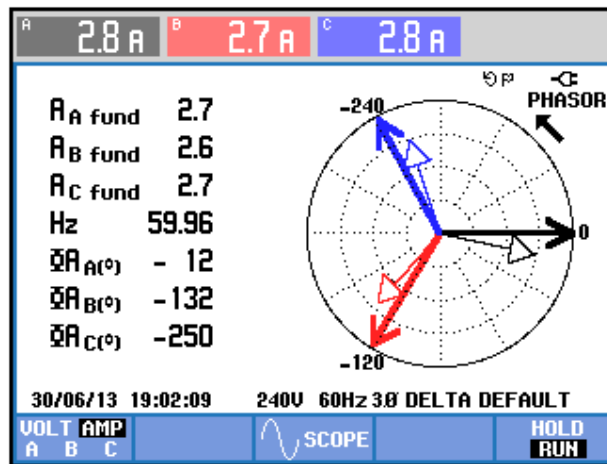


Figura 6.77 Parámetros de las corrientes de entrada al transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

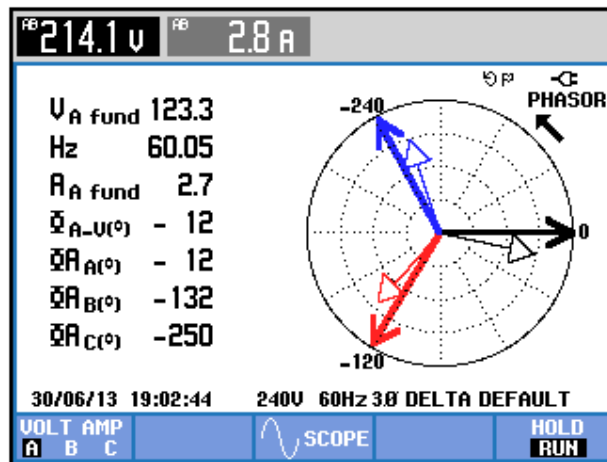


Figura 6.78 Parámetros de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

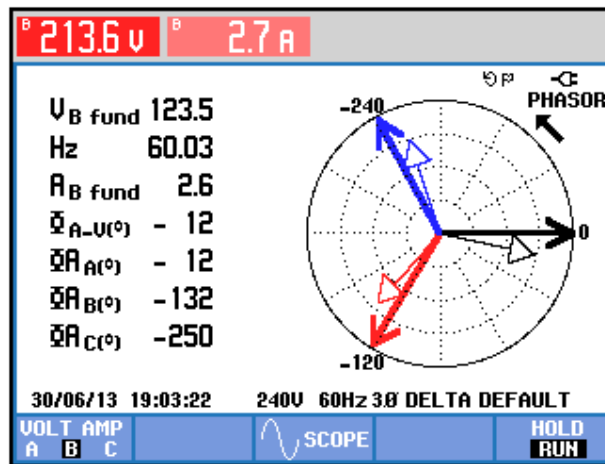


Figura 6.79 Parámetros de la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

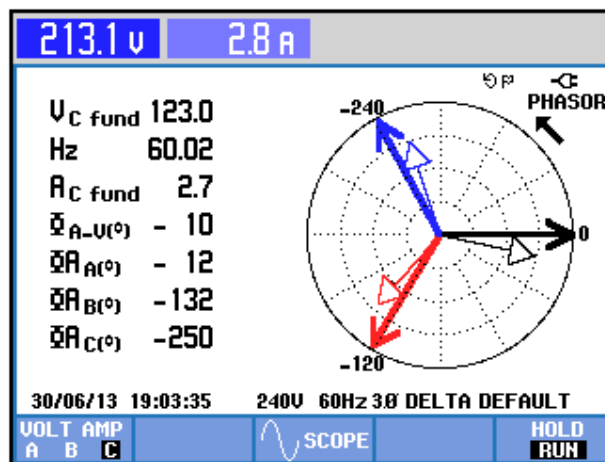


Figura 6.80 Parámetros de la corriente de entrada a la fase C del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos

Potencia y energía				
FUND	0:00:48			
	A	B	C	Total
W				960
VA				980
VAR				180
PF				0.95
DPF				0.98
Arms	2.8	2.7	2.8	
	AB	BC	CA	
Vrms	214.1	213.5	213.1	
30/06/13 19:56:28 240V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Figura 6.81 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga R y $\alpha=0^\circ$

6.4.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 5, correspondiente a 230mH.

El intervalo de tiempo correspondiente para ajustar el ángulo de disparo en 30° :

$$t_{\alpha'} = \frac{8.33ms}{180^\circ} * (30^\circ)$$

$$t_{\alpha'} = 1.39ms$$

Al igual que en el convertidor AC-DC analizado anteriormente, considerar 60° adicionales a la medición anterior debido a que en el

convertidor analizado en este momento, el ángulo de disparo α es medido a partir del cruce por cero del voltaje línea-neutro de alimentación al mismo, por ello:

$$t_{\emptyset} = \frac{8.33ms}{180^{\circ}} * (60^{\circ})$$

$$t_{\emptyset} = 2.78ms$$

Por ende,

$$t_{\alpha} = t'_{\alpha} + t_{\emptyset}$$

$$t_{\alpha} = 1.39ms + 2.78ms$$

$$t_{\alpha} = 4.17ms$$

En el oscilograma de la Fig. 6.82, se muestra el ajuste del intervalo de tiempo correspondiente al ángulo de disparo. El ajuste más cercano, corresponde a 4.16ms. Otra forma más sencilla de realizar el ajuste del ángulo de disparo consiste en fijar el ángulo de disparo en cero grados con el potenciómetro REFERENCE y ajustando el menú CURSOR como se muestra en la Fig. 6.83. Luego, ajustar el cursor derecho hasta que la medición del intervalo del ángulo de disparo sea cercana a $t'_{\alpha} = 1.39ms$, correspondiente a 30° , tal como se muestra en la Fig. 6.84. En el oscilograma de la Fig. 6.84, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. Debido a que la conducción es continua, no se medirá el ángulo de conducción, dado que el mismo corresponde a 60° .

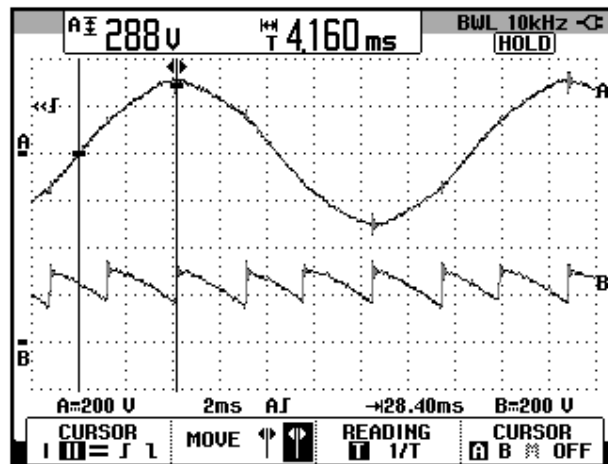


Figura 6.82 Oscilograma que muestra el ajuste del menú CURSOR en el osciloscopio Fluke 192B para fijar $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a2-a1$, CH2: V_{out}).

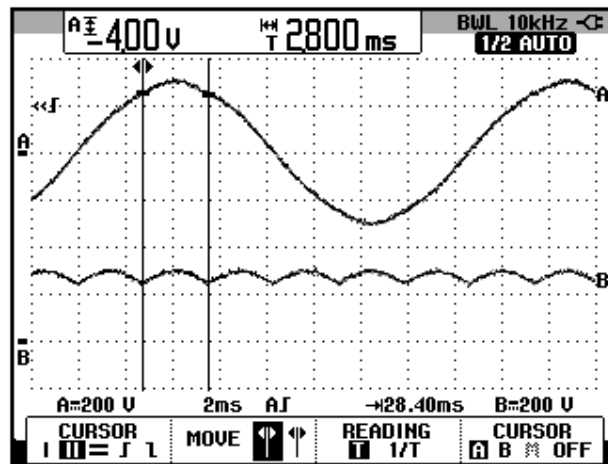


Figura 6.83 Oscilograma que muestra el voltaje de salida en $\alpha=0^\circ$ previo al ajuste de $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a2-a1$, CH2: V_{out}).

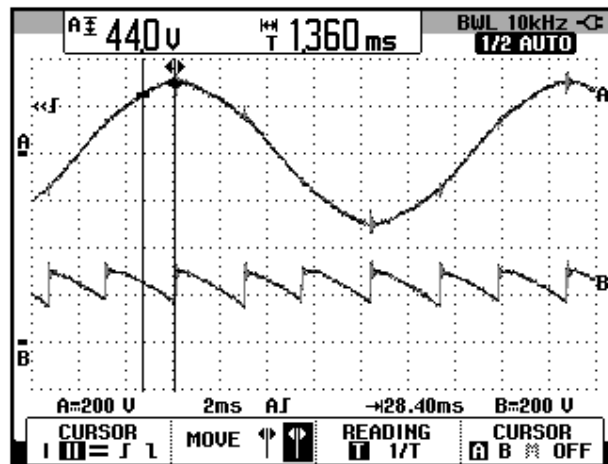


Figura 6.84 Oscilograma que muestra un segundo método de ajuste del ángulo de disparo en $\alpha=30^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de media onda de 6 pulsos. (CH1: $V_{a4-a3} + a2-a1$, CH2: V_{out}).

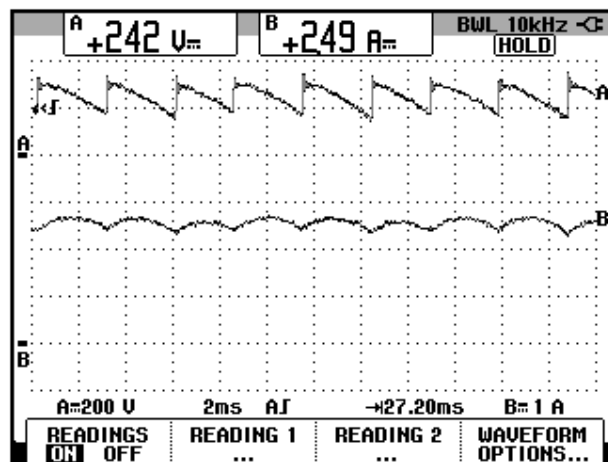


Figura 6.85 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 3 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: v_{out} , CH2: i_{out}). Conducción continua.

6.4.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Se tomará como referencia cruce por cero ascendente del voltaje en las terminales **S1** y **S0**.

En el oscilograma de la Fig. 6.86, se muestra el voltaje S1-S0 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.87, se muestra el voltaje de S1-S0 de entrada del convertidor AC-DC analizado y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.88, se muestra el voltaje de S1-S0 de entrada del convertidor AC-DC analizado y la corriente a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.89, se muestra el voltaje de S1-S0 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1.

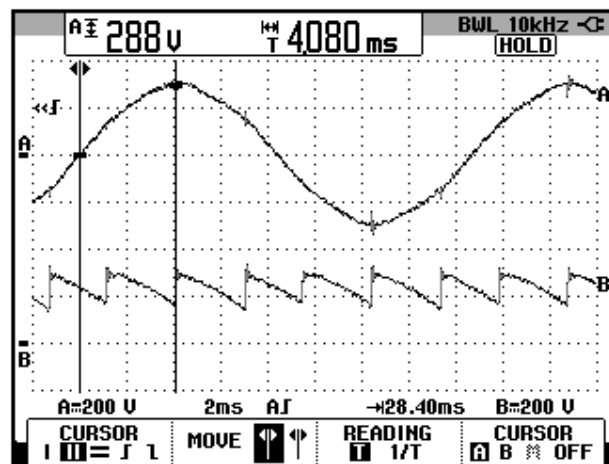


Figura 6.86 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vout).

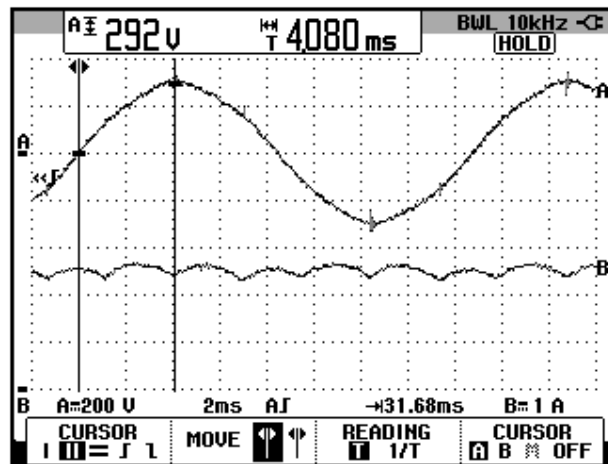


Figura 6.87 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout).

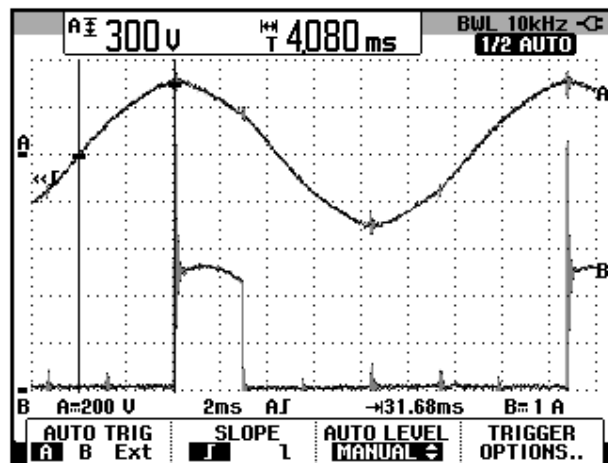


Figura 6.88 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).

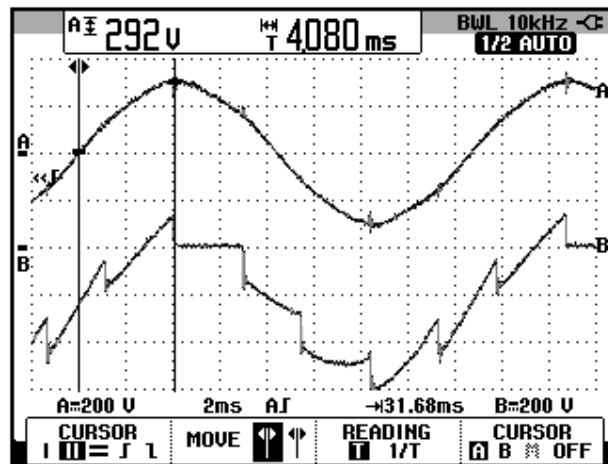


Figura 6.89 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje A-K de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

En el oscilograma de la Fig. 6.90, se muestra el voltaje de S1-S0 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1 nuevamente. Cabe recalcar que el voltaje S1-S0 es un voltaje de línea-neutro. Se observa que al hacer coincidir las referencias de cada canal en la misma grilla horizontal, en ningún instante se superponen estas dos formas de onda, por este motivo, se encontrarán los voltajes línea-línea que se superponen en intervalos específicos.

En el oscilograma de la Fig. 6.91, se muestra el voltaje de S1-S6 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.92, se muestra la corriente a través de TH2 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.93, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH2 y el voltaje

ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.94, se muestra el voltaje S1-S2 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.95, se muestra la corriente a través de TH3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.96, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.97, se muestra el voltaje de S1-S4 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.99, se muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH4 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.98, se muestra la corriente a través de TH4 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.100, se muestra el voltaje de S1-S3 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.101, se muestra la corriente a través de TH5 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.102, se muestra el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.103, se muestra el voltaje S1-S5 de entrada del convertidor AC-DC analizado y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.104, se muestra la corriente a través de TH6 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.105, se muestra el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6 y el voltaje ánodo-cátodo en TH1.

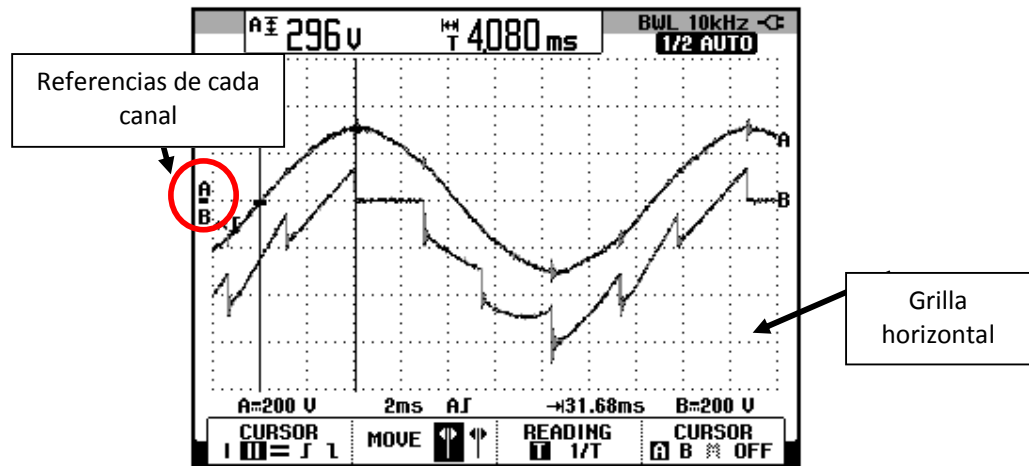


Figura 6.90 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 con las referencias de cada canal en la misma grilla horizontal en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

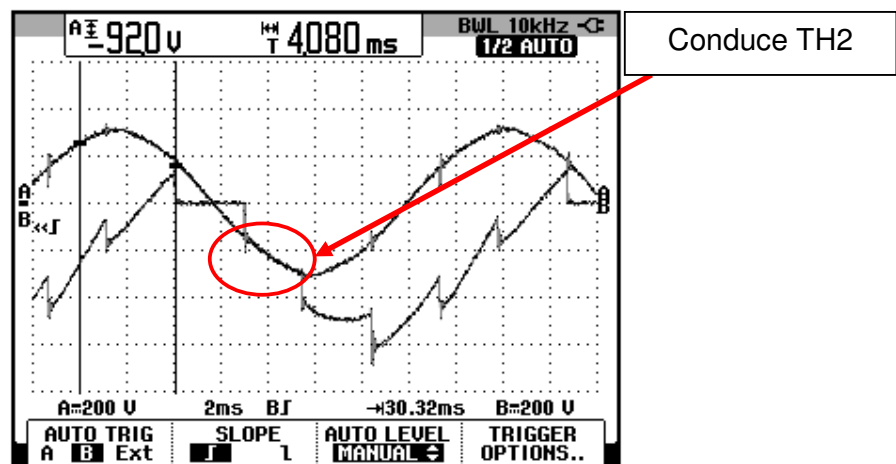


Figura 6.91 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s6, CH2: Vth1).

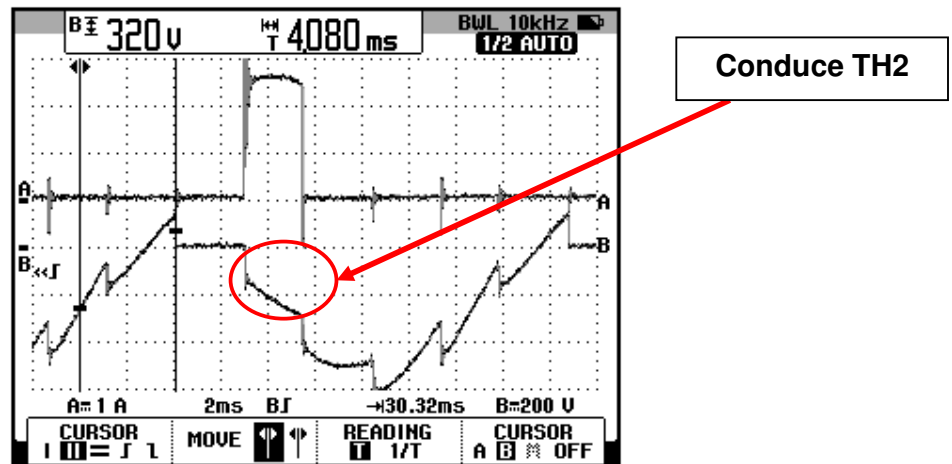


Figura 6.92 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: I_{th2} , CH2: V_{th1}).

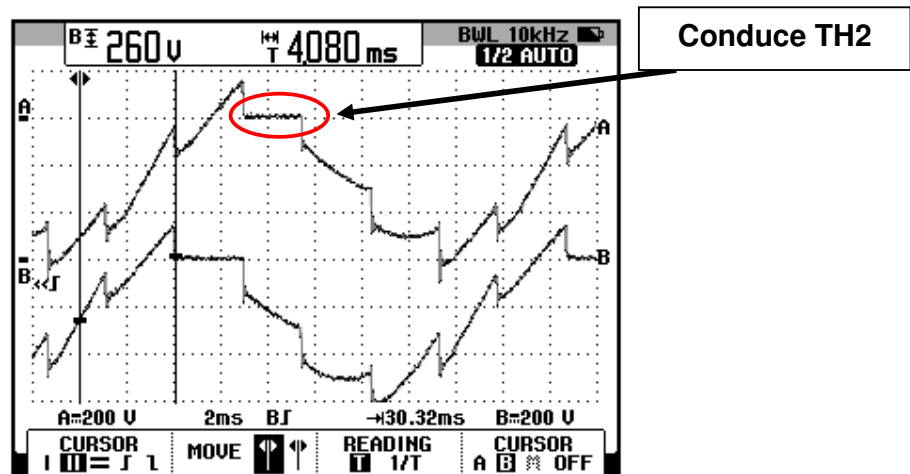


Figura 6.93 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo de TH2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{th2} , CH2: V_{th1}).

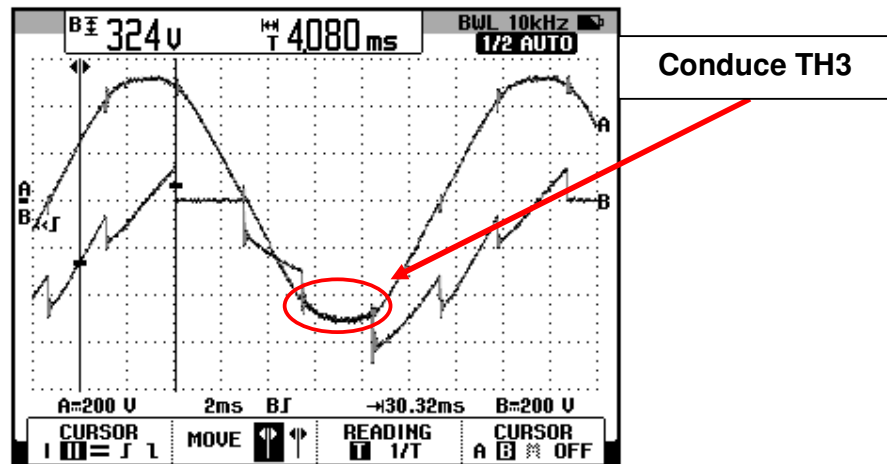


Figura 6.94 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2, CH2: Vth1).

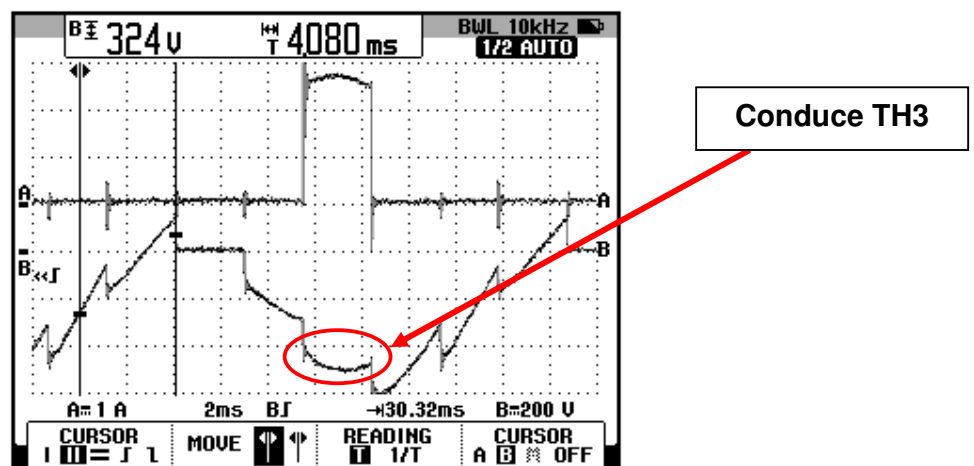


Figura 6.95 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith3, CH2: Vth1).

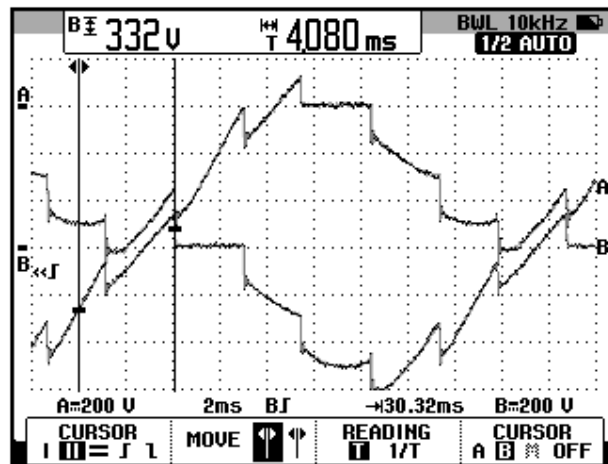
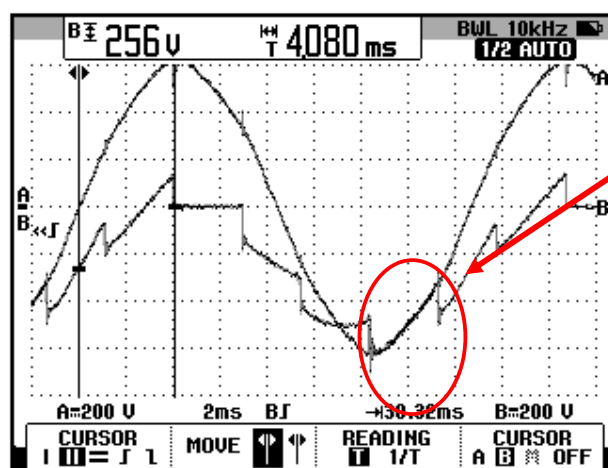


Figura 6.96 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo de TH3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{th3} , CH2: V_{th1}).



Conduce TH4

Figura 6.97 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{s1-s4} , CH2: V_{th1}).

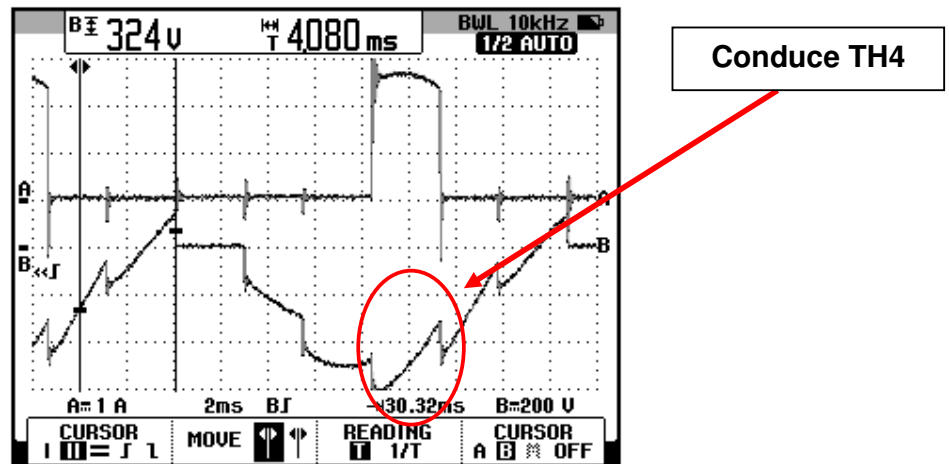


Figura 6.98 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: I_{th4} , CH2: V_{th1}).

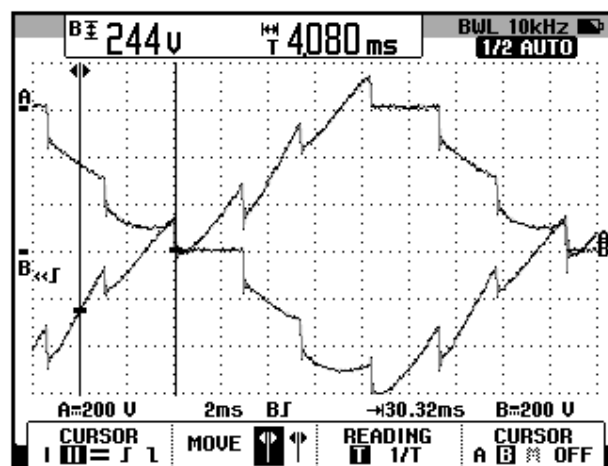


Figura 6.99 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH4 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{th4} , CH2: V_{th1}).

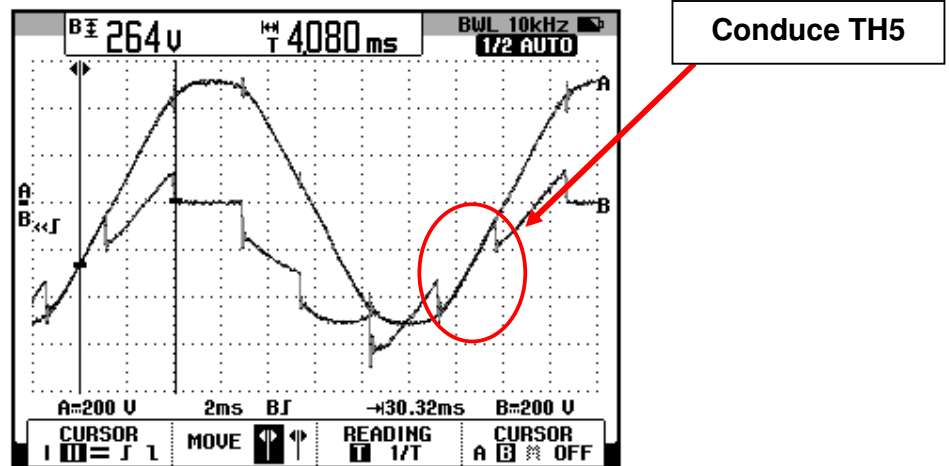


Figura 6.100 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s5, CH2: Vth1).

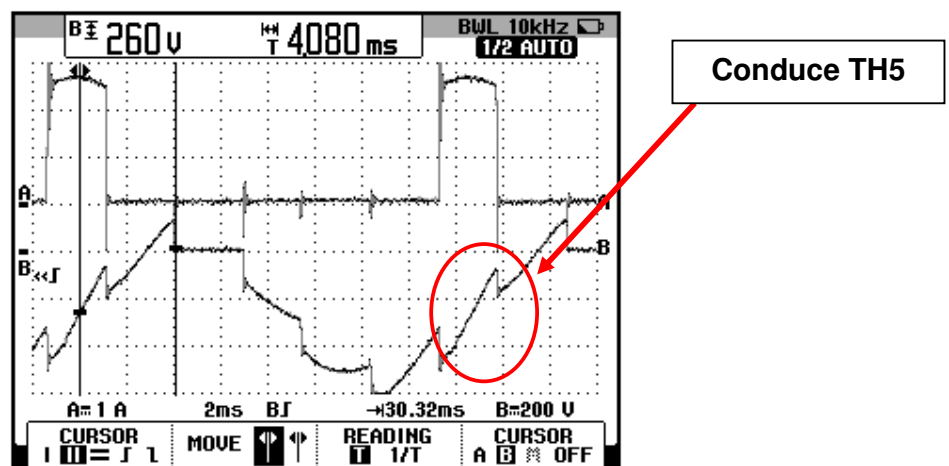


Figura 6.101 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith5, CH2: Vth1).

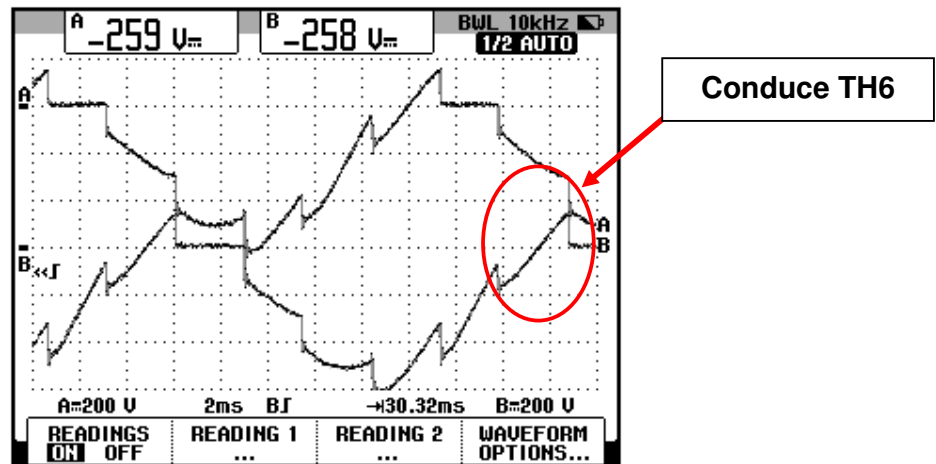


Figura 6.102 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{th5} , CH2: V_{th1}).

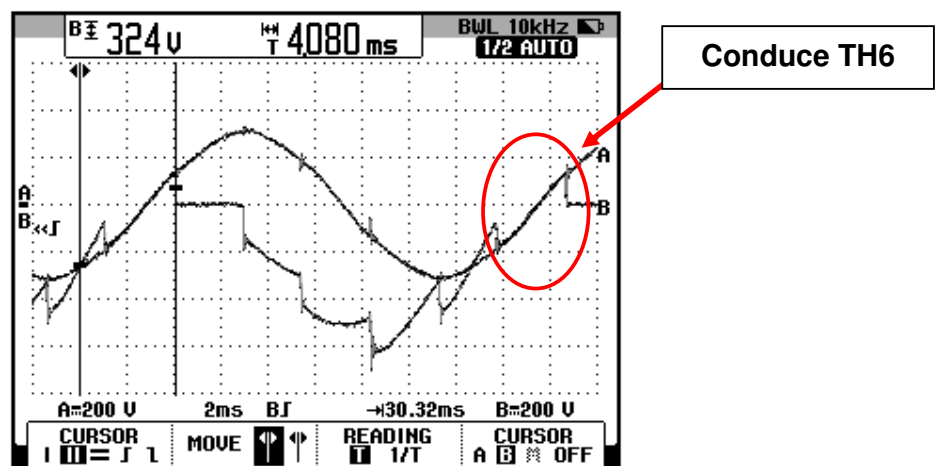


Figura 6.103 Oscilograma que muestra el voltaje en S1-S5 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{s1-s5} , CH2: V_{th1}).

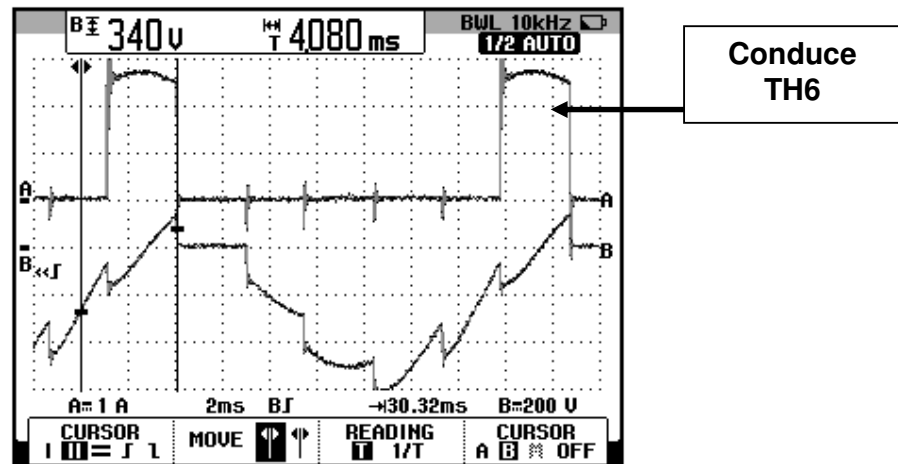


Figura 6.104 Oscilograma que muestra la corriente a través de TH6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Ith6, CH2: Vth1).

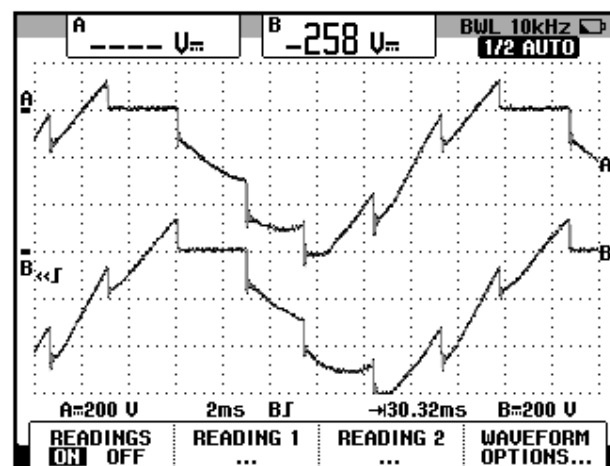


Figura 6.105 Oscilograma que muestra el voltaje ánodo-cátodo en TH6 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de media onda controlado de 6 pulsos con carga RL y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vth5, CH2: Vth1).

6.5. Convertidor AC-DC trifásico de onda completa tipo puente semi-controlado

En esta sección se describe el tercer experimento de la práctica.

6.5.1. Objetivos

Analizar el convertidor AC-DC trifásico de onda completa tipo puente semi-controlado, por medio del calculo de figuras de mérito, el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y visualizando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

6.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC, se muestra en la Fig. 6.106. Las conexiones del secundario del transformador trifásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 6.107. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 6.108:

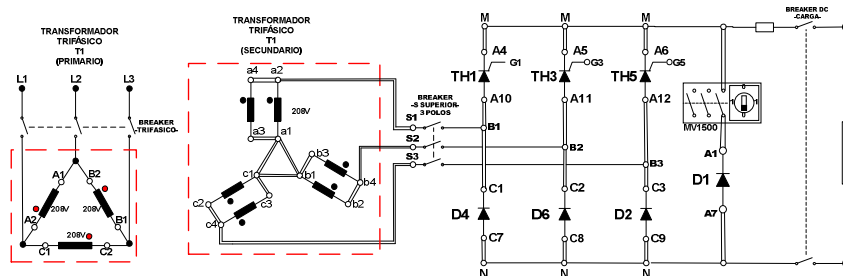


Figura 6.106 Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado.

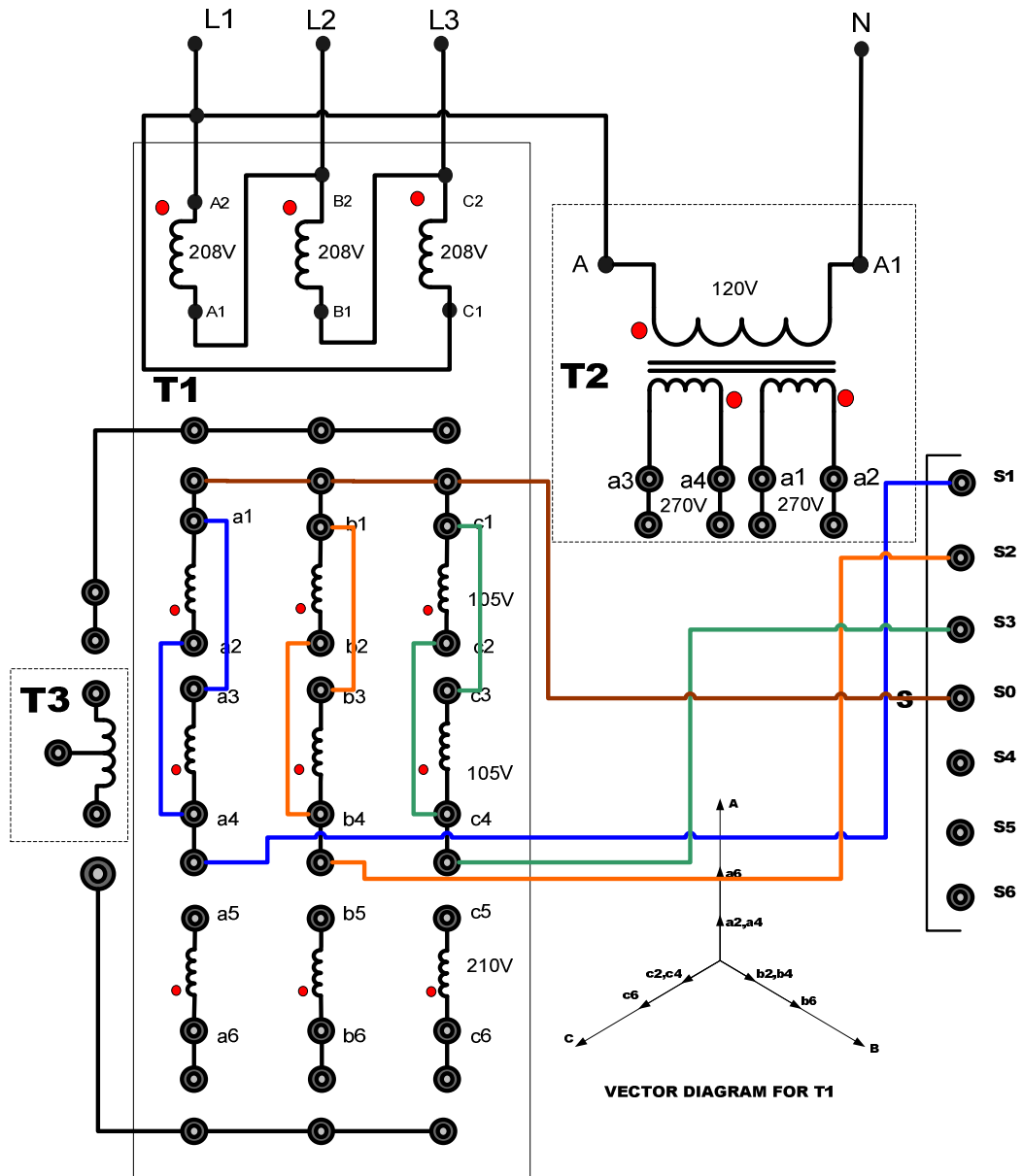


Figura 6.107 Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje trifásica en Y sin neutro en el convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado.

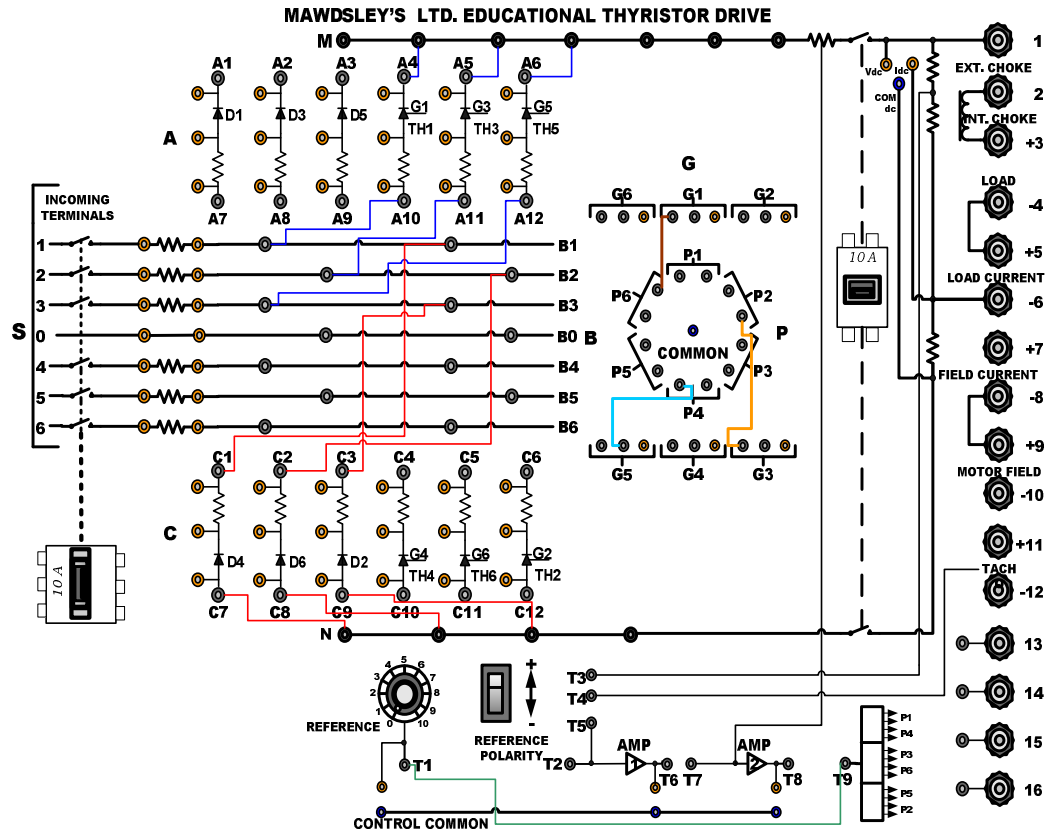


Figura 6.108: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico tipo puente semi-controlado en el panel frontal del drive Mawdsley's

6.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$. En el rectificador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 60° después del cruce por cero de un voltaje *línea-línea* del transformador trifásico, para este caso emplearemos el voltaje entre S1 y S2. Observar que el neutro no ingresa al convertidor AC-DC analizado. El intervalo de tiempo correspondiente a 60° a partir del cruce por cero, es aproximadamente 2.8 ms; y el ajuste

de $\alpha=0^\circ$ se muestra en la Fig. 6.109. Con respecto al ángulo de disparo, fijarlo en $\alpha=30^\circ$; el intervalo de tiempo corresponde a 1.4ms aproximadamente. Esto se muestra en la Fig. 6.110. En el oscilograma de la Fig. 6.111, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.112, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.113, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

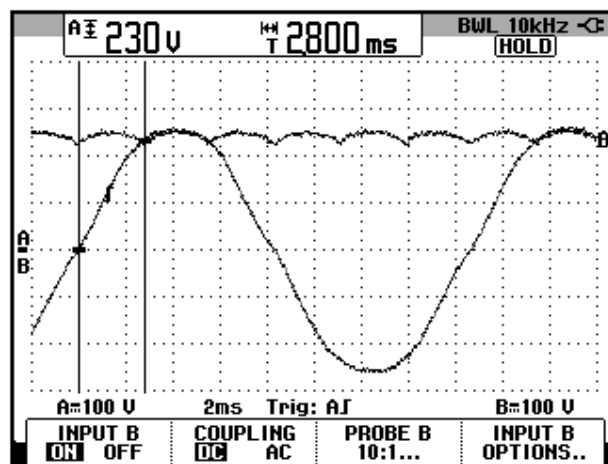


Figura 6.109: Oscilograma que muestra el instante a partir del cual se puede variar el ángulo de disparo α en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

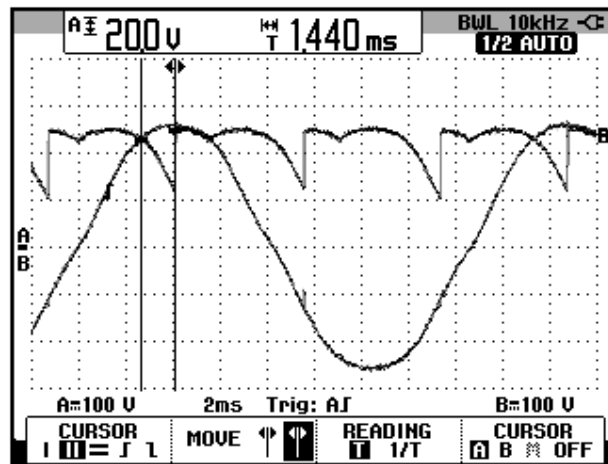


Figura 6.110: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo α y el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{s1-s2} ; CH2: V_{out})

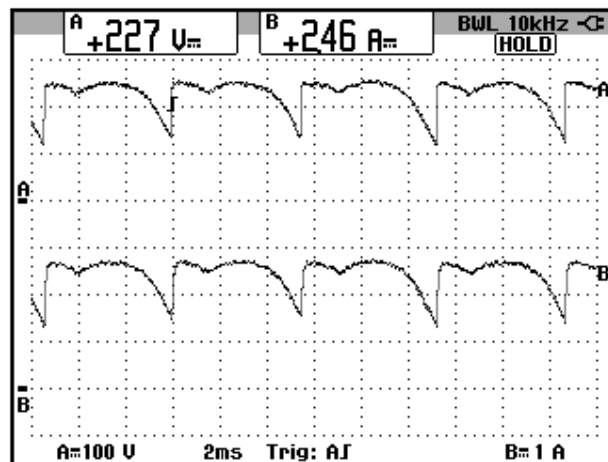


Figura 6.111: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{out} ; CH2: I_{out})

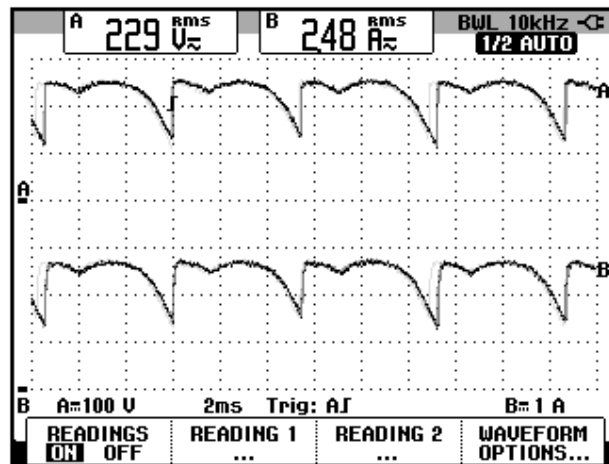


Figura 6.112: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

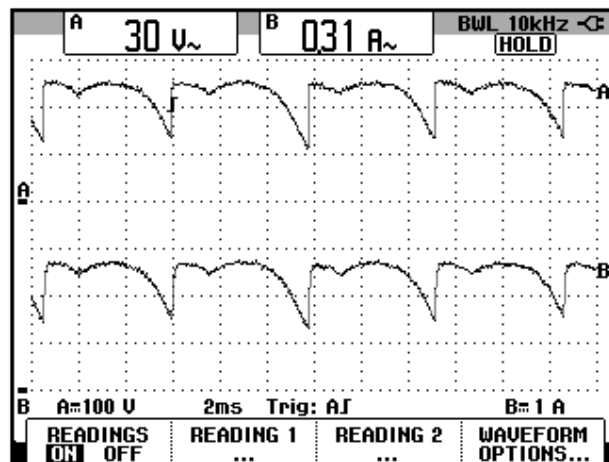


Figura 6.113: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=30^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 558.42[W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig. 6.114.

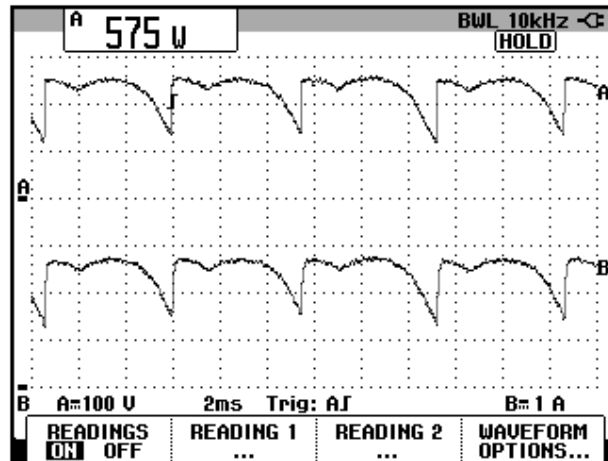


Figura 6.114: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

La eficiencia del convertidor:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}}$$

$$\eta = 0.97$$

El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida:

$$FF = \frac{V_{OUT(RMS)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$FF = 1$$

El factor de rizo (RF, de *ripple factor*), que es una medida del contenido alterno residual:

$$RF = \frac{V_{OUT(AC)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$RF = 0.13$$

6.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

Se realizará la medición en el secundario del transformador trifásico, el cual está conectado en Y sin neutro.

6.5.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el menú **SETUP**, como se muestra en la Fig. 6.115. En el submenú **CONFIG.**, elegir la configuración **3Ø 1T**, tal como se muestra en la Fig. 6.116. Realizar las conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente entre el analizador y el convertidor AC-DC trifásico de de onda completa semicontrolado. Las conexiones se muestran en la Fig. 6.117. El modelo de la punta de prueba de corriente debe ser **80i-110s AC/DC CURRENT PROBE**, es decir, la misma empleada con el osciloscopio Fluke 192B.

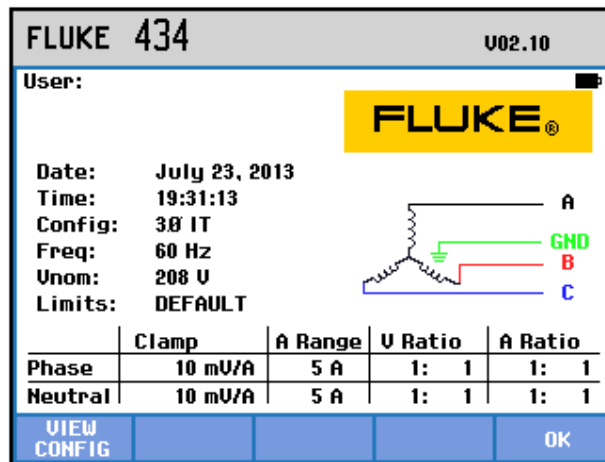


Figura 6.115 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434

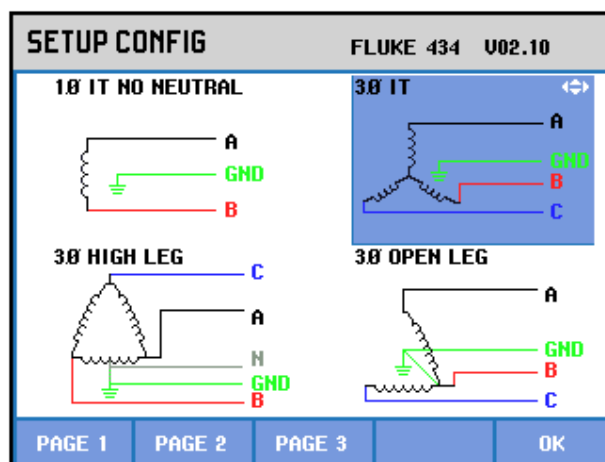


Figura 6.116 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ en el analizador de energía Fluke 434

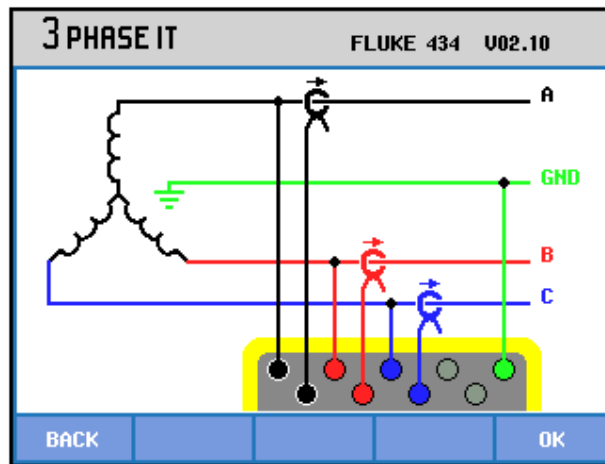


Figura 6.117 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

6.5.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

En la Fig. 6.118, se muestran las corrientes del secundario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig. 6.119 se muestra la matriz de voltajes del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 6.120 se muestra el voltaje y la corriente de la fase A del transformador trifásico PTREC. 40. Esta imagen permite apreciar la forma de onda de una fase de la corriente del secundario del transformador trifásico.

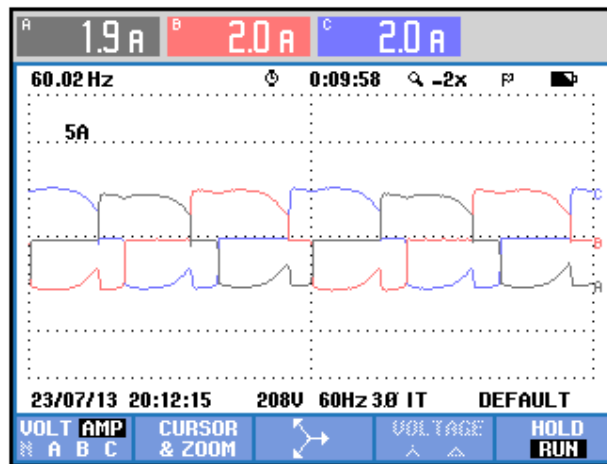


Figura 6.118 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

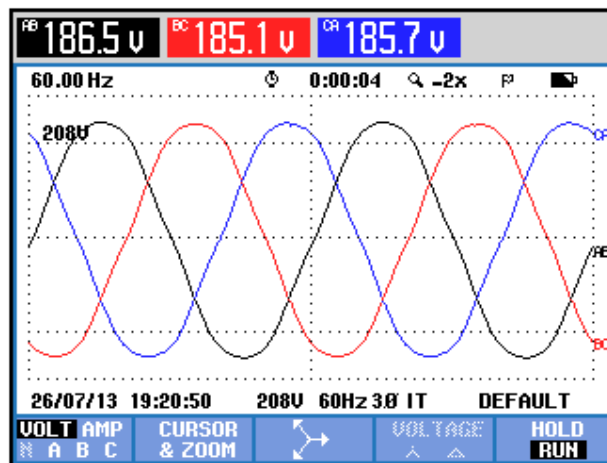


Figura 6.119 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

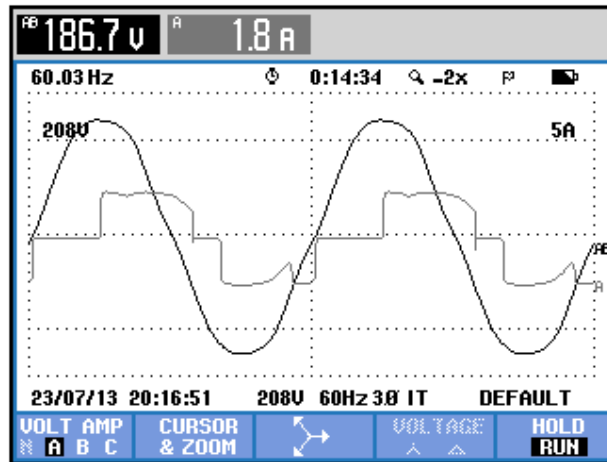


Figura 6.120 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

Se puede observar en la Fig. 6.121 un listado de los valores de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase. A continuación, se mostrarán sólo los resultados de la fase A debido a la similitud de los resultados de una misma armónica. La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.122. La medición DC de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.123. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 6.124. Los parámetros de la segunda armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.125. Los parámetros de la tercera armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.126. Los parámetros de la cuarta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.127. Los parámetros de la quinta armónica de la fase A, se muestran en la

Fig. 6.128. Los parámetros de la sexta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.129. Los parámetros de la séptima armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.130. Los parámetros de la octava armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.131. En la Tabla 6.3, se resumen los resultados obtenidos.

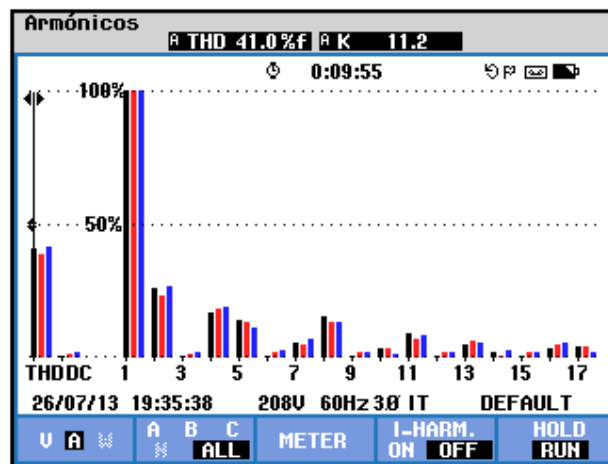


Figura 6.121 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

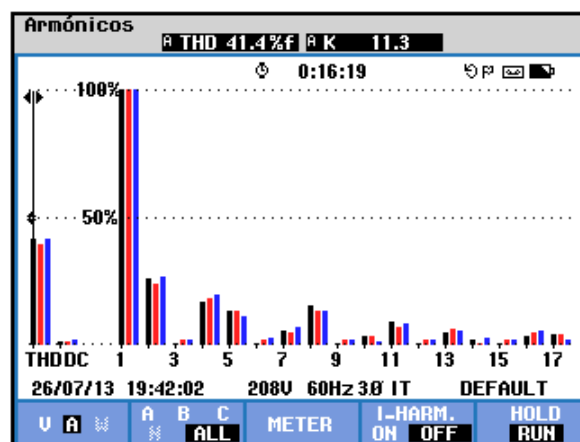


Figura 6.122 Medición de THD de la corriente del secundario del del transformador trifásico en la fase A en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

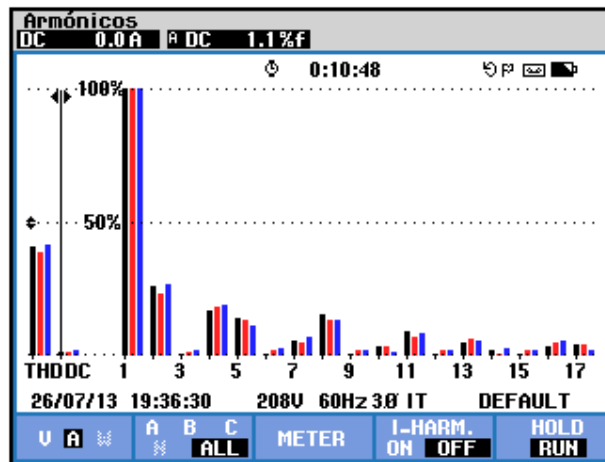


Figura 6.123 Medición DC de la corriente del secundario del del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

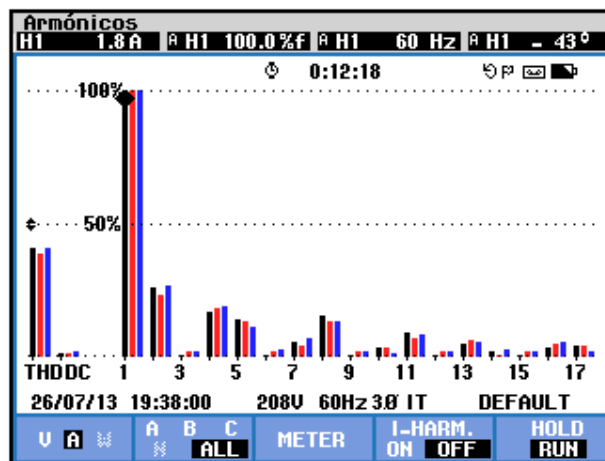


Figura 6.124 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

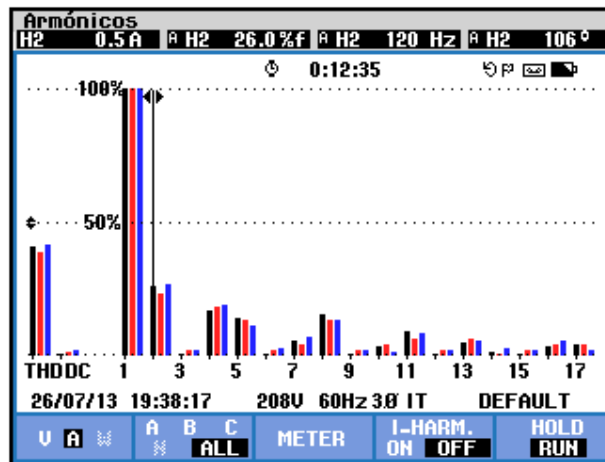


Figura 6.125 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario del transformador trifásico en la fase A del convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

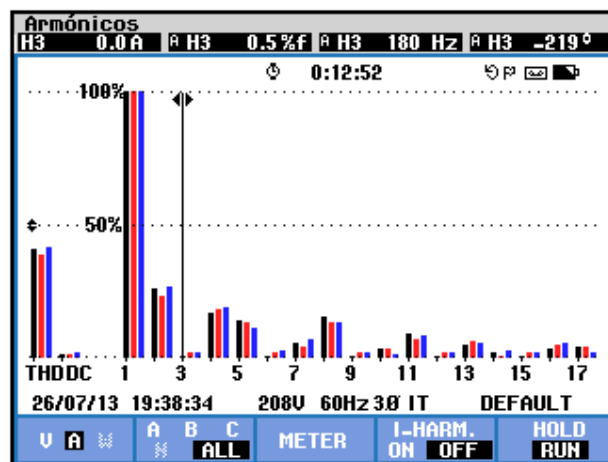


Figura 6.126 Medición de la tercera armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

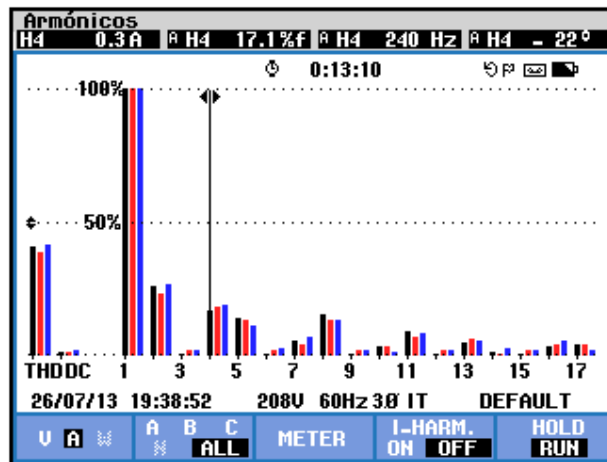


Figura 6.127 Medición de la cuarta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

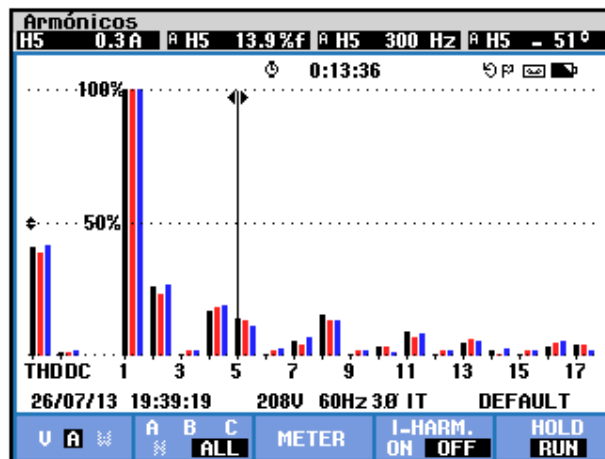


Figura 6.128 Medición de la quinta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

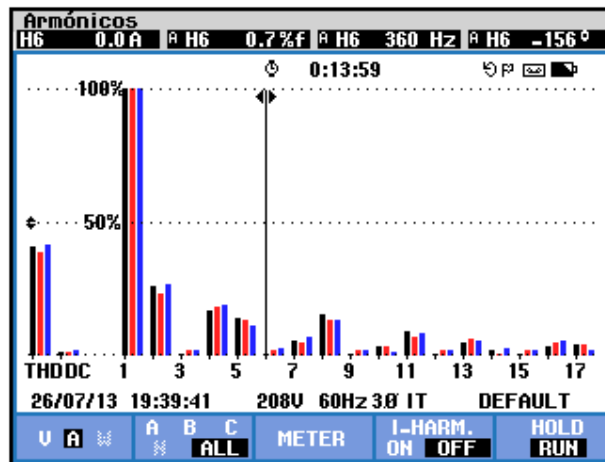


Figura 6.129 Medición de la sexta armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

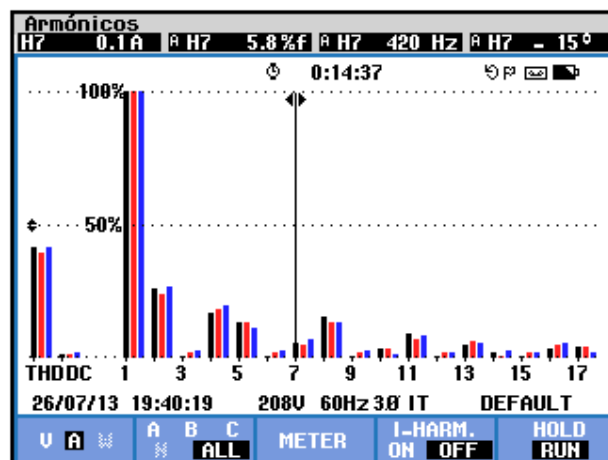


Figura 6.130 Medición de la séptima armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

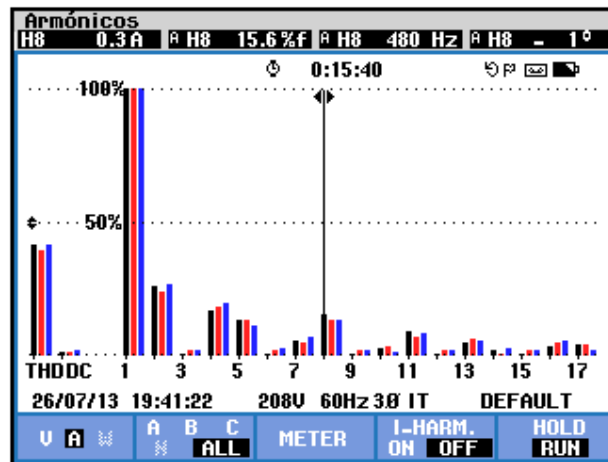


Figura 6.131 Medición de la octava armónica de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

$THD[\%]$	$I_{DC} [V]$	n	$C_n [V_{RMS}]$	$\varphi_n [^\circ]$
41.4	0	1	1.8	-43
		2	0.5	106
		3	0	-219
		4	0.3	-22
		5	0.3	-51
		6	0	-156
		7	0.1	-15
		8	0.3	-1

Tabla 6.3 Resultados experimentales para los parámetros de las ocho primeras armónicas de la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

Los parámetros de los voltajes del secundario del transformador trifásico PTREC. 40 se muestran en la Fig. 6.132. Los parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico se muestran en la 6.133. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase A y la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.134. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase B y la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.135. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase C y la corriente de entrada a la fase C del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.136. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**. Estos parámetros se muestran en la Fig. 6.137.

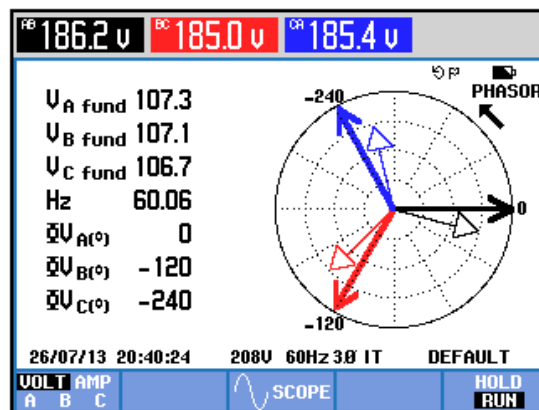


Figura 6.132 Parámetros de los voltajes de entrada al transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

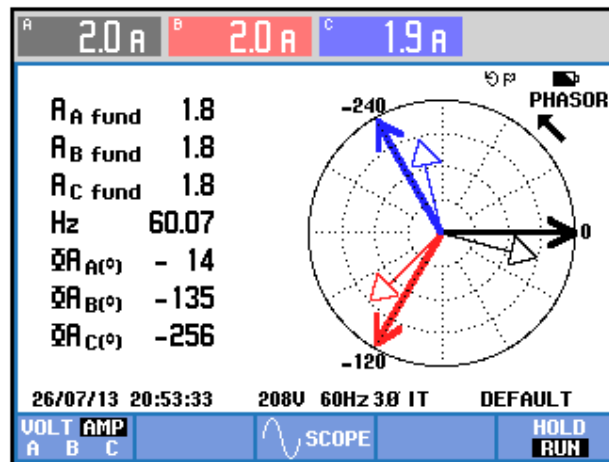


Figura 6.133 Parámetros de los corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^{\circ}$

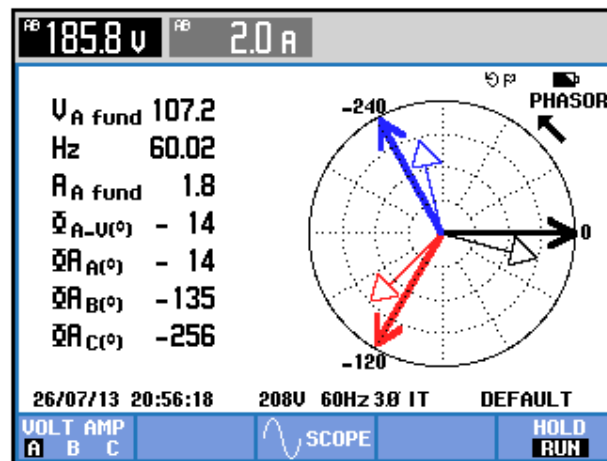


Figura 6.134 Parámetros eléctricos de la fase A del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^{\circ}$

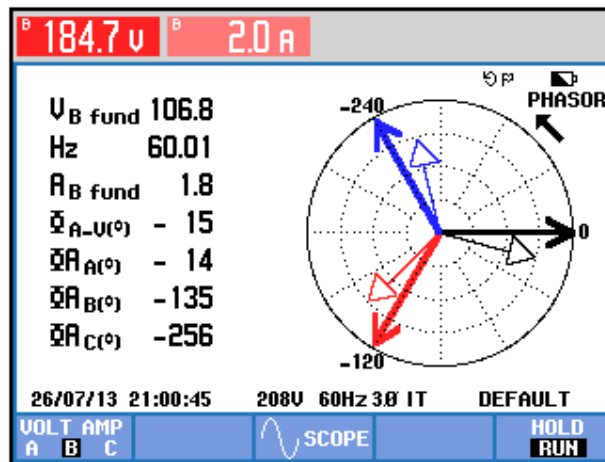


Figura 6.135 Parámetros eléctricos de la fase B del transformador trifásico PTREC.40 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado

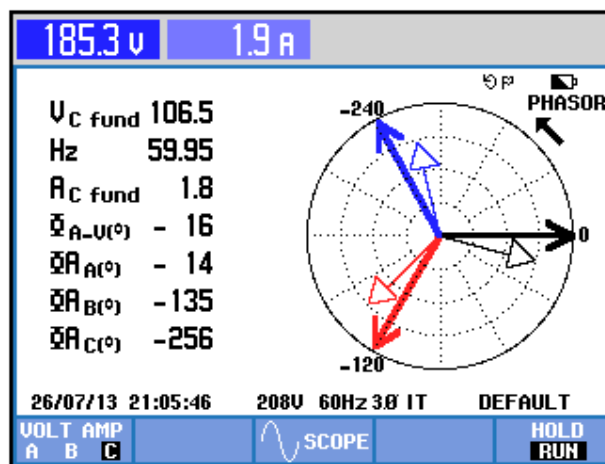


Figura 6.136 Parámetros eléctricos de la fase C del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

Potencia y energía				
FUND 0:00:48				
	A	B	C	Total
W				960
VA				980
VAR				180
PF				0.95
DPF				0.98
Arms	2.8	2.7	2.8	
	AB	BC	CA	
Urms	214.1	213.5	213.1	
30/06/13 19:56:28 240V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE		ENERGY		HOLD RUN

Figura 6.137 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

6.5.5. Formas de onda empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

En el oscilograma de la Fig. 6.138, se muestra el voltaje de salida junto con el voltaje línea-línea S1-S2. En el oscilograma de la Fig. 6.139, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.140, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 y la corriente de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.141, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo de TH1.

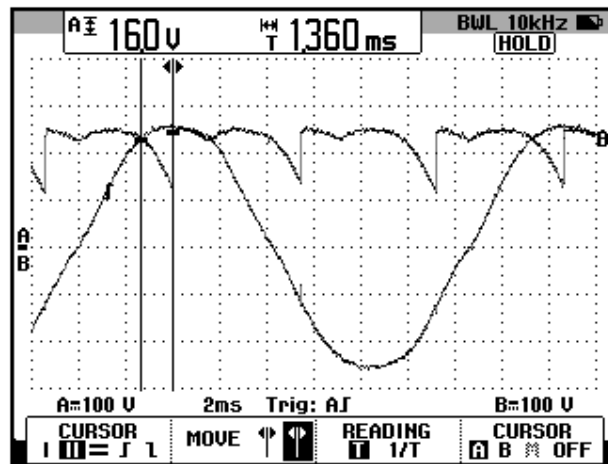


Figura 6.138: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: i_{out})

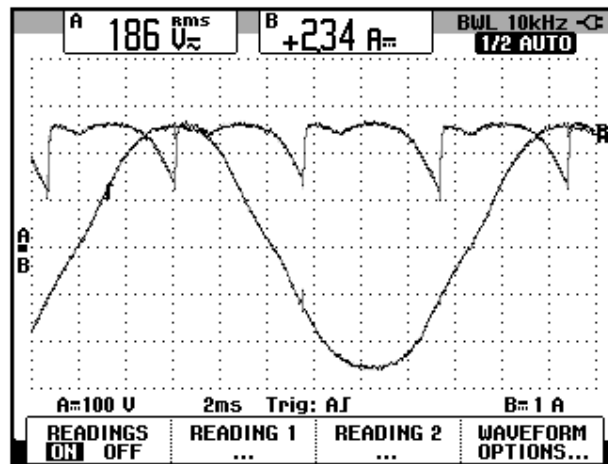


Figura 6.139: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: i_{out})

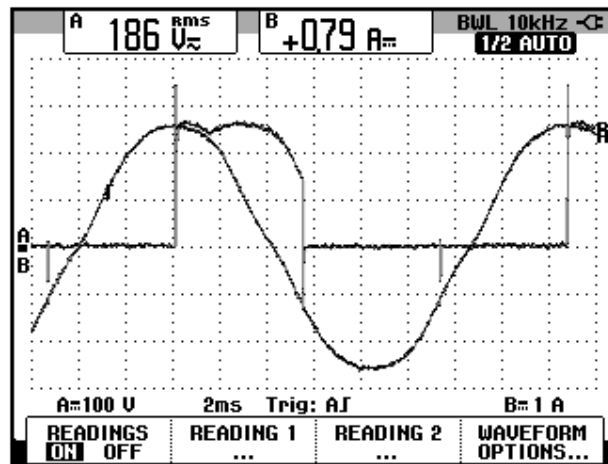


Figura 6.140: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)

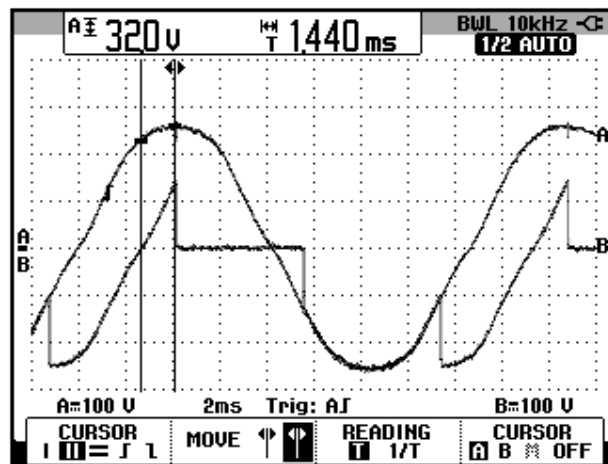


Figura 6.141: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1)

En el grupo de diodos, en la parte inferior del convertidor AC-DC analizado, debe conducir un diodo al mismo tiempo que conduce TH1, el cual es D6. Para conocer el diodo que conduce, el criterio de elección es que al tener diodos conectados por el ánodo, conducirá aquel que tenga

menor potencial en el cátodo; en el momento del análisis, el voltaje de línea-línea mayor es S1-S2, por ende, el potencial en S2 es el menor, esto indica que el diodo conectado a S2 debe conducir, el cual es D6. De forma general, si en un instante dado, la máxima diferencia de potencial es, por ejemplo la existente entre S3 y S1, del grupo de tiristores aquel que conduce es el que está conectado a S3 es decir TH5, y del grupo de diodos, aquel que conduce es el que está conectado a S1, es decir D4.

En el oscilograma de la Fig. 6.142, se muestra la corriente a través de D6 junto con el voltaje línea-línea S1-S2. Existe conducción durante 30° en TH1 y D6, simultáneamente, como se puede comparar entre la Fig. 6.140 y la Fig. 6.142. En el oscilograma de la Fig. 6.143, se muestra el voltaje ánodo-cátodo a través de D6 junto con el voltaje línea-línea S1-S2.

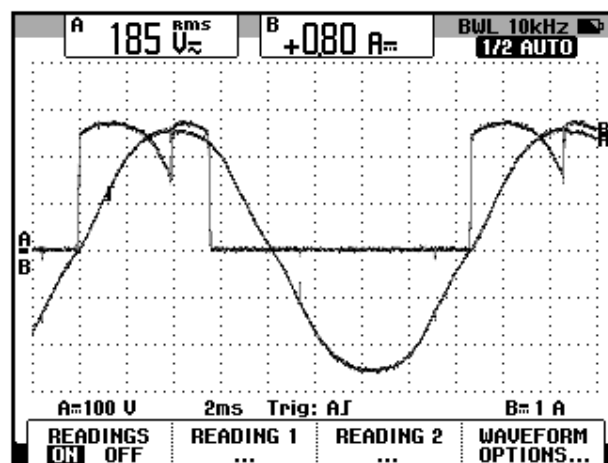


Figura 6.142: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Id6)

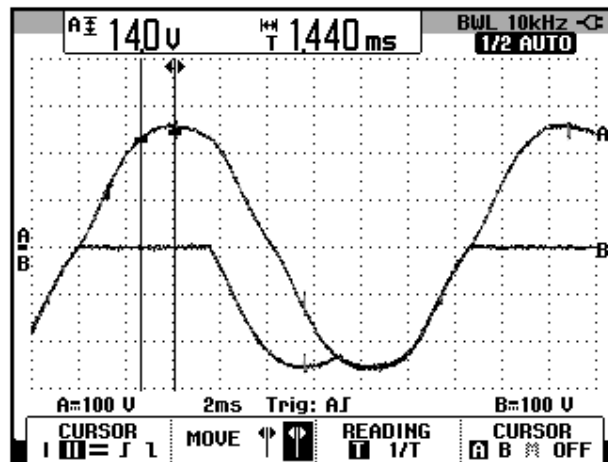


Figura 6.143: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vd6)

En el oscilograma de la Fig. 6.144, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 y el voltaje S1-S3. El ángulo de desfase corresponde a aproximadamente 60° . El nuevo voltaje de referencia para los oscilogramas es el voltaje línea-línea S1-S3. En el oscilograma de la Fig. 6.145, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig.139. En el oscilograma de la Fig. 6.146, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y la corriente de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.147, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.148, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 junto con la corriente a través de D2. En el oscilograma de la Fig. 6.149, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de D2.

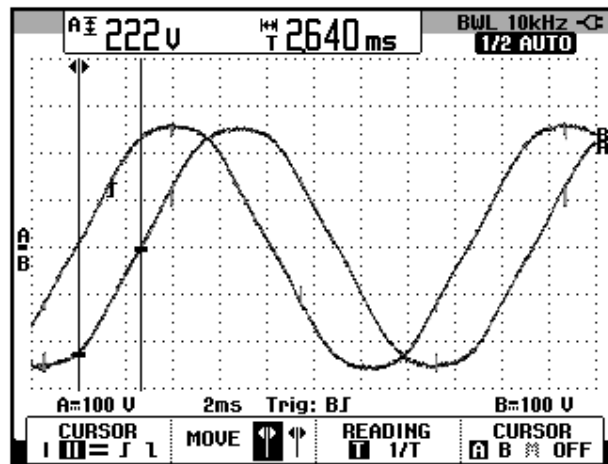


Figura 6.144: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S1-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s2; CH2: Vs1-s3)

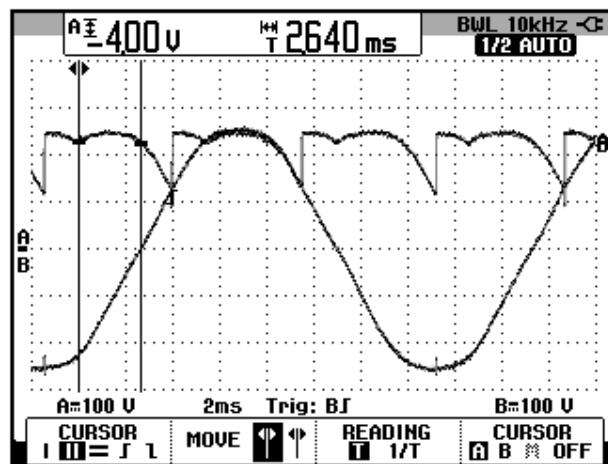


Figura 6.145: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vout)

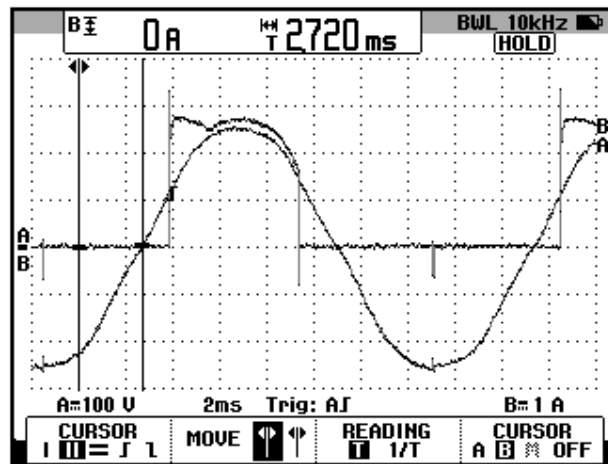


Figura 6.146: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith1)

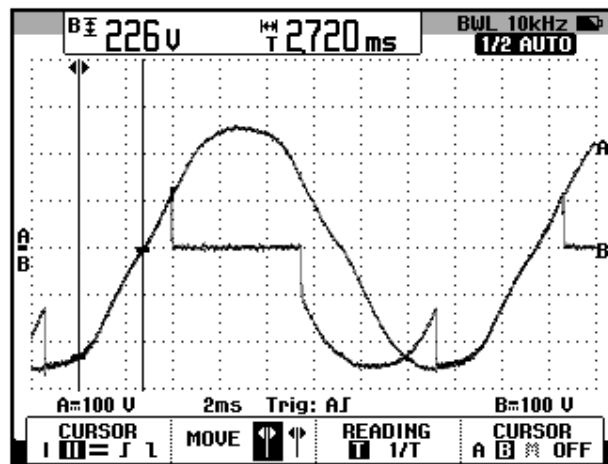


Figura 6.147: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth1)

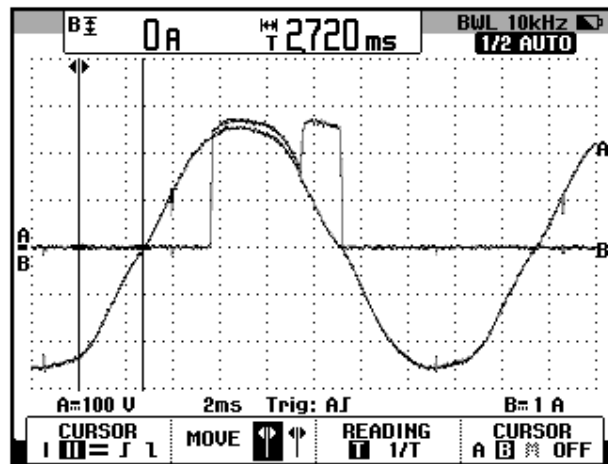


Figura 6.148: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Id2)

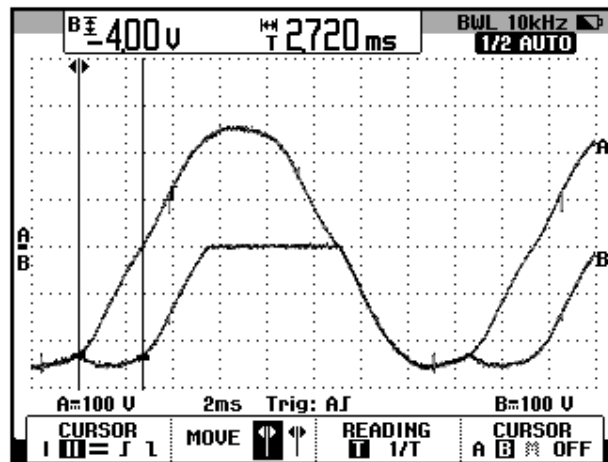


Figura 6.149: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs1-s3; CH2: Vd2)

En el oscilograma de la Fig. 6.150, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje S2-S3. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S3 y el voltaje S2-S3. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje

S2-S3 corresponde a aproximadamente 120° . En el oscilograma de la Fig. 6.151, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig.145. En el oscilograma de la Fig. 6.152, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y la corriente de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.153, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.154, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 junto con la corriente a través de D2. En el oscilograma de la Fig. 6.155, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de D2.

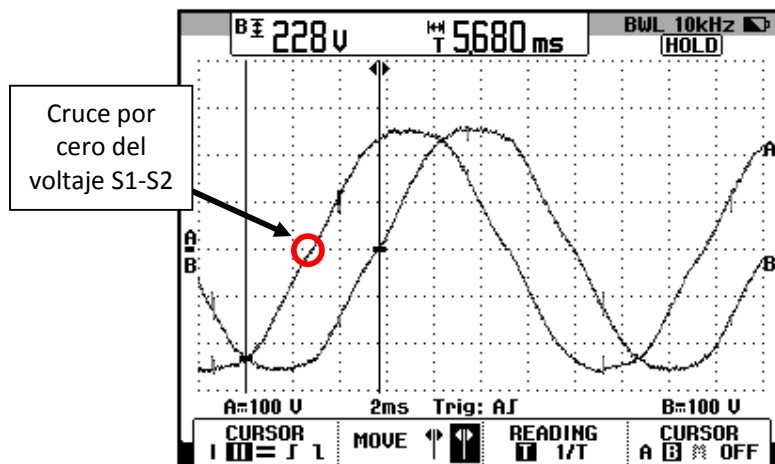


Figura 6.150: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S2-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vs1-s3)

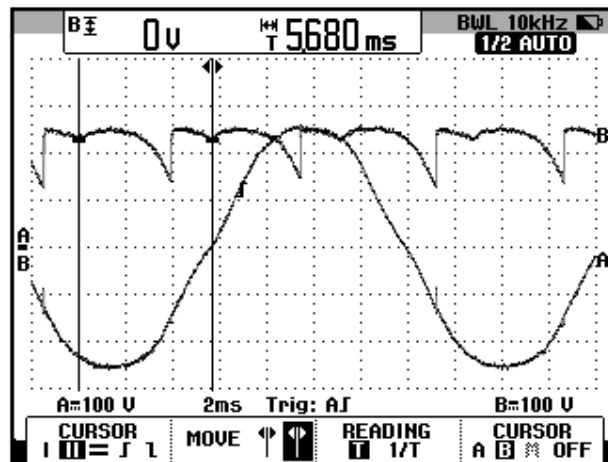


Figura 6.151: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vout)

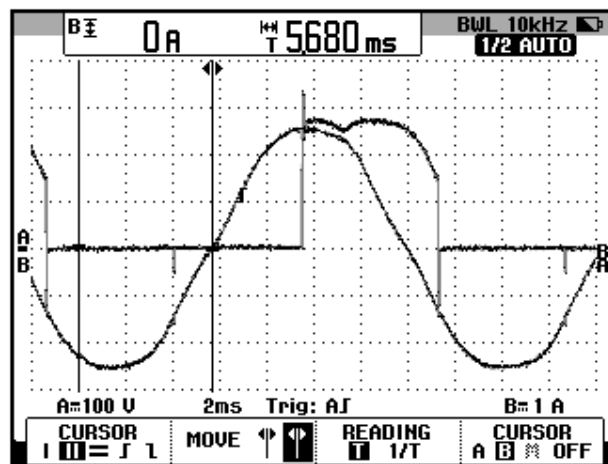


Figura 6.152: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith3)

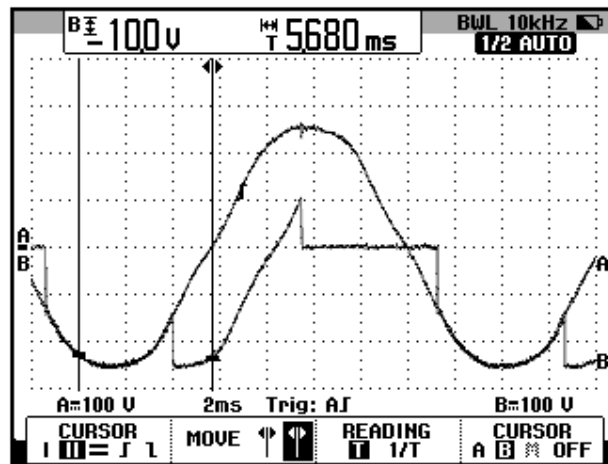


Figura 6.153: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth3)

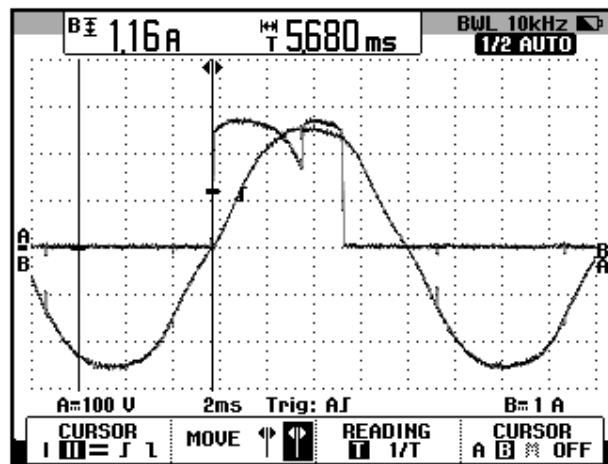


Figura 6.154: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Id2)

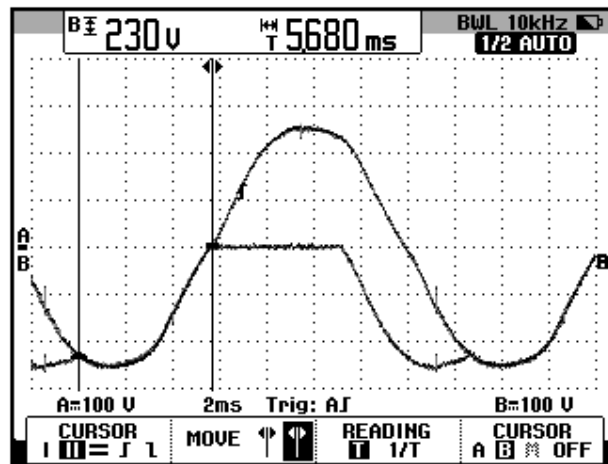


Figura 6.155: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en D2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s3; CH2: Vd2)

En el oscilograma de la Fig. 6.156, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje S2-S1. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S2-S1 corresponde a aproximadamente 180°. En el oscilograma de la Fig. 6.157, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig.144. En el oscilograma de la Fig. 6.158, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y la corriente de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.159, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.160, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 junto con la corriente a través de D4. En el oscilograma de la Fig. 6.161, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de D4.

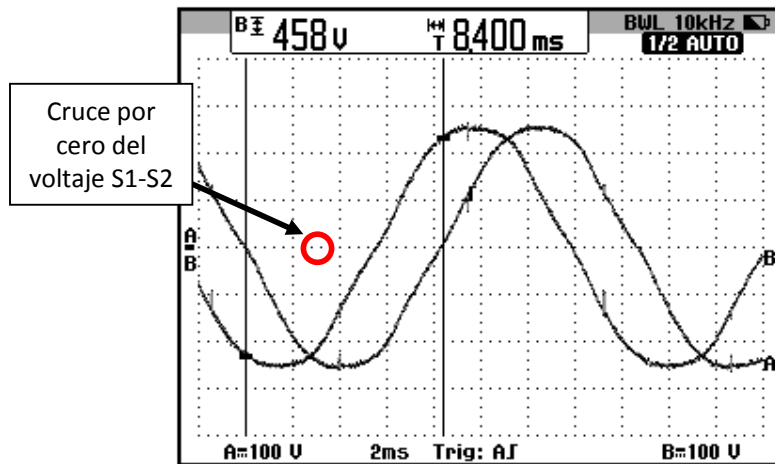


Figura 6.156: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S2-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vs2-s3)

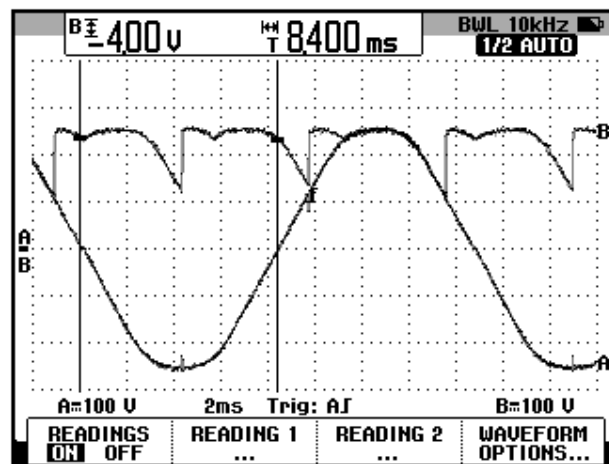


Figura 6.157: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vout)

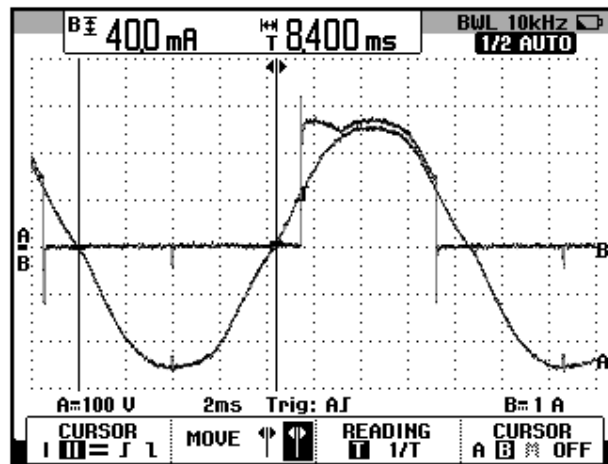


Figura 6.158: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith3)

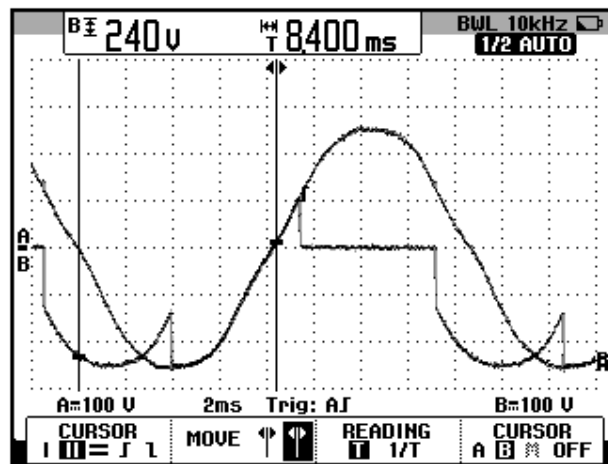


Figura 6.159: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth3)

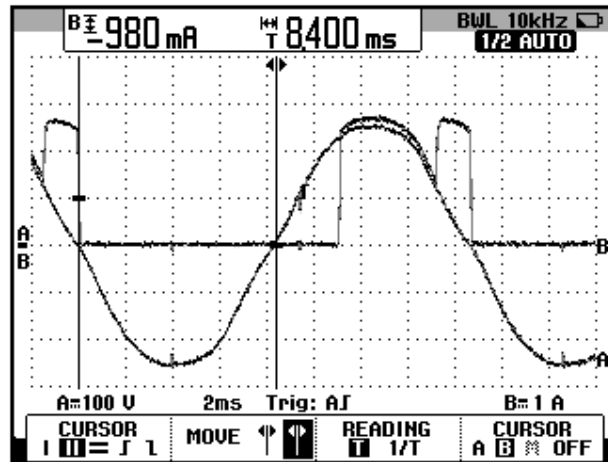


Figura 6.160: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Id4)

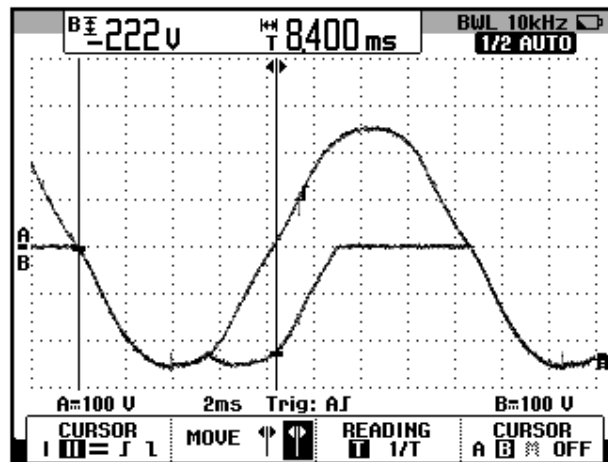


Figura 6.161: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs2-s1; CH2: Vd4)

En el oscilograma de la Fig. 6.162, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje S3-S1. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S1

corresponde a aproximadamente 240° . En el oscilograma de la Fig. 6.163, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig.160. En el oscilograma de la Fig. 6.164, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y la corriente de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.165, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.166, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con la corriente a través de D4. En el oscilograma de la Fig. 6.167, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de D4.

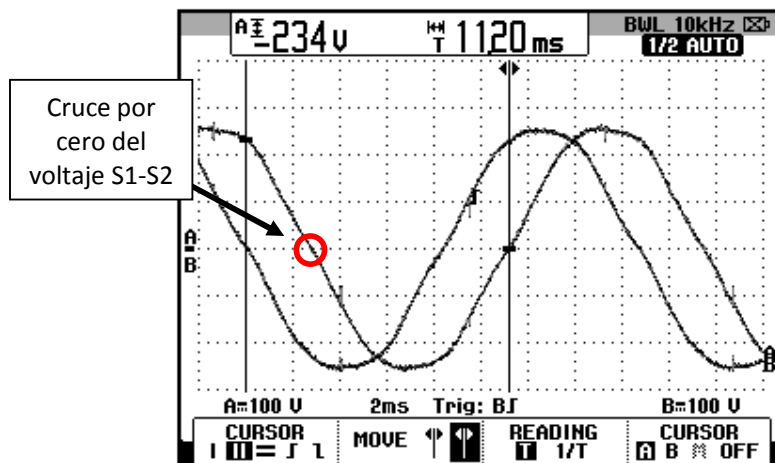


Figura 6.162: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs2-s1)

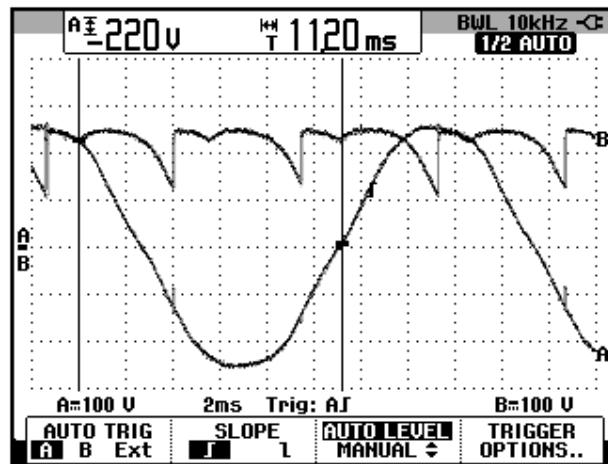


Figura 6.163: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: V_{s3-s1} ; CH2: V_{out})

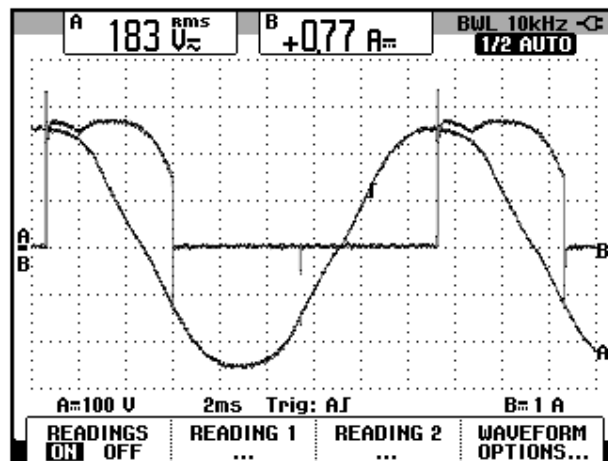


Figura 6.164: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: V_{s2-s1} ; CH2: I_{th5})

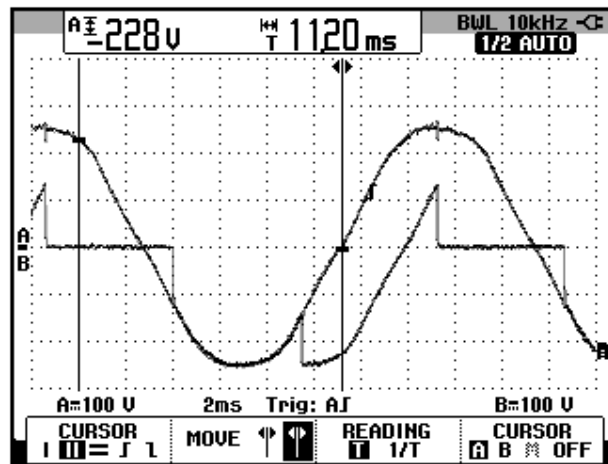


Figura 6.165: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth5)

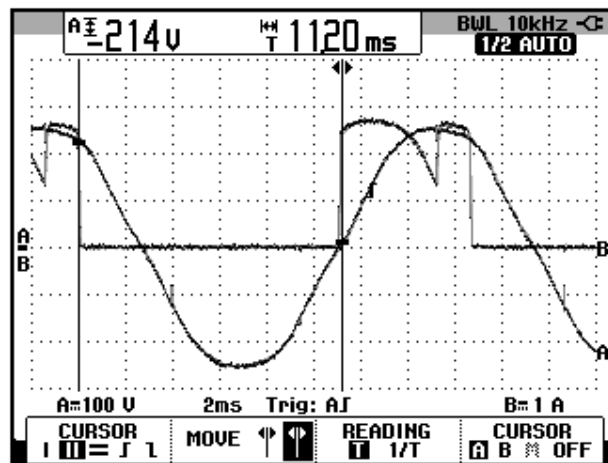


Figura 6.166: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Id4)

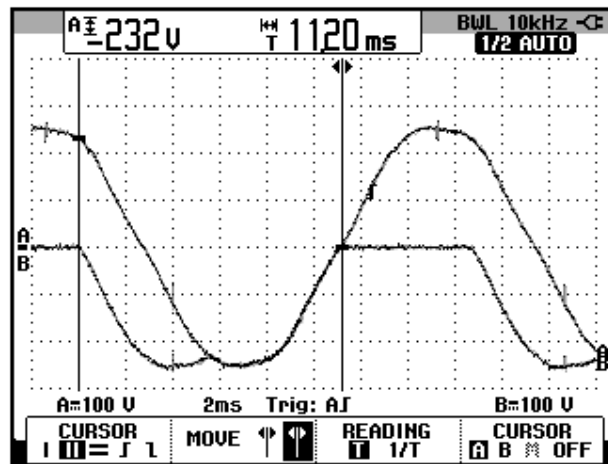


Figura 6.167: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en D4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vd4)

En el oscilograma de la Fig. 6.168, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje S3-S1. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S2 corresponde a aproximadamente 300° . En el oscilograma de la Fig. 6.169, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig.166. En el oscilograma de la Fig. 6.170, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y la corriente de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.171, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.172, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con la corriente a través de D6. En el oscilograma de la Fig. 6.173, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de D6.

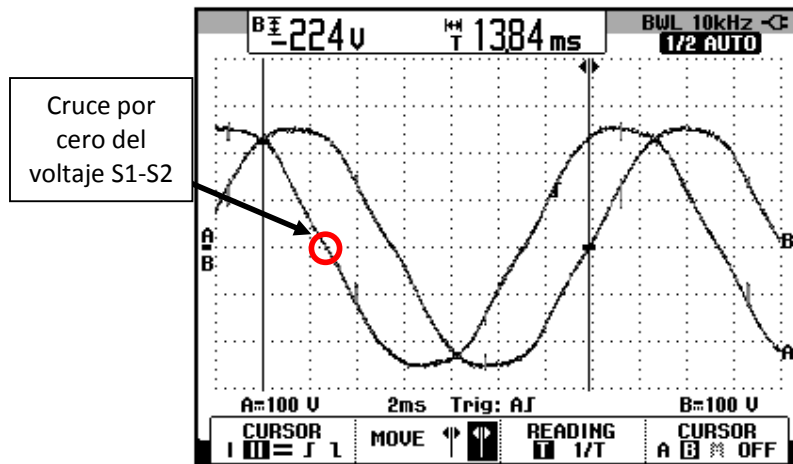


Figura 6.168: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S3-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs3-s2)

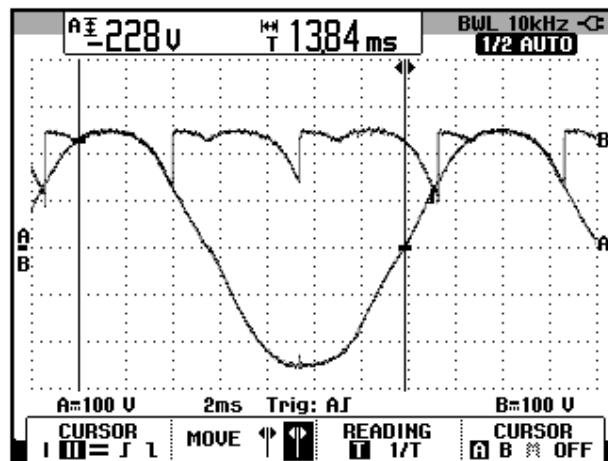


Figura 6.169: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vout)

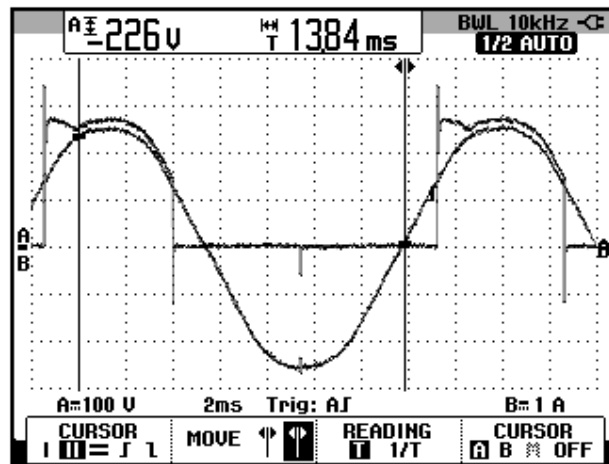


Figura 6.170: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith5)

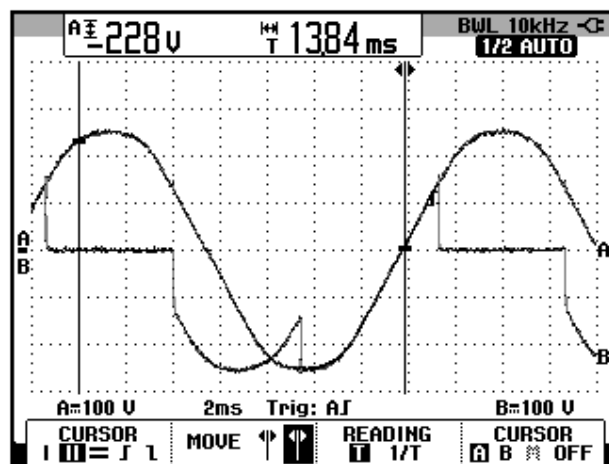


Figura 6.171: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth5)

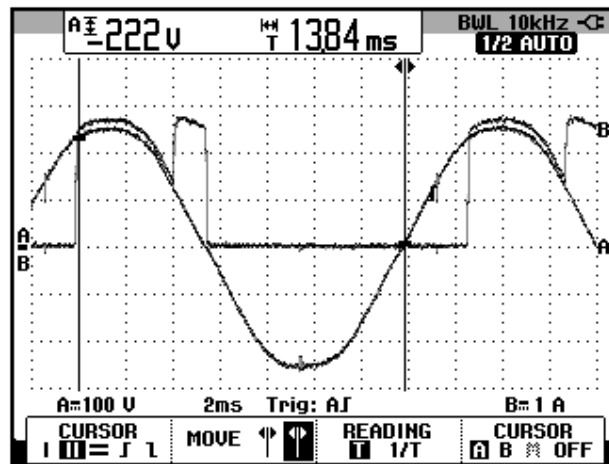


Figura 6.172: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Id6)

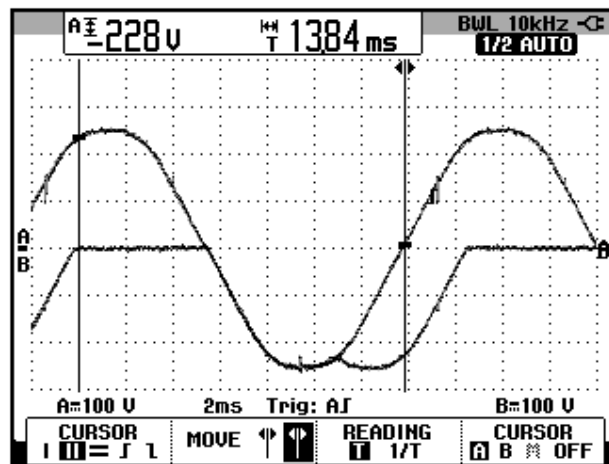


Figura 6.173: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo en D6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vs3-s2; CH2: Vd6)

6.5.6. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 11, correspondiente a 110mH . En el oscilograma de la Fig. 6.174, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. El ángulo de conducción, dado que el mismo corresponde a 60° , dado que la conducción es continua.

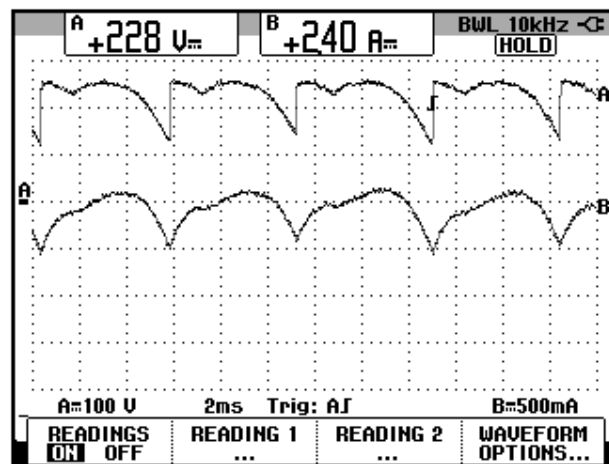


Figura 6.174 Oscilograma y mediciones promedio en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa semi-controlado (CH1: Vout; CH2: Iout).

6.6. Convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador

En esta sección se desarrolla el cuarto experimento de la práctica.

6.6.1. Objetivos

Analizar el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador por medio del cálculo de figuras de mérito, realizando el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

6.6.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-DC, se muestra en la Fig. 6.175. Las conexiones del secundario del transformador trifásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 6.176. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 6.177.

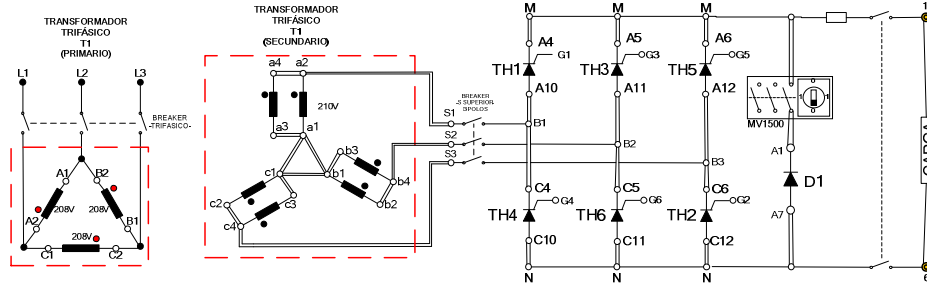


Figura 6.175: Circuito de potencia del convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador

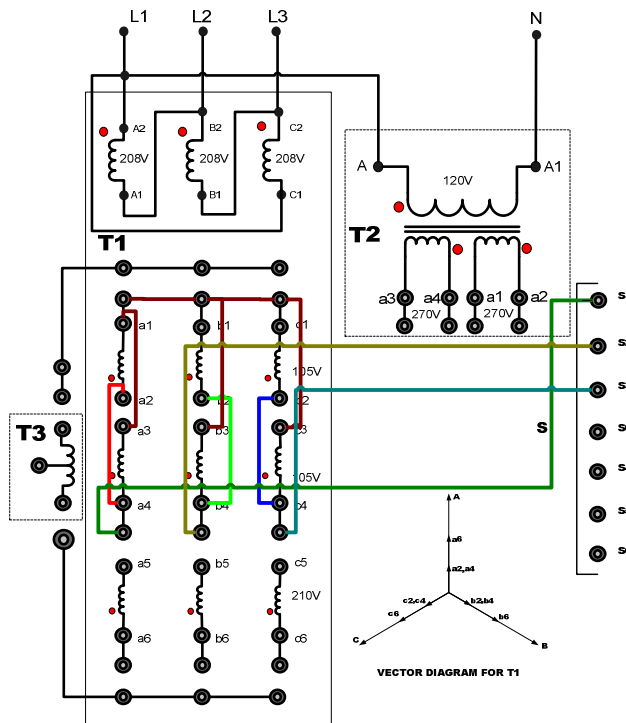


Figura 6.176: Conexiones del secundario del transformador trifásico para formar una fuente de voltaje trifásica en Y sin neutro en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador

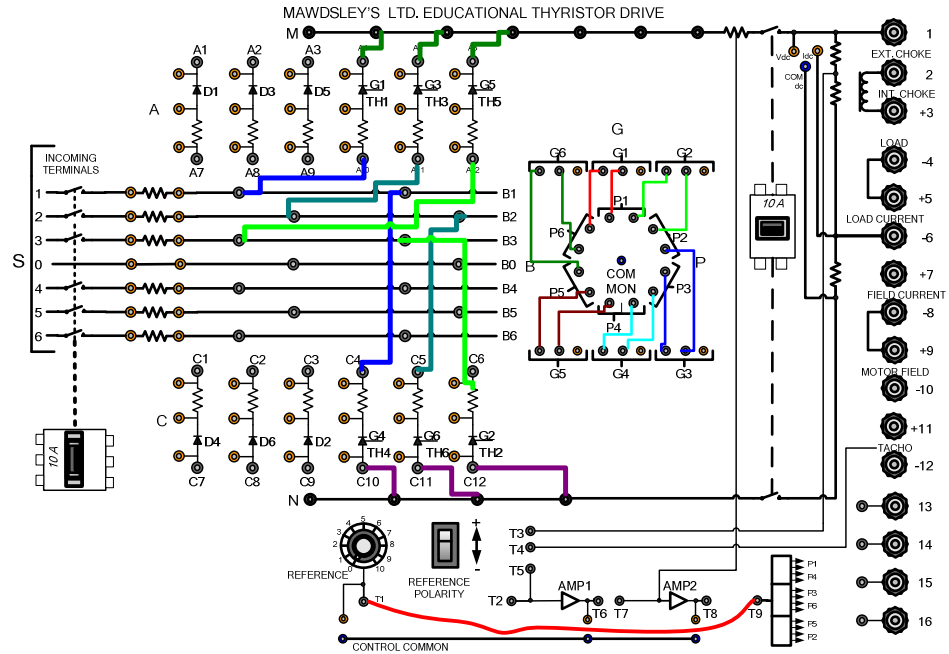


Figura 6.177: Conexiones del convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador en el panel frontal del drive Mawdsley's

6.6.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

A continuación, se obtendrán las figuras de mérito en este convertidor. Iniciar ajustando la carga resistiva con $R=100\Omega$. Al igual que en el experimento anterior, en el rectificador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 60° después del cruce por cero de un voltaje *línea-línea* del transformador trifásico, para este caso emplearemos el voltaje entre S1 y S2. El intervalo de tiempo correspondiente a 60° a partir del cruce por cero, es aproximadamente 2.8 ms; y el ajuste de $\alpha=0^\circ$ se muestra en la Fig. 6.178. Con respecto al ángulo de disparo, fijarlo en

$\alpha=30^\circ$; el intervalo de tiempo corresponde a 1.4ms aproximadamente. Esto se muestra en la Fig. 6.179. En el oscilograma de la Fig. 6.180, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.181, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.182, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

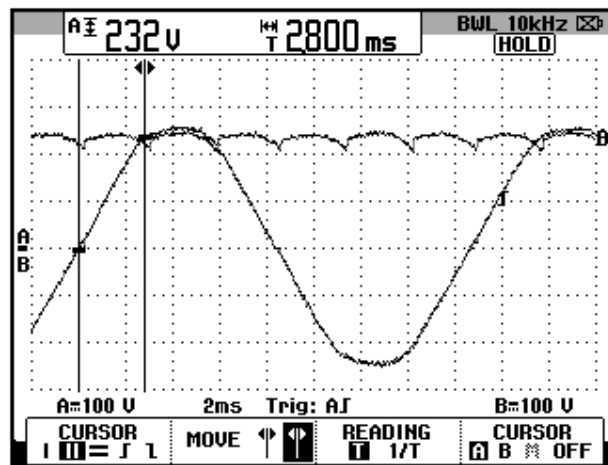


Figura 6.178: Oscilograma que muestra el voltaje de salida para $\alpha=0^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

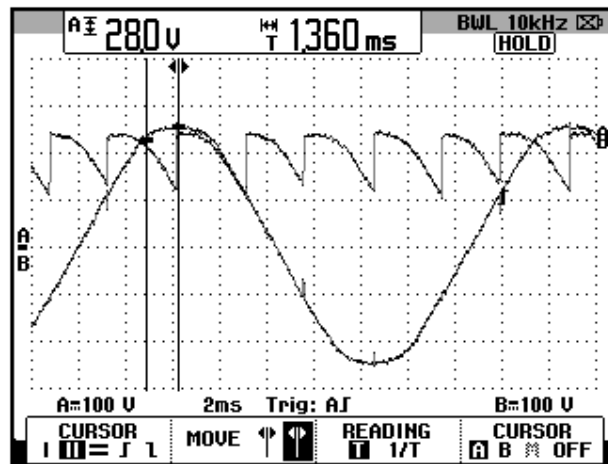


Figura 6.179: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador y carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

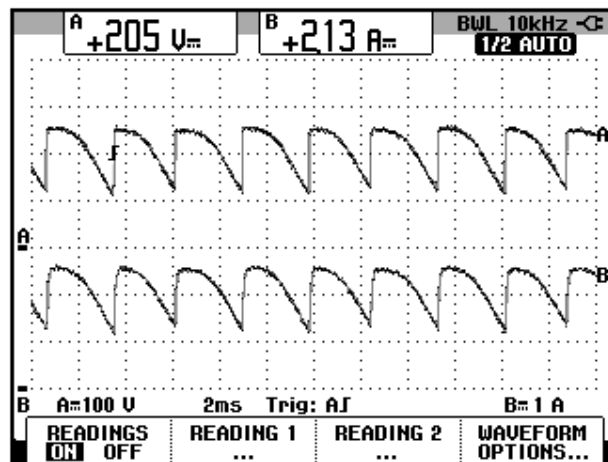


Figura 6.180: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

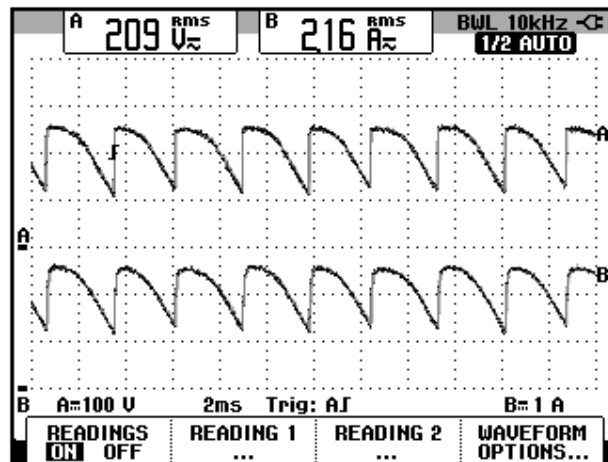


Figura 6.181: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

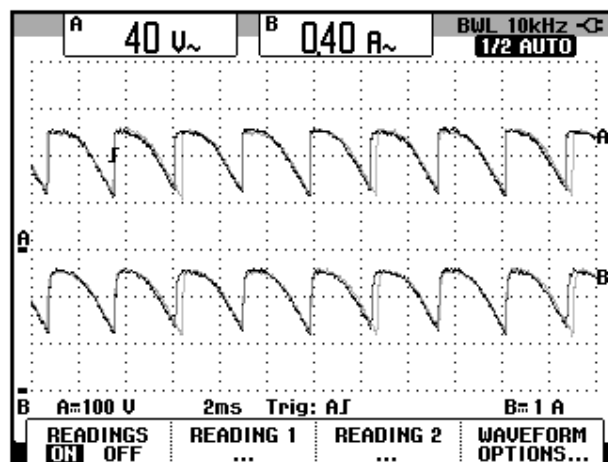


Figura 6.182: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=30^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 436.65[W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig. 6.183:

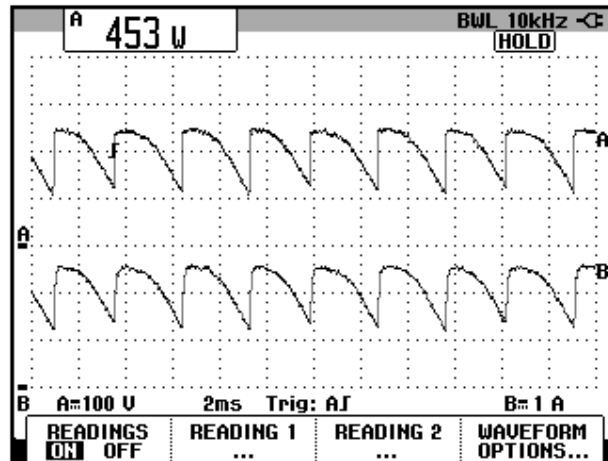


Figura 6.183: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

La eficiencia del convertidor:

$$\eta = \frac{P_{OUT(DC)}}{P_{OUT(AC)}}$$

$$\eta = 0.96$$

El factor de forma, que es una medida de la forma del voltaje de salida:

$$FF = \frac{V_{OUT(RMS)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$FF = 1.02$$

El factor de rizo (RF, de *ripple factor*), que es una medida del contenido alterno residual:

$$RF = \frac{V_{OUT(AC)}}{V_{OUT(DC)}}$$

$$RF = 0.20$$

6.6.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

Se realizará la medición en el secundario del transformador trifásico, el cual está conectado en Y sin neutro.

6.6.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el menú **SETUP**, como se muestra en la Fig. 6.184. En el submenú **CONFIG.**, elegir la configuración **3Ø 1T**, tal como se muestra en la Fig. 6.185. Realizar las conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente entre el analizador y el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado. Las conexiones se muestran en la Fig. 6.186. El modelo de la punta de prueba de corriente debe ser **80i-110s AC/DC CURRENT PROBE**, es decir, la misma empleada con el osciloscopio Fluke 192B.

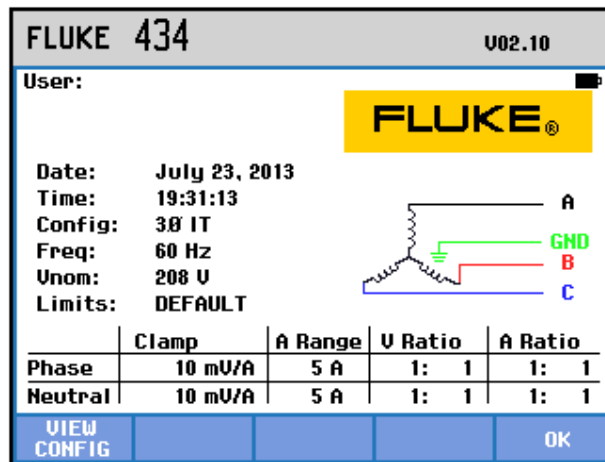


Figura 6.184 Menú SETUP del analizador de energía Fluke 434

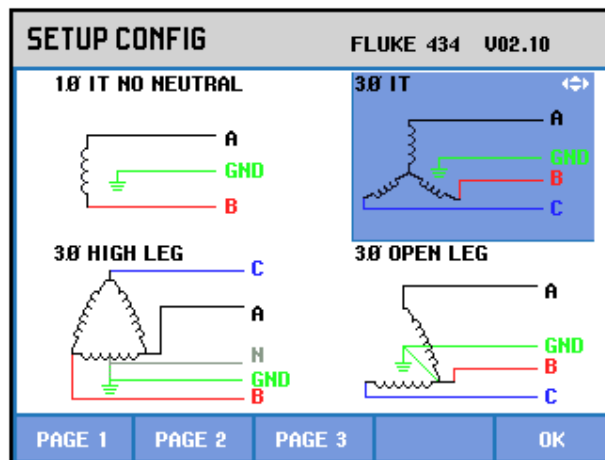


Figura 6.185 Elección de la configuración eléctrica correspondiente al convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$, en el analizador de energía Fluke 434

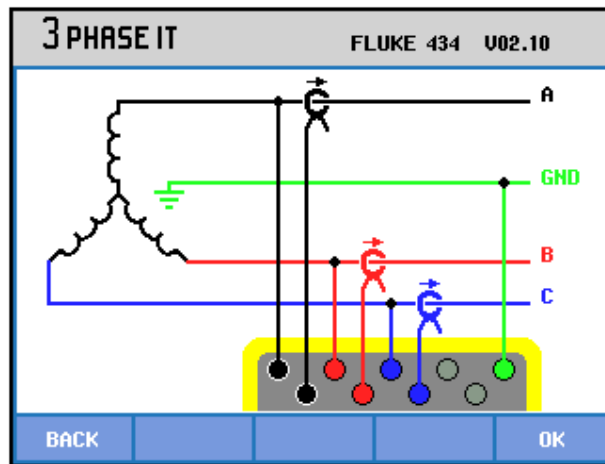


Figura 6.186 Conexiones de las puntas de prueba de voltaje y de corriente desde el analizador de energía Fluke 434 al secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador

6.6.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

En la Fig. 6.187, se muestran las corrientes del secundario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig. 6.188 se muestra la matriz de voltajes del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 6.189 se muestra el voltaje y la corriente de la fase A del transformador trifásico PTREC. 40. Esta imagen permite apreciar la forma de onda de una fase de la corriente del secundario del transformador trifásico. Se puede observar en la Fig. 6.190 un listado de los valores de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase.

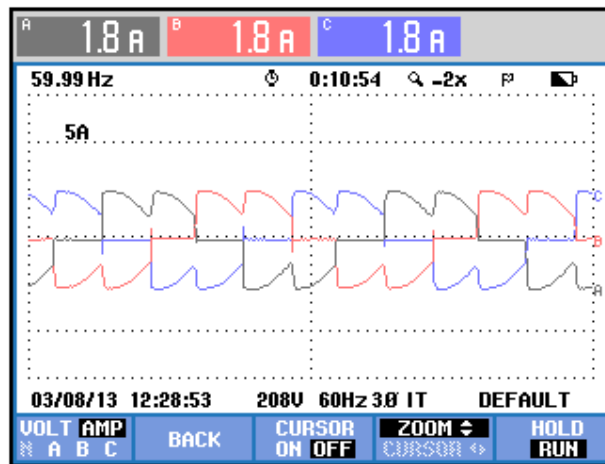


Figura 6.187 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$

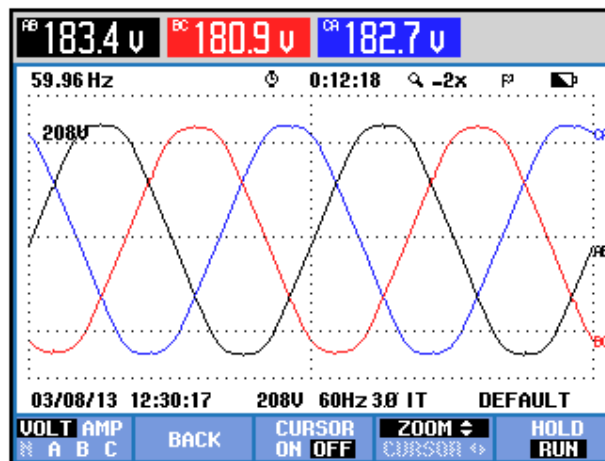


Figura 6.188 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador con carga R y $\alpha=30^\circ$

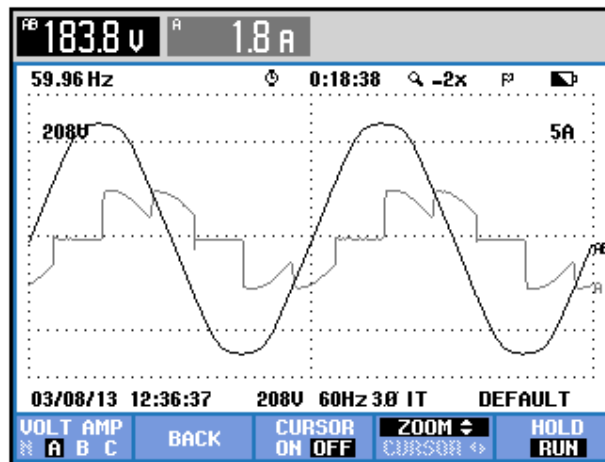


Figura 6.189 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

TABLA ARMÓNICOS			
Amp	A	B	C
THD%f	37.0	33.2	34.6
H3%f	0.9	3.8	4.1
H5%f	31.3	26.3	27.4
H7%f	8.1	11.3	11.9
H9%f	1.1	3.9	4.3
H11%f	12.9	9.2	9.4
H13%f	3.5	6.8	6.8
H15%f	1.5	3.7	4.0

03/08/13 12:47:16 208V 60Hz 3Ø IT DEFAULT

U A U&A HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN

Figura 6.190 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

A continuación, se mostrarán sólo los resultados del análisis de armónicos en la fase A debido a la similitud de los resultados de una misma armónica. La medición de THD de la corriente de la

fase A, se muestra en la Fig. 6.191. La medición DC de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 6.192. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 6.193. Los parámetros de la segunda armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.194. Los parámetros de la tercera armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.195. Los parámetros de la cuarta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.196. Los parámetros de la quinta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.197. Los parámetros de la sexta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.198. Los parámetros de la séptima armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 6.199. En la Tabla 6.4, se resumen los resultados obtenidos.

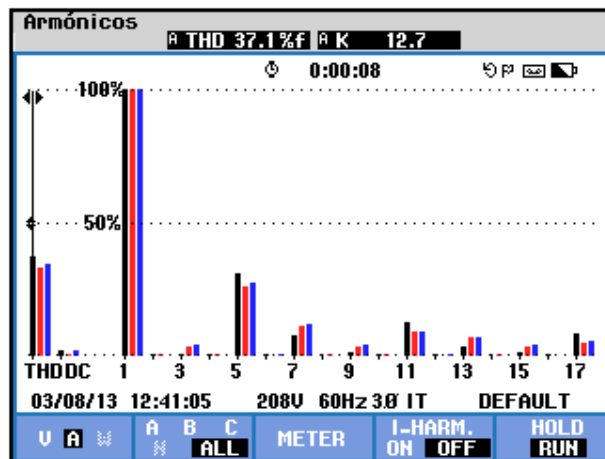


Figura 6.191 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

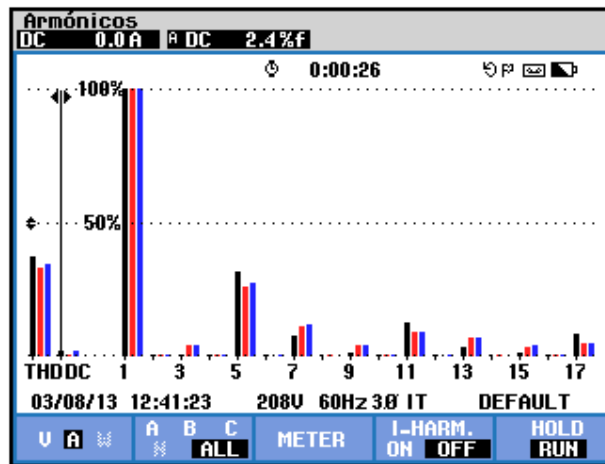


Figura 6.192 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

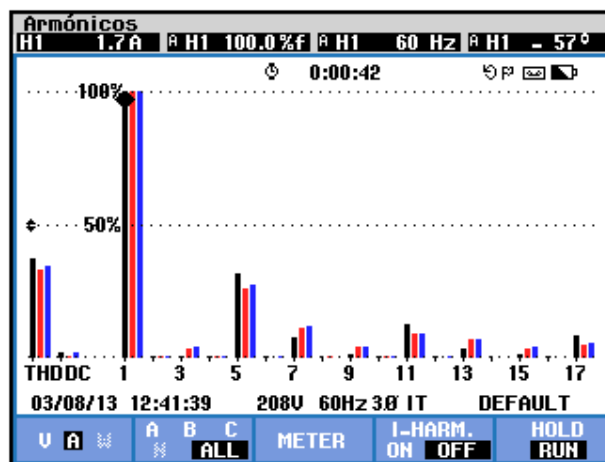


Figura 6.193 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

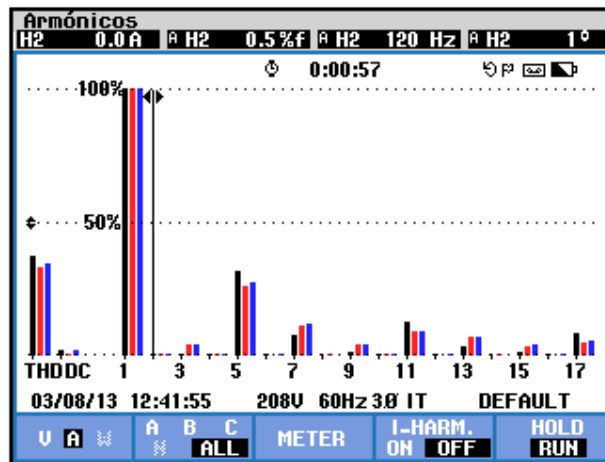


Figura 6.194 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

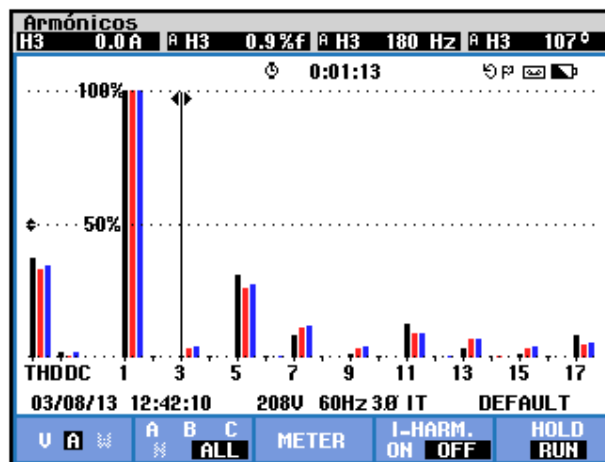


Figura 6.195 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

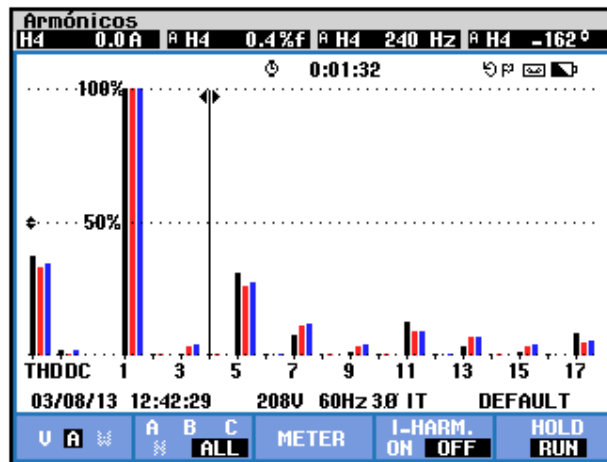


Figura 6.196 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

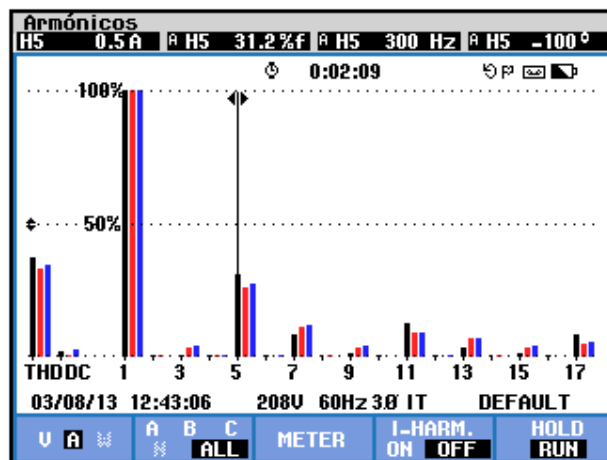


Figura 6.197 Medición de la quinta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

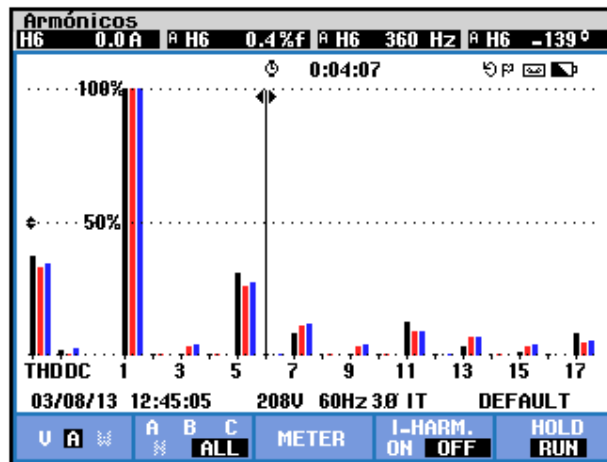


Figura 6.198 Medición de la sexta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

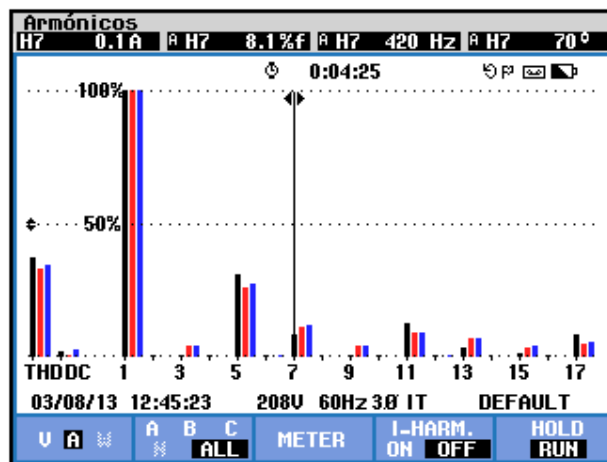


Figura 6.199 Medición de la séptima armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

THD [%]	I_{DC} [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [°]
37.1	0	1	1.7	-57
		2	0	1
		3	0	107
		4	0	-162
		5	0.5	-100
		6	0	-139
		7	0.1	70

Tabla 6.4 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las siete primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

Los parámetros de los voltajes del secundario del transformador trifásico se muestran en la Fig. 6.200. Los parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico se muestran en la 6.201. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase A y la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.202. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase B y la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.203. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase C y la corriente del secundario de la fase C del transformador trifásico se muestra en la Fig. 6.204. En el submenú **POTENCIA**

Y ENERGÍA se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**. Estos parámetros se muestran en la Fig. 6.205.

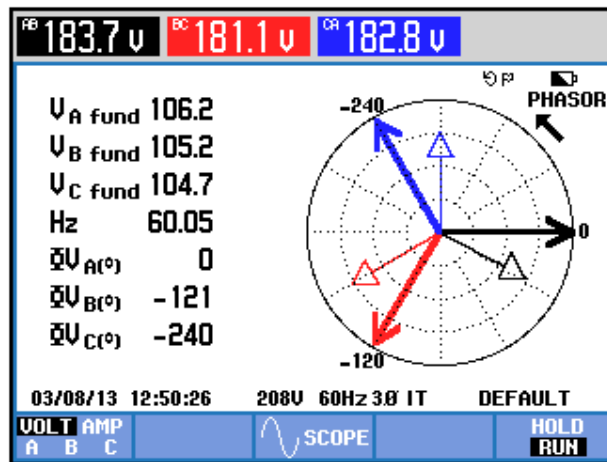


Figura 6.200 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

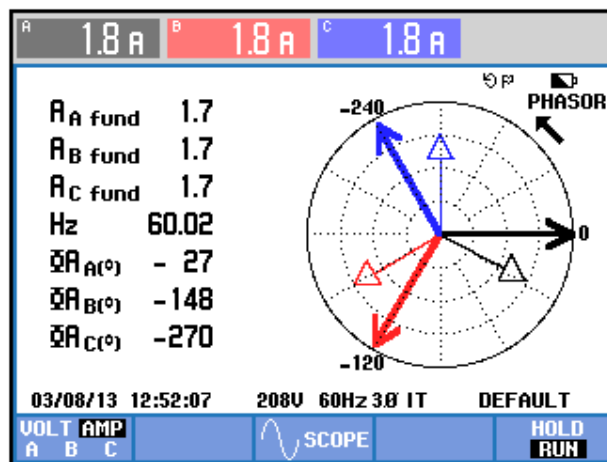


Figura 6.201 Parámetros de los corrientes del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

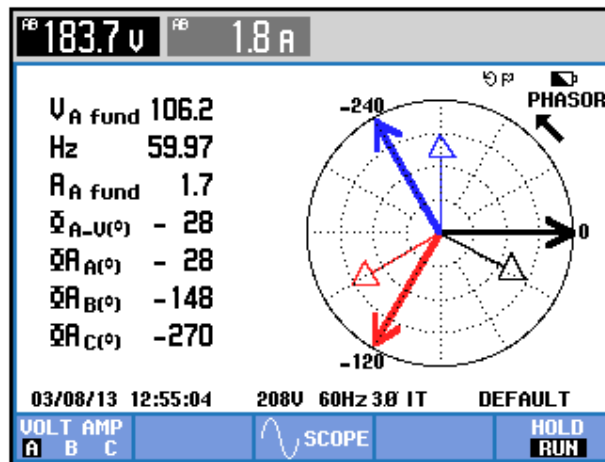


Figura 6.202 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

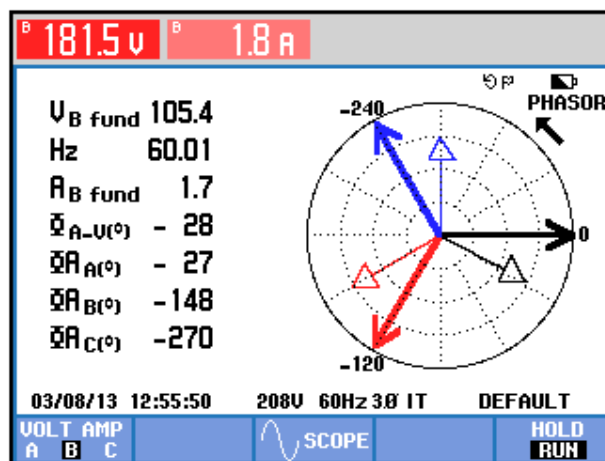


Figura 6.203 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$

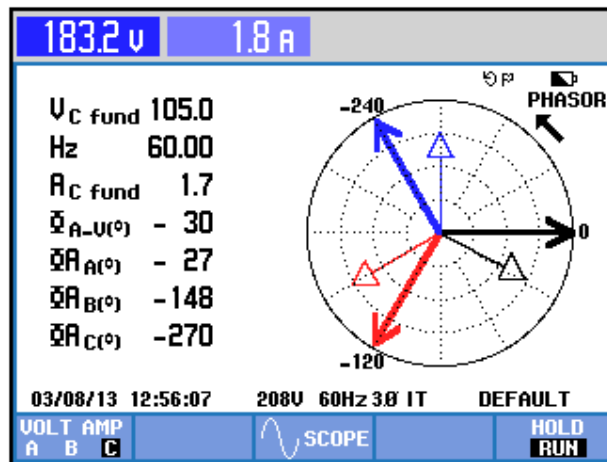


Figura 6.204 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^{\circ}$

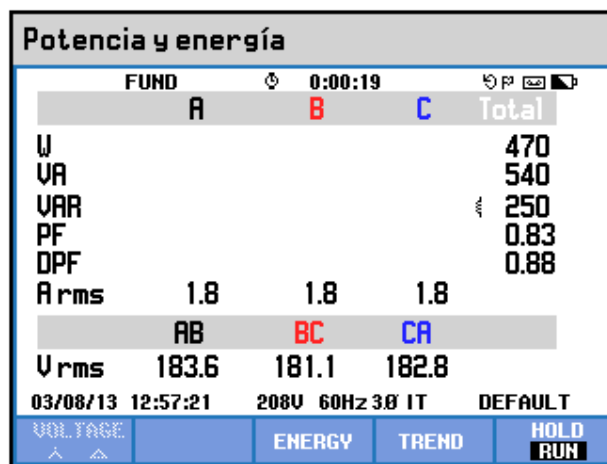


Figura 6.205 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^{\circ}$

6.6.5. Formas de onda empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

En el oscilograma de la Fig. 6.206, se muestra el voltaje de salida junto con el voltaje línea-línea S1-S2. En el oscilograma de la Fig. 6.207, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.208, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 y la corriente de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.209, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.210, se muestra la corriente a través de TH6 junto con el voltaje línea-línea S1-S2. En el oscilograma de la Fig. 6.211, se muestra el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6 junto con el voltaje línea-línea S1-S2.

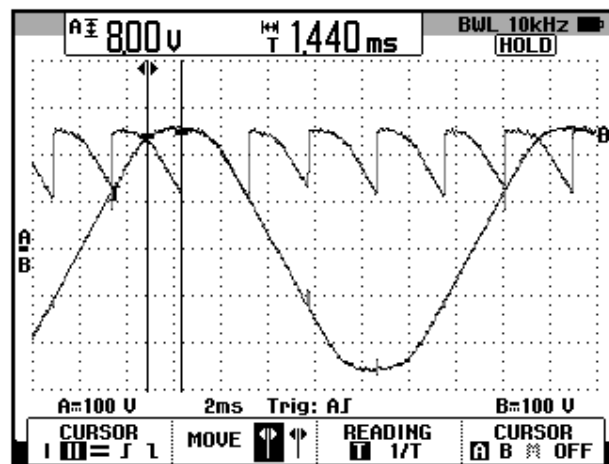


Figura 6.206: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

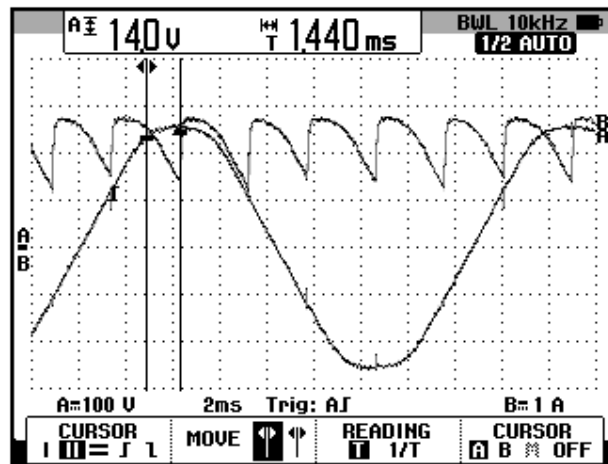


Figura 6.207: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)

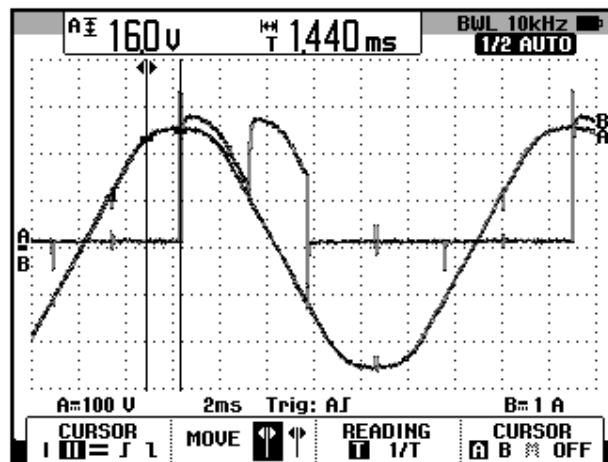


Figura 6.208: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)

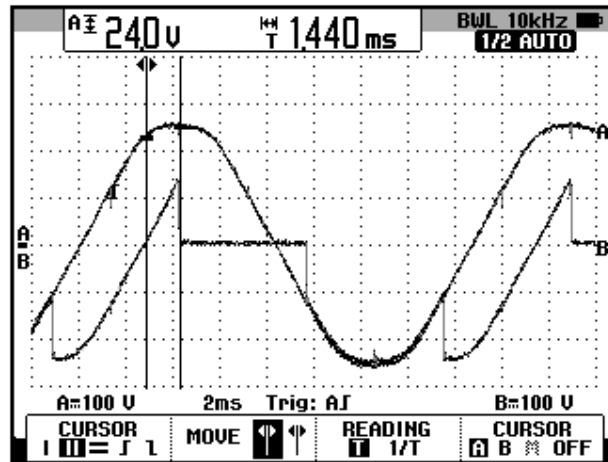


Figura 6.209: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1)

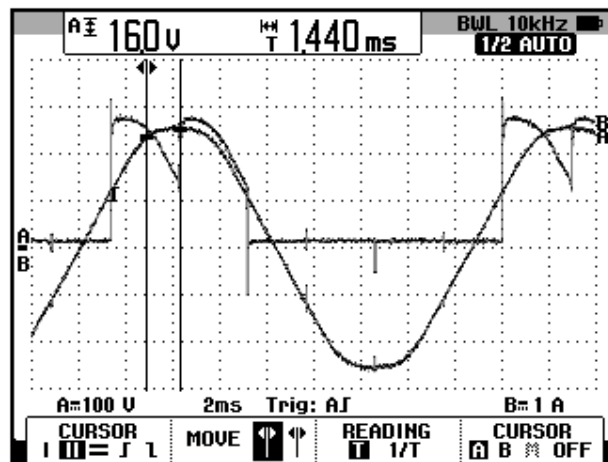


Figura 6.210: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith6)

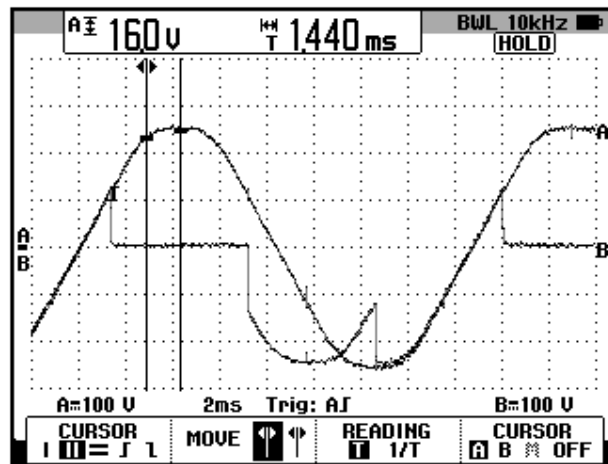


Figura 6.211: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth6)

En el oscilograma de la Fig. 6.212, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 y el voltaje S1-S3. El desfase es casi 60° . El nuevo voltaje de referencia para los oscilogramas es el voltaje línea-línea S1-S3. En el oscilograma de la Fig. 6.213, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig. 6.206. En el oscilograma de la Fig. 6.214, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y la corriente de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.215, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.216, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 junto con la corriente a través de TH2. En el oscilograma de la Fig. 6.217, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de TH2.

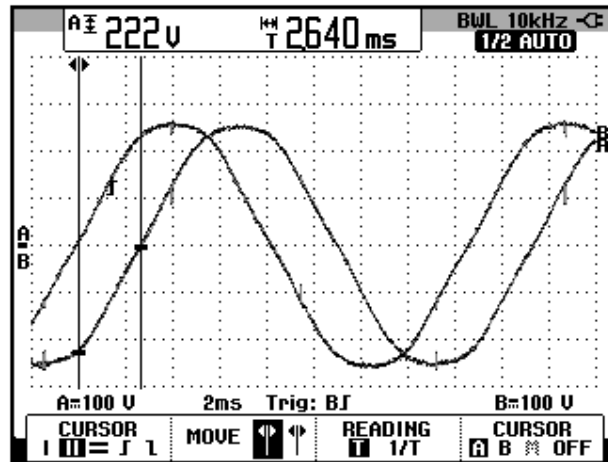


Figura 6.212: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S1-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vs1-s3)

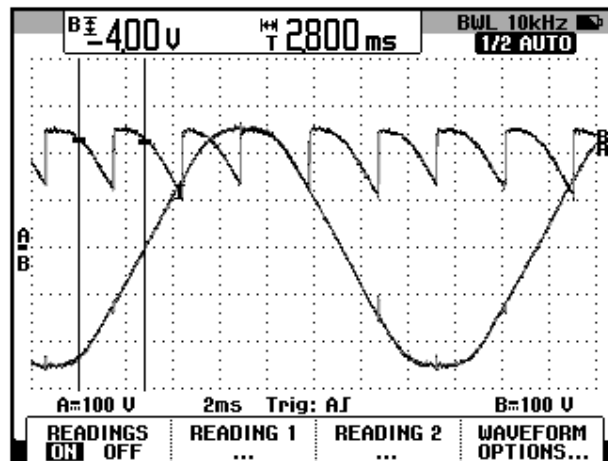


Figura 6.213: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vout)

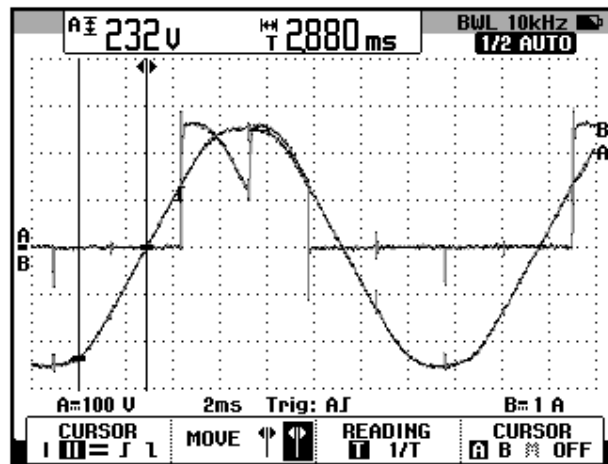


Figura 6.214: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith1)

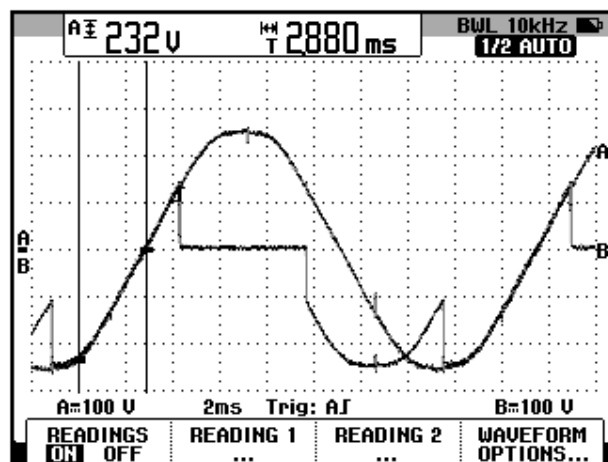


Figura 6.215: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth1)

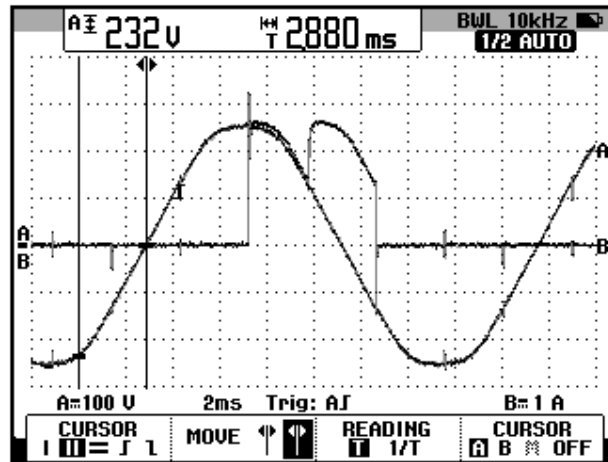


Figura 6.216: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y la corriente de TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Ith2)

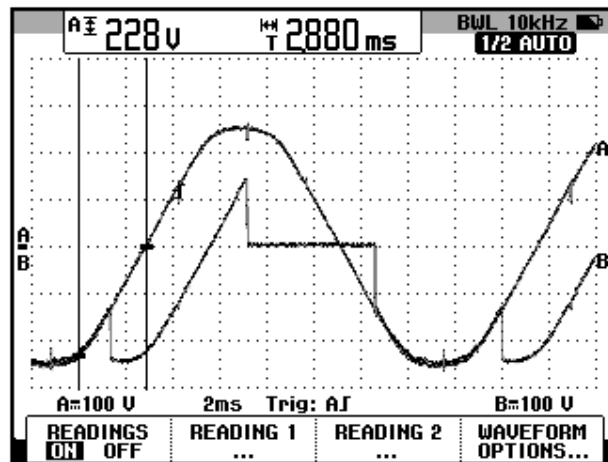


Figura 6.217: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs1-s3; CH2: Vth2)

En el oscilograma de la Fig. 6.218, se muestra el voltaje línea-línea S1-S3 y el voltaje S2-S3. El desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S2-S3 es casi 120° .

En el oscilograma de la Fig. 6.219, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig. 6.213. En el oscilograma de la Fig. 6.220, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y la corriente de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.221, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.222, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 junto con la corriente a través de TH2. En el oscilograma de la Fig. 6.223, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de TH2.

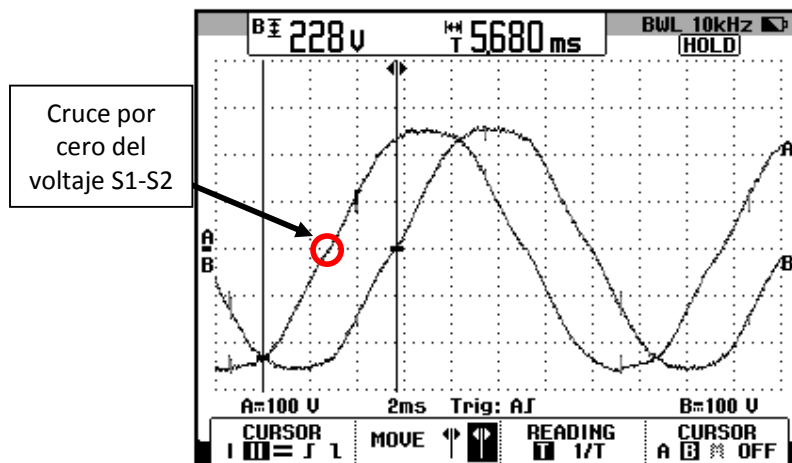


Figura 6.218: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S2 y el voltaje en S2-S3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vs1-s3)

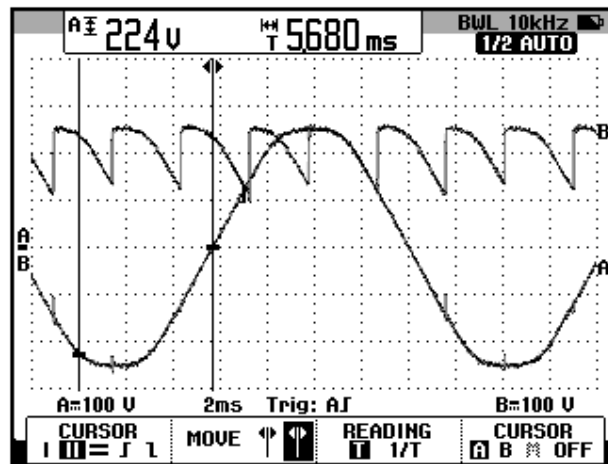


Figura 6.219: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vout)

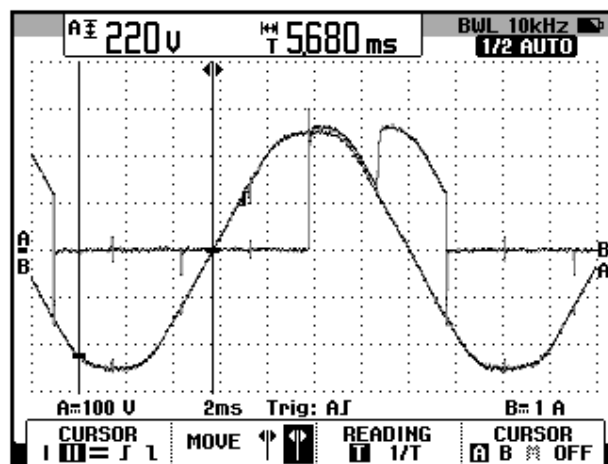


Figura 6.220: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith3)

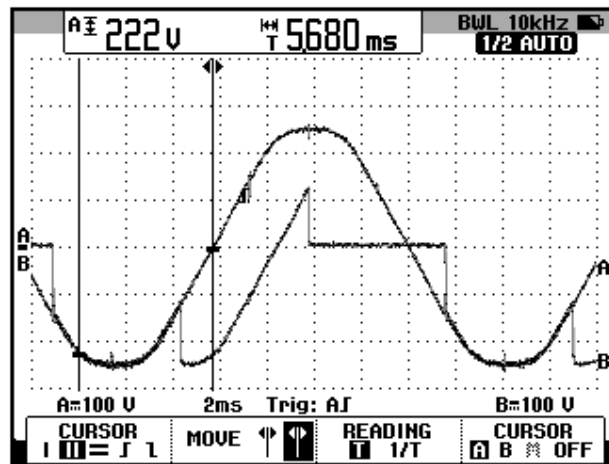


Figura 6.221: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth3)

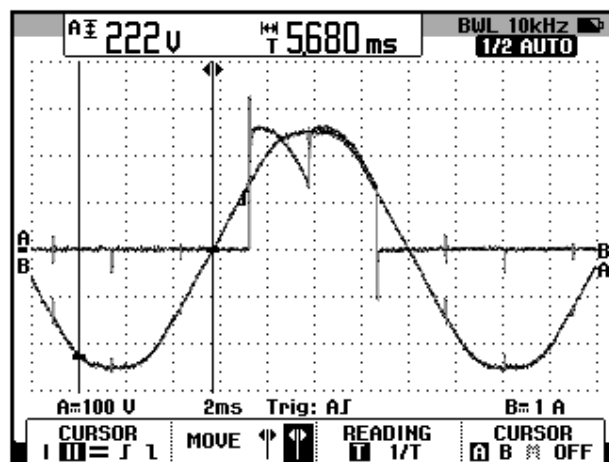


Figura 6.222: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y la corriente de TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Ith2)

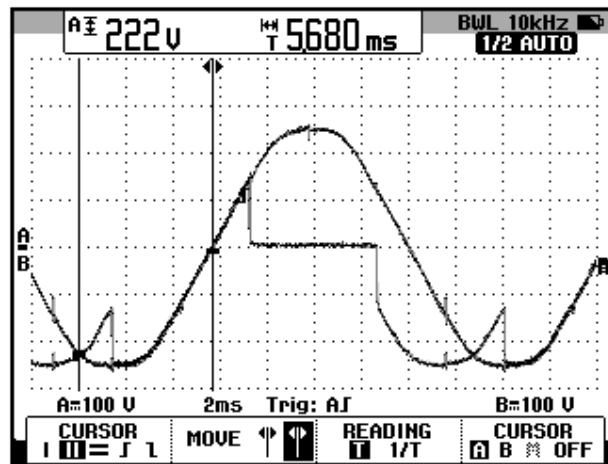


Figura 6.223: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S3 y el voltaje ánodo-cátodo en TH2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s3; CH2: Vth2)

En el oscilograma de la Fig. 6.224, se muestra el voltaje línea-línea S2-S3 y el voltaje S2-S1. El desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S2-S1 es casi 180° . En el oscilograma de la Fig. 6.225, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig. 6.219. En el oscilograma de la Fig. 6.226, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y la corriente de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.227, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3. En el oscilograma de la Fig. 6.228, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 junto con la corriente a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 6.229, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4.

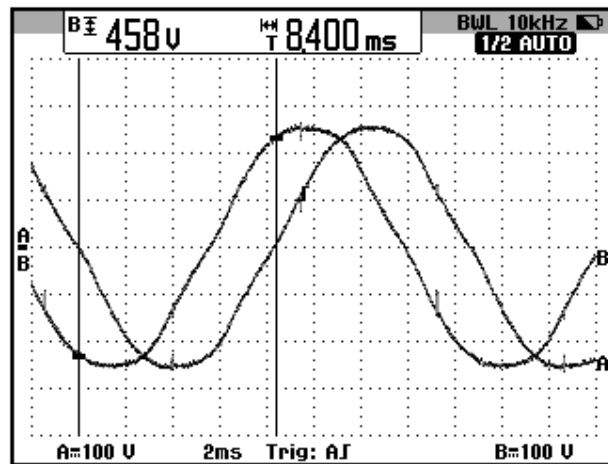


Figura 6.224: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S2-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vs2-s3)

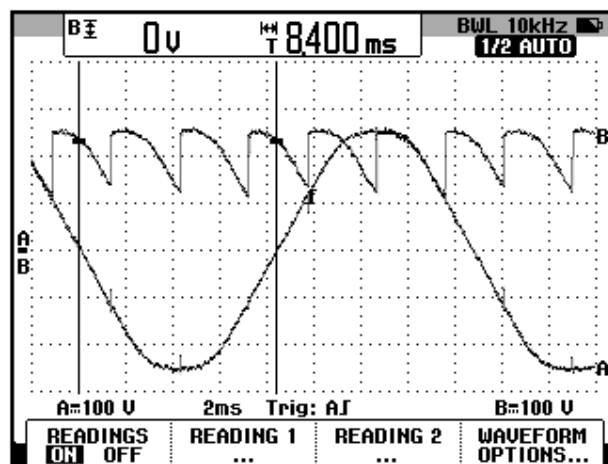


Figura 6.225: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vout)

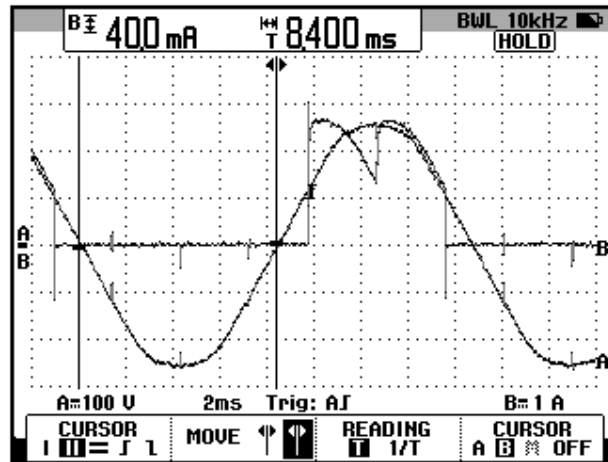


Figura 6.226: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith3)

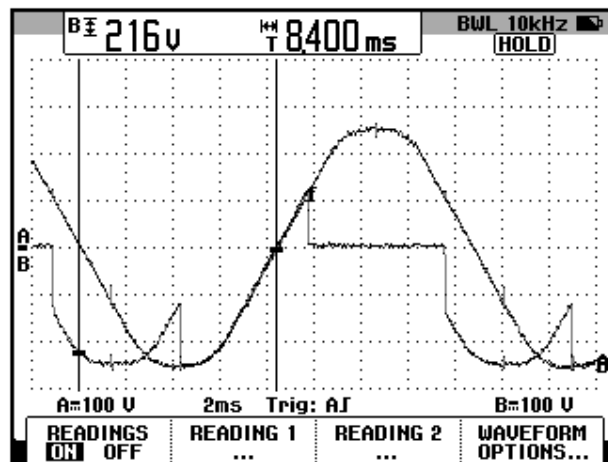


Figura 6.227: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH3 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth3)

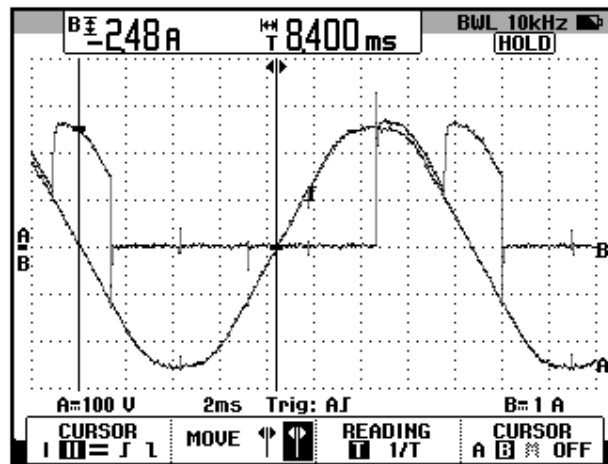


Figura 6.228: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y la corriente de TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith4)

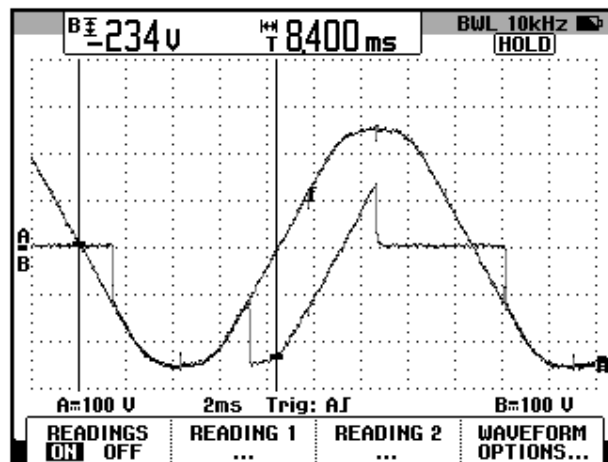


Figura 6.229: Oscilograma que muestra el voltaje S2-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Vth4)

En el oscilograma de la Fig. 6.230, se muestra el voltaje línea-línea S2-S1 y el voltaje S3-S1. El desfase entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S1 es casi 240° .

En el oscilograma de la Fig. 6.231, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y el voltaje de salida. Comparar este oscilograma con el de la Fig. 6.225. En el oscilograma de la Fig. 6.232, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y la corriente de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.233, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.234, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con la corriente a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 6.235, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4.

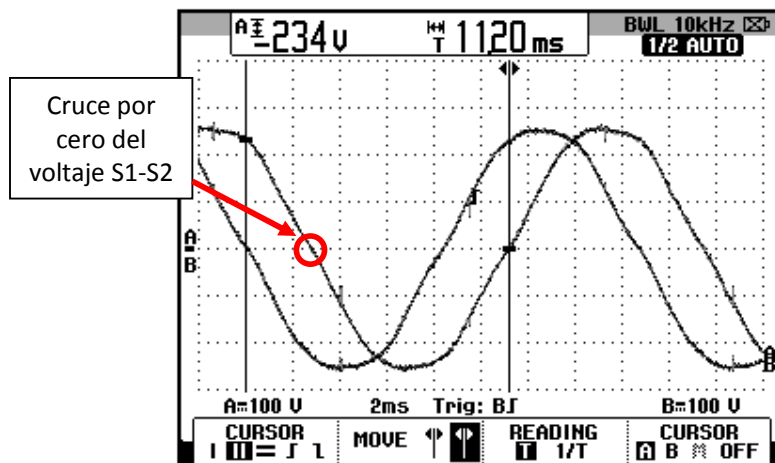


Figura 6.230: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S1-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs2-s1)

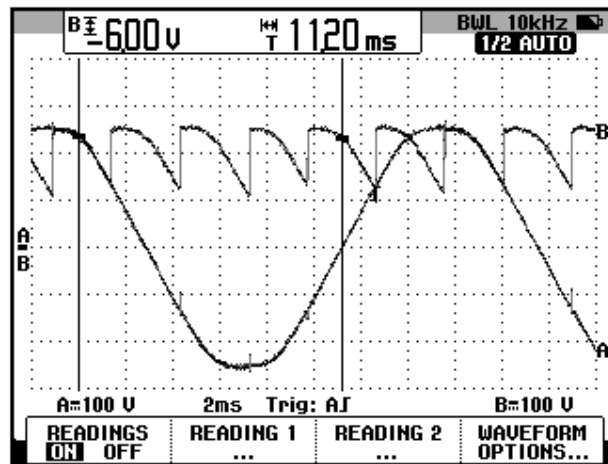


Figura 6.231: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vout)

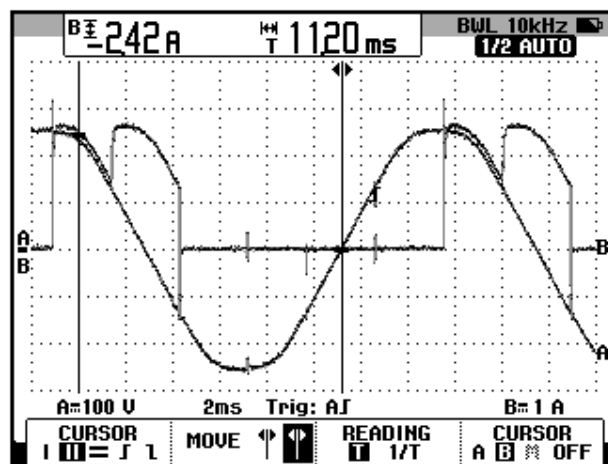


Figura 6.232: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs2-s1; CH2: Ith5)

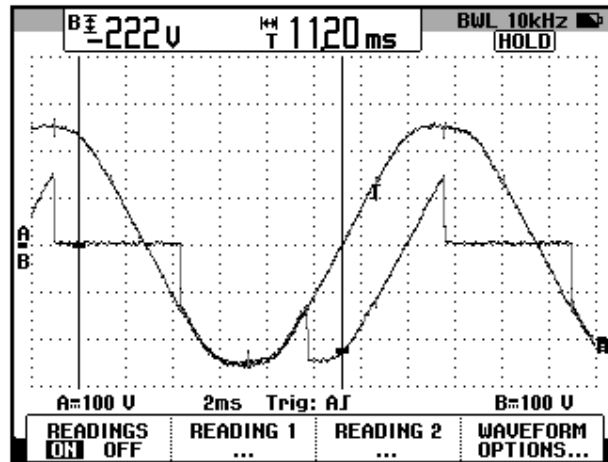


Figura 6.233: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth5)

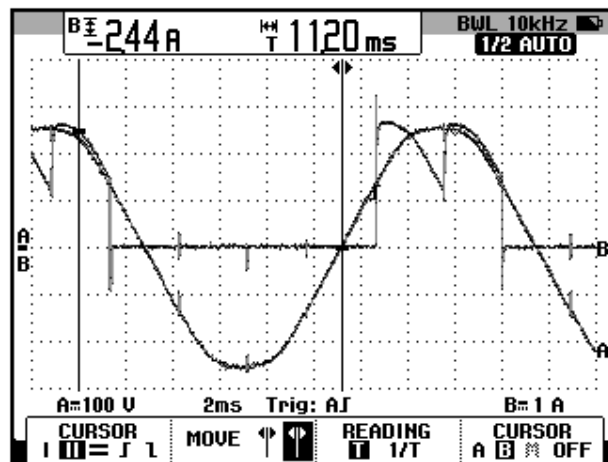


Figura 6.234: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y la corriente de TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Ith4)

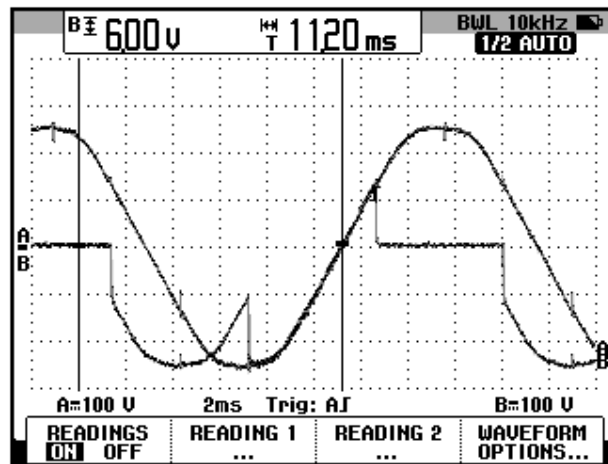


Figura 6.235: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S1 y el voltaje ánodo-cátodo en TH4 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vth4)

En el oscilograma de la Fig. 6.236, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje S3-S1. El desfaseamiento entre el voltaje S1-S2 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S1 es casi 240° . En el oscilograma de la Fig. 6.237, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje de salida. Compare este oscilograma con el de la Fig. 6.231. En el oscilograma de la Fig. 6.238, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y la corriente de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.239, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5. En el oscilograma de la Fig. 6.240, se muestra el voltaje línea-línea S3-S1 junto con la corriente a través de TH6. En el oscilograma de la Fig. 6.241, se muestra el voltaje línea-línea S3-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6.

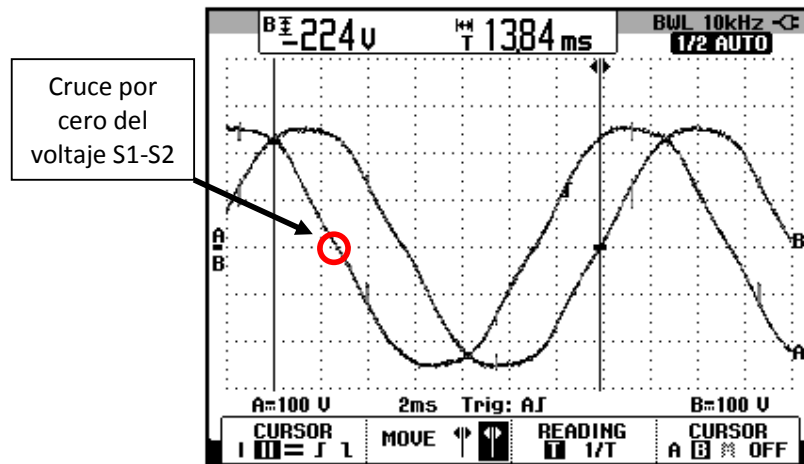


Figura 6.236: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S3-S1 y el voltaje en S3-S2 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s1; CH2: Vs3-s2)

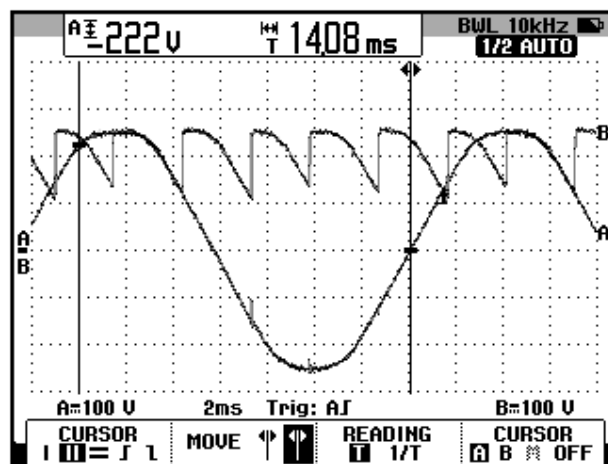


Figura 6.237: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vout)

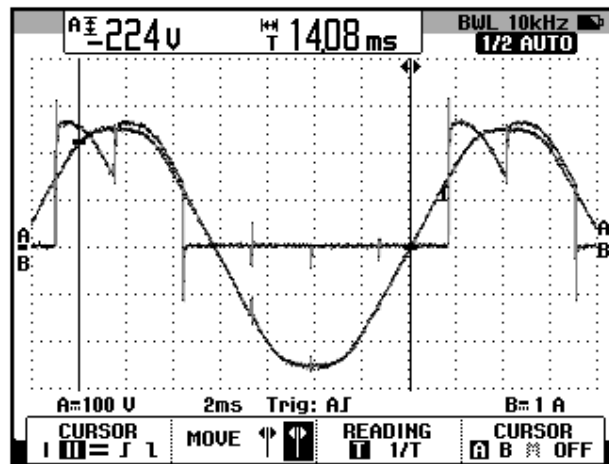


Figura 6.238: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith5)

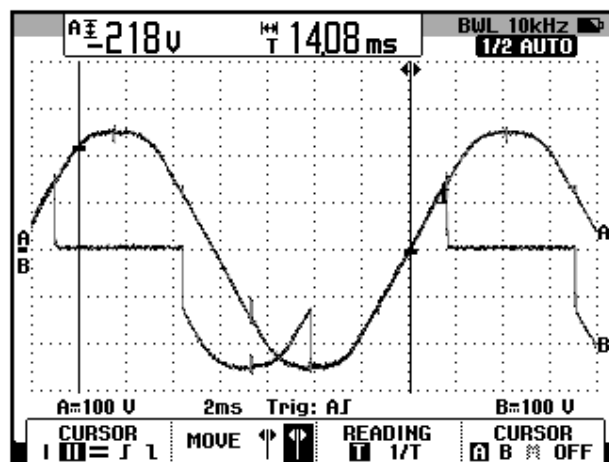


Figura 6.239: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH5 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth5)

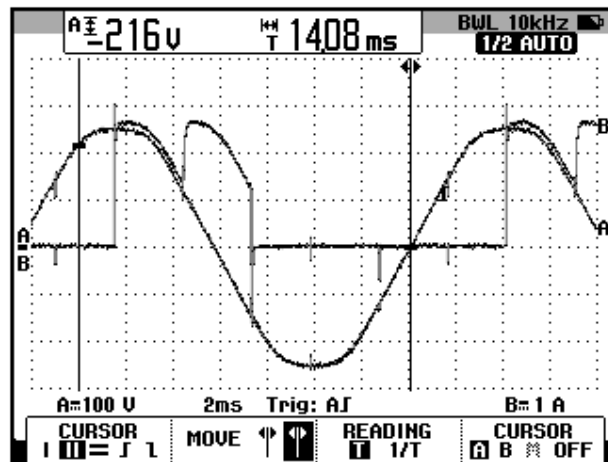


Figura 6.240: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Ith6)

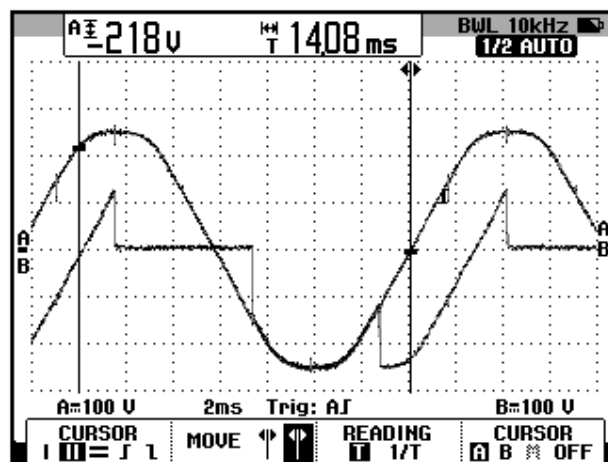


Figura 6.241: Oscilograma que muestra el voltaje S3-S2 y el voltaje ánodo-cátodo en TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con carga R y $\alpha=30^\circ$ (CH1: Vs3-s2; CH2: Vth6)

6.6.6. Obtención de figuras de mérito empleando el motor DC MV1006 y el osciloscopio Fluke 192B

Realizar las conexiones mostradas en la Fig. 6.242. En primer lugar, encender el campo del motor DC MV1006; la energización es dada por la fuente de alimentación MV1300.

Al igual que en el experimento anterior, en el rectificador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 60° después del cruce por cero de un voltaje *línea-línea* del transformador trifásico, para este caso emplearemos el voltaje entre S1 y S2. El intervalo de tiempo correspondiente a 60° a partir del cruce por cero, es aproximadamente 2.8 ms.

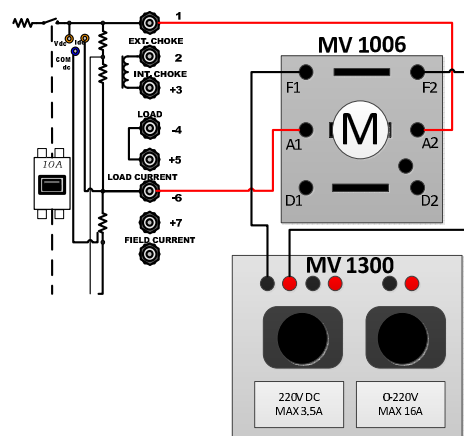


Figura 6.242 Conexión entre el drive Mawdsley's y el motor DC MV1006 junto con la fuente de alimentación MV1300

A continuación, proceder con el arranque del motor DC. Para ello, ajustar el potenciómetro REFERENCE en mínimo para evitar un arranque directo, a continuación variarlo hasta que sea el máximo de

tal forma que el ángulo de disparo sea de 0° ; este ajuste del ángulo de disparo se muestra en la Fig. 6.243. Con respecto al ángulo de disparo, fijarlo en $\alpha=104^\circ$ aproximadamente; el intervalo de tiempo corresponde a 4.8 ms aproximadamente. Esto se muestra en la Fig. 6.244. En el oscilograma de la Fig. 6.245, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida.

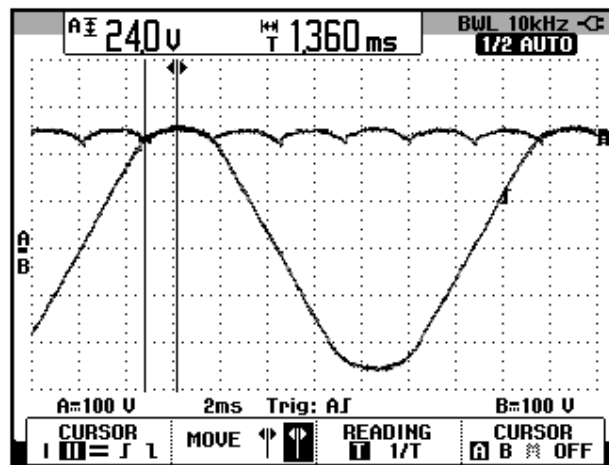


Figura 6.243: Oscilograma que muestra el voltaje de salida para $\alpha=0^\circ$ en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=0^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout) (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

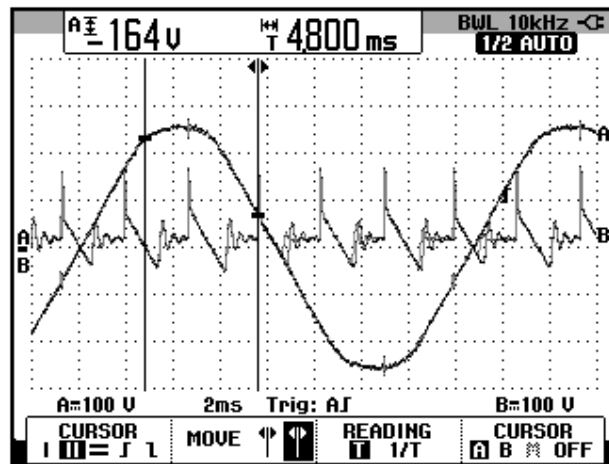


Figura 6.244: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 junto con el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

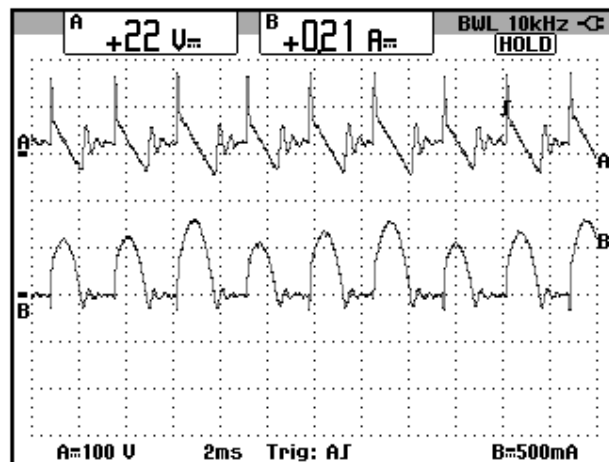


Figura 6.245: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vout; CH2: Iout)

6.6.7. Formas de onda empleando el motor DC MV1006 y el osciloscopio Fluke 192B

Mantener el ángulo de disparo en $\alpha=30^\circ$. Se mostrarán las formas de onda tomando como referencia únicamente el voltaje línea-línea S1-S2.

En el oscilograma de la Fig. 6.246, se muestra el voltaje de salida junto con el voltaje línea-línea S1-S2. En el oscilograma de la Fig. 6.247, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 6.248, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 y la corriente de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.249, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo de TH1. En el oscilograma de la Fig. 6.250, se muestra la corriente a través de TH6 junto con el voltaje línea-línea S1-S2. En el oscilograma de la Fig. 6.251, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con el voltaje ánodo-cátodo de TH6. En el oscilograma de la Fig. 6.252, se muestra el voltaje línea-línea S1-S2 junto con la FEM del motor la cual es de aproximadamente 12V.

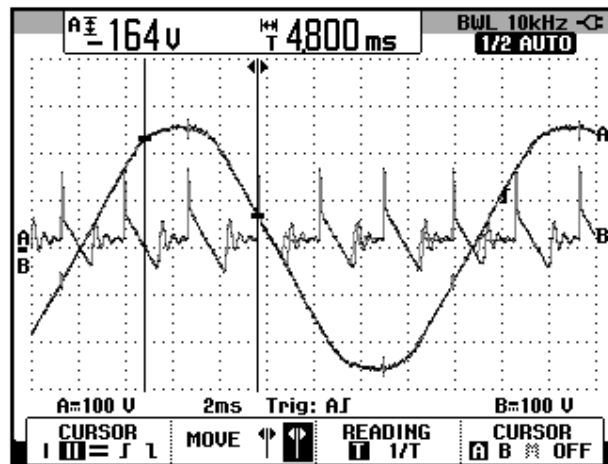


Figura 6.246: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

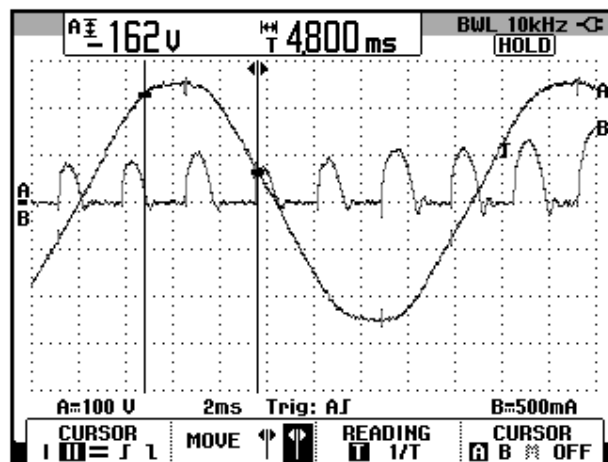


Figura 6.247: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de salida en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Iout)

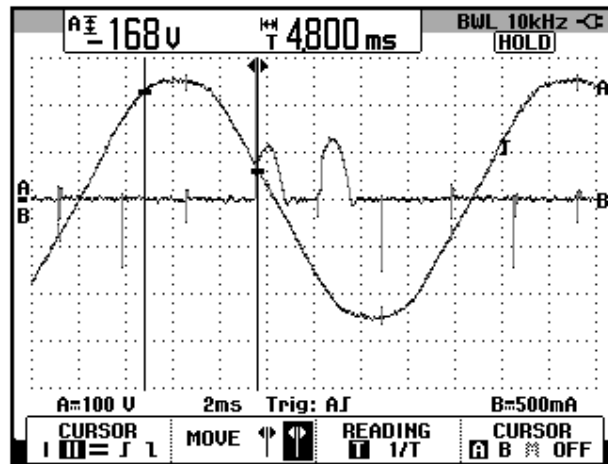


Figura 6.248: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith1)

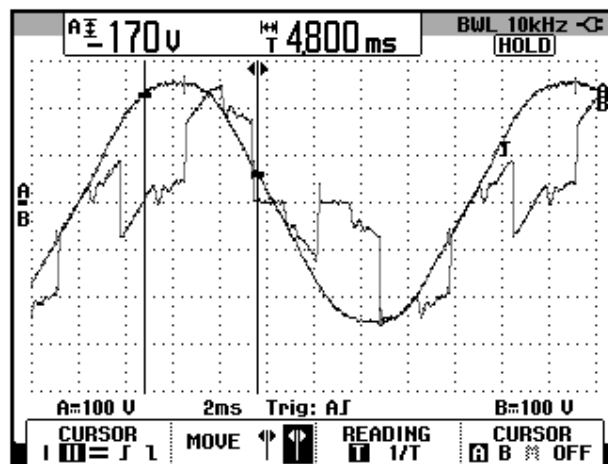


Figura 6.249: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH1 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth1)

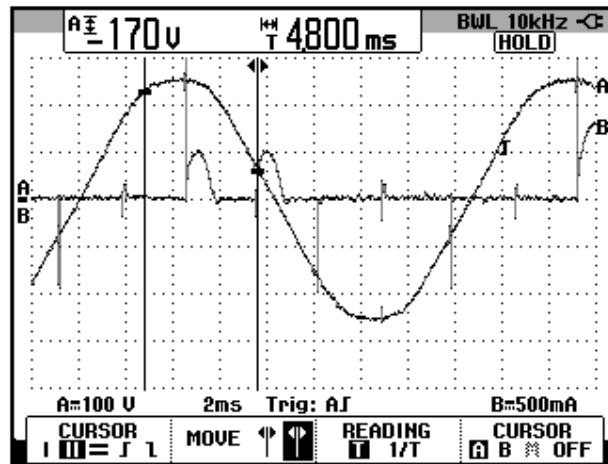


Figura 6.250: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y la corriente de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Ith6)

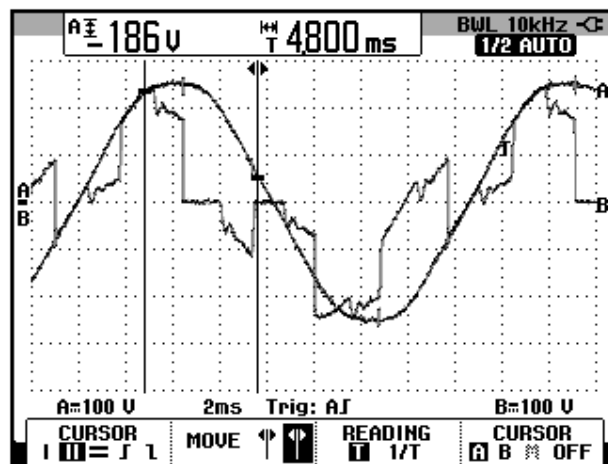


Figura 6.251: Oscilograma que muestra el voltaje S1-S2 y el voltaje ánodo-cátodo de TH6 en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vth6)

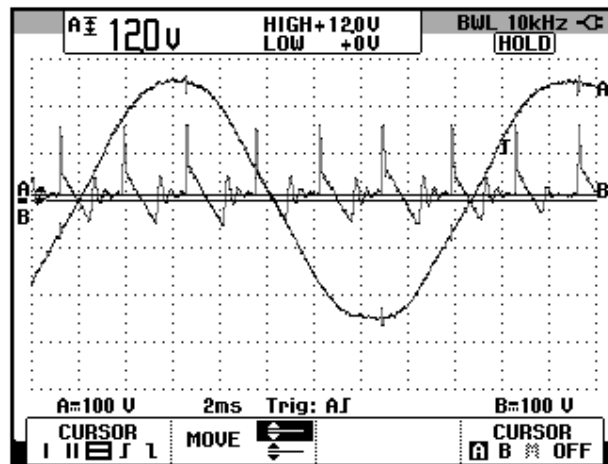


Figura 6.252: Oscilograma que muestra la medición de la FEM en el convertidor AC-DC trifásico de onda completa totalmente controlado con puente rectificador, el motor DC MV1006 como carga y $\alpha=104^\circ$ (CH1: Vs1-s2; CH2: Vout)

CAPÍTULO 7

SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DC EN BASE DE RECTIFICADORES TRIFÁSICOS TOTALMENTE CONTROLADOS.

Se muestra el uso de un controlador de velocidad de motor DC profesional y se emplea el software de programación CT-Soft, el cual permite configurar el drive en base a diagramas de bloques. Se describe el diagrama eléctrico del panel correspondiente. Se implementan los dos métodos de control de velocidad: por taco-generador y por compensación I_xR ; se sintoniza el controlador de velocidad. Se implementa el control de torque y el avance gradual. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada.

7.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica y presentación del panel eléctrico Mentor.

Previo a la descripción del panel eléctrico Mentor, se indican los equipos necesarios para la práctica:

- Panel eléctrico Mentor
- Máquina DC MV1006
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Analizador de energía Fluke 434
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE TACH20
- Tacogenerador DC MV1024
- Freno MV1045
- Convertidor CT Comms Cable USB-RS485
- Cables de tipo banana

En la Fig. 7.1 se muestra una imagen de los dos paneles eléctricos Mentor del Laboratorio de Electrónica de Potencia. Observar la ubicación de los módulos PROFIBUS. En la Fig. 7.2 se muestra la parte posterior de los paneles eléctricos Mentor. En la Fig. 7.3, se muestra una vista del panel frontal del panel eléctrico Mentor.

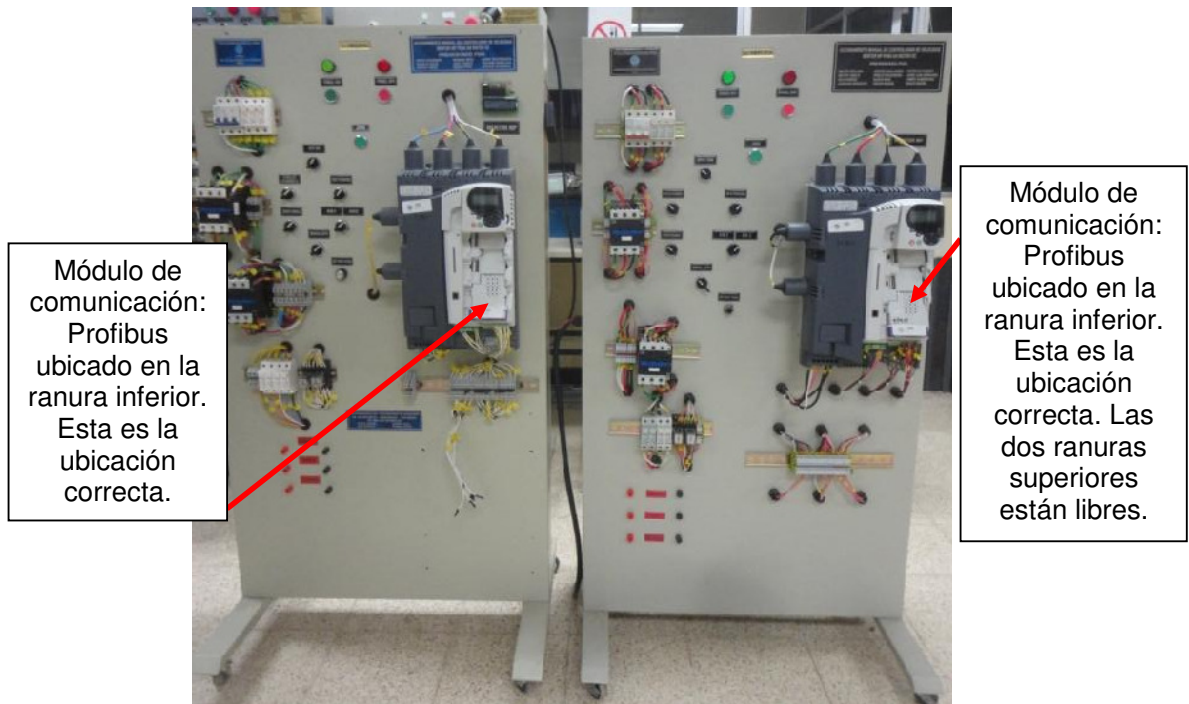


Figura 7.1: Paneles eléctricos Mentor: original (izquierda) y réplica (derecha).

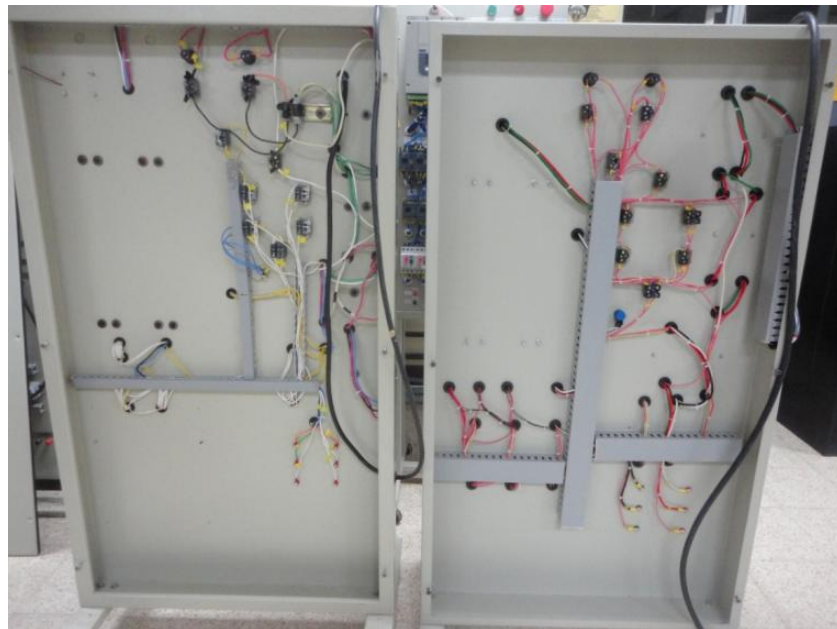


Figura 7.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Mentor: original (izquierda) y réplica (derecha).

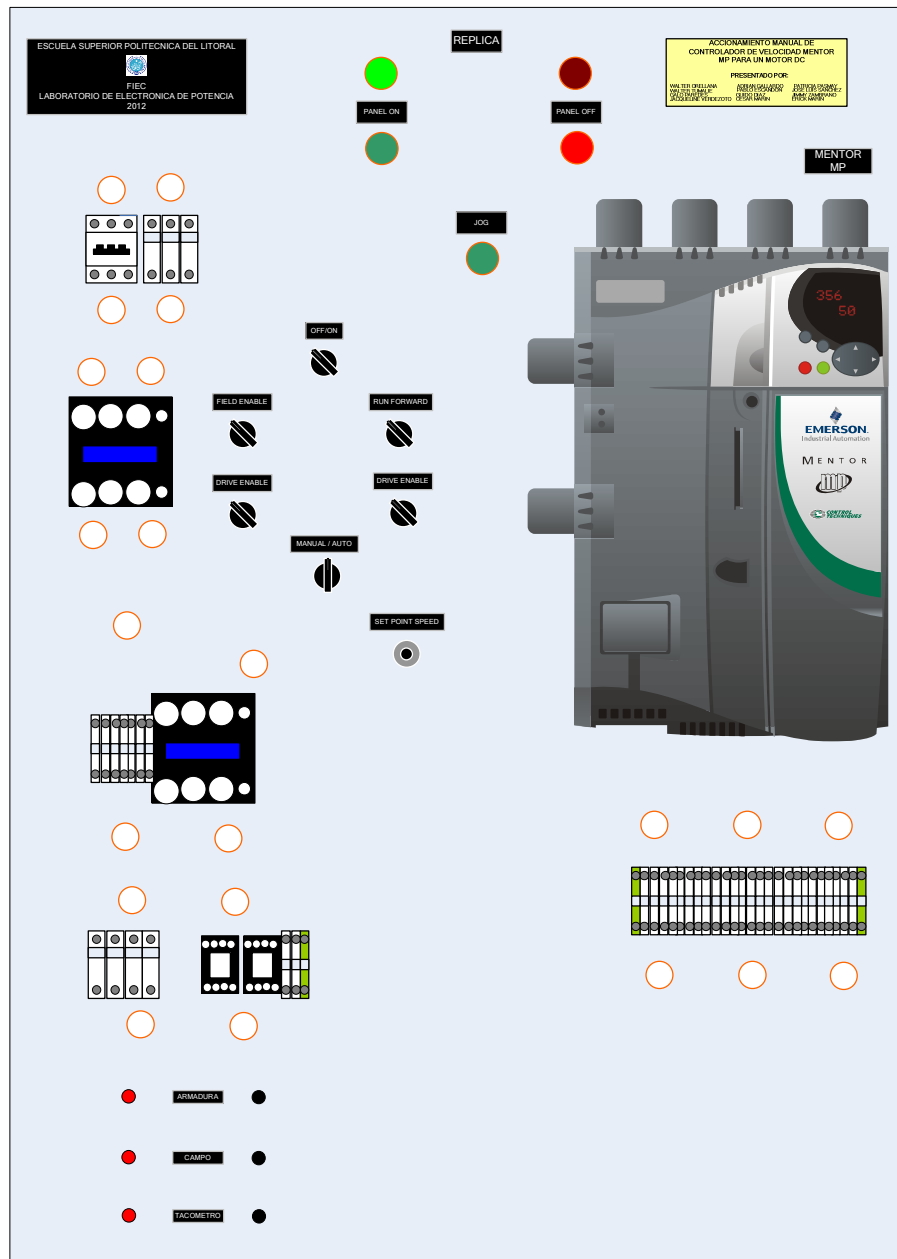


Figura 7.3: Vista frontal del panel eléctrico Mentor.

A continuación, se muestran las partes constitutivas del panel eléctrico Mentor. En la Fig. 7.4, se muestra el disyuntor de 40A. A un costado se muestran los tres porta-fusibles principales; se emplean fusibles rápidos de 20A. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 7.5, se muestra el

contactor principal. El contactor de alimentación tiene las mismas características. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 7.6 se muestran las características de los contactores principal y de alimentación. En la Fig. 7.7, se muestran las borneras para conexión hacia las terminales de control del drive.



Figura 7.4: Disyuntor de 40A y tres porta-fusibles principales.



Figura 7.5: Contactor principal ó de alimentación de 40A.

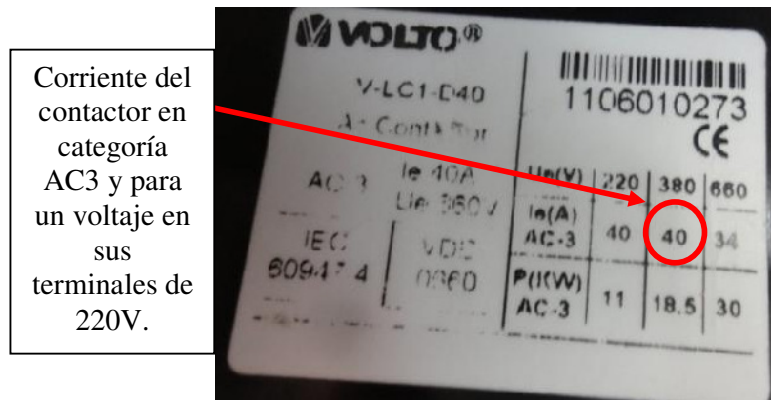


Figura 7.6: Características del contactor principal ó de alimentación.

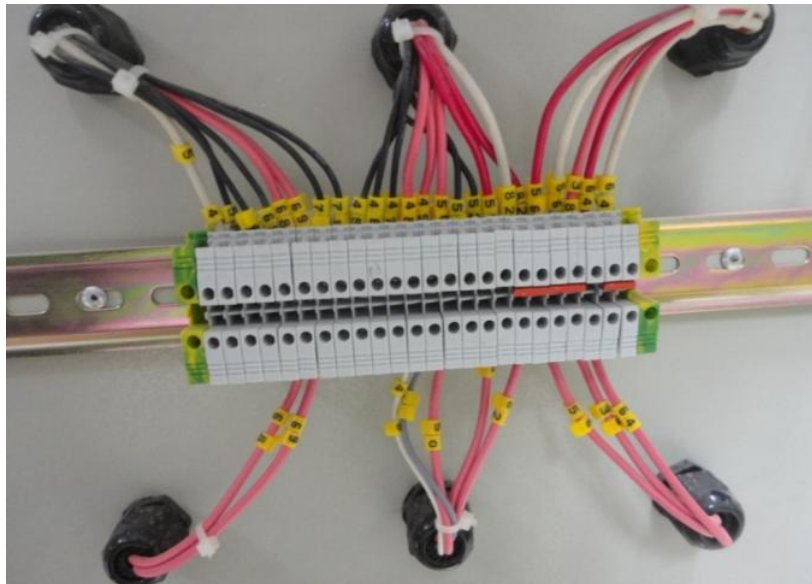


Figura 7.7: Borneras para conexión hacia las terminales de control del drive.

En la Fig. 7.8, se muestra de izquierda a derecha: porta-fusible para la armadura, un porta-fusible para el circuito de campo, dos porta-fusibles para la alimentación del panel de operador del drive y dos relés auxiliares con alimentación AC. El tipo de fusible para la armadura y campo es de retardo de tiempo, cuyos valores son 10A y 2A respectivamente. Los fusibles para la

alimentación del panel de operador del drive son de 10A y tipo retardo de tiempo. En la Fig. 7.9 se muestran el diagrama de terminales de los relés auxiliares y su base ó socket. En la Fig. 7.10, se muestran los pulsadores PANEL ON y PANEL OFF. Se muestra también la botonera de JOG que al ser presionada permite realizar un avance gradual del motor. En la Fig. 7.11, se muestran los distintos selectores del panel Mentor. En la Fig. 7.12, se muestran las terminales para la conexión de la armadura, del campo y del taco-generador DC MV1024. En la Fig. 7.13 se muestra panel de operador del panel Mentor, el cual es desmontable. En la Fig. 7.14 se muestra el diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico réplica Mentor. En la Fig. 7.15 se muestra la parte A del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor. En la Fig. 7.16 se muestra la parte B del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor.



Figura 7.8: Porta-fusible para la armadura, para el circuito de campo y dos porta-fusibles para alimentar el panel de operador y dos relés auxiliares

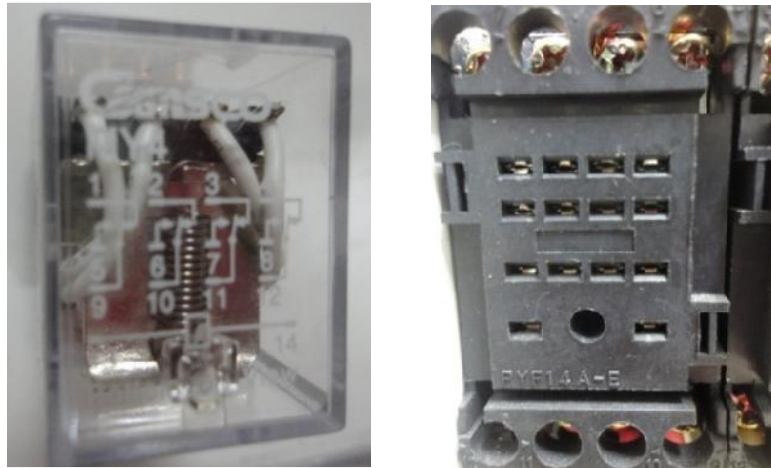


Figura 7.9: Diagrama de terminales y socket de los relés auxiliares.



Figura 7.10: Botoneras Panel ON, panel OFF y JOG.



Figura 7.11: Selectores OFF/ON, field enable, run forward, drive enable, AN1 AN2 y manual/auto; potenciómetro de precisión de 10K Ω set point speed.



Figura 7.12: Terminales para conexión de armadura, campo y tacogenerador DC.



Figura 7.13: Interfaz de programación del drive Mentor.

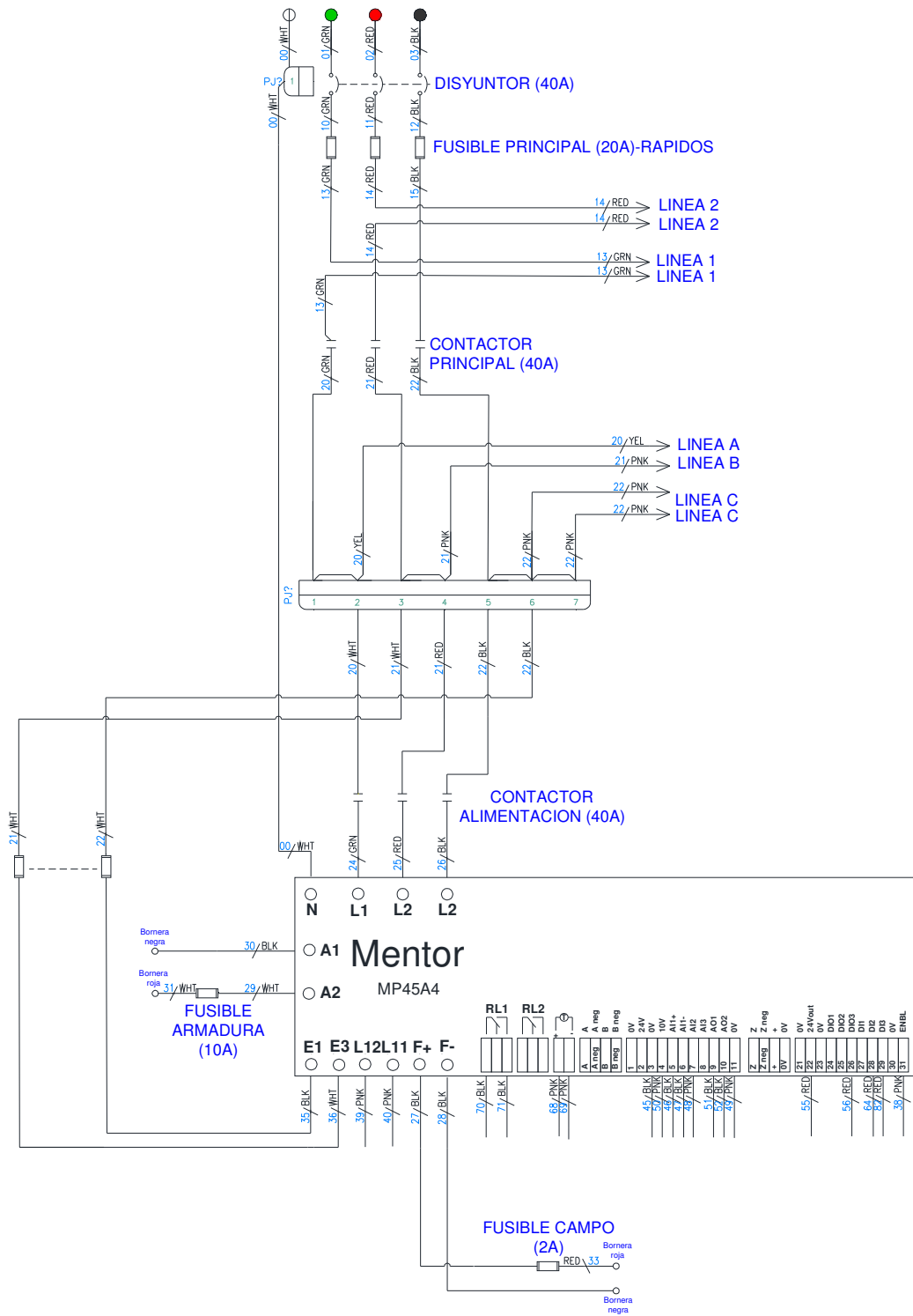


Figura 7.14: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico replica Mentor.

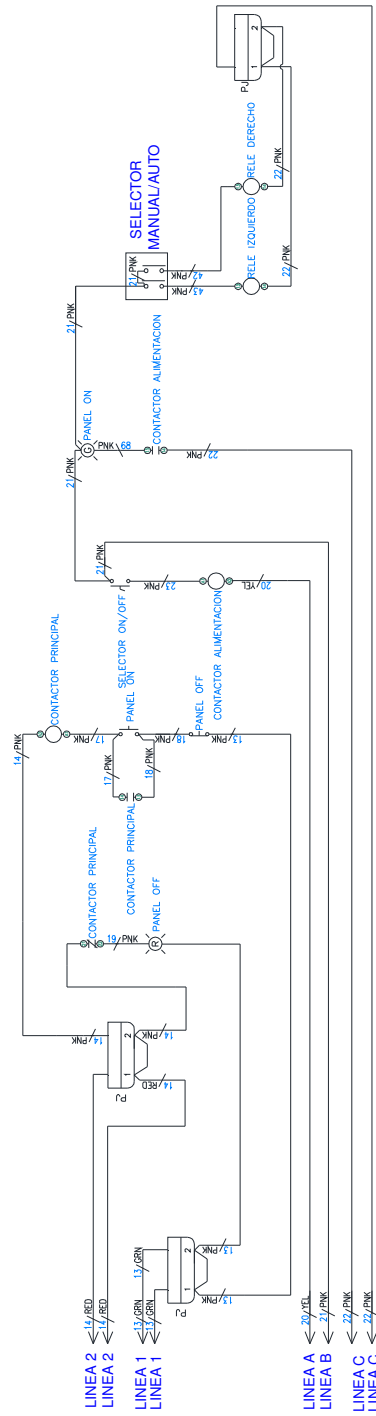


Figura 7.15: Parte A del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor.

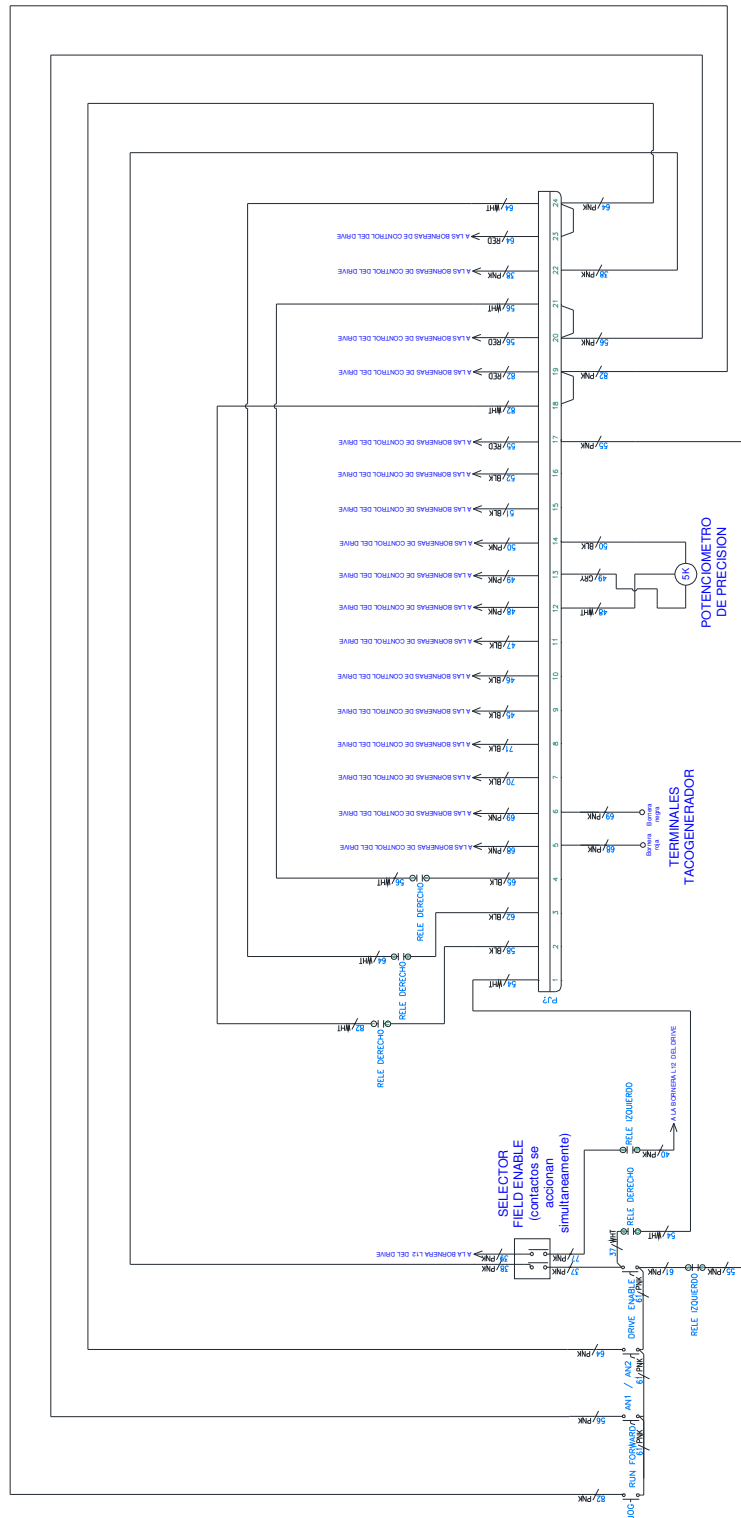


Figura 7.16: Parte B del diagrama eléctrico de control del panel eléctrico réplica Mentor.

Del diagrama de fuerza mostrado en la Fig. 7.14, se observa que luego de accionar el disyuntor, se energiza la luz piloto PANEL OFF. En el diagrama eléctrico de control A mostrado en la Fig. 7.15, se observa que, al presionar la botonera PANEL ON se acciona el contactor principal que permite que lleguen 208V a las terminales E1 y E3 del drive, lo cual permite que se encienda la interfaz de programación del drive con el fin de programar el drive; simultáneamente se apaga la luz piloto PANEL OFF. En el diagrama de control A, se observa que al accionar el selector OFF/ON, se energiza el contactor alimentación que permite las terminales de alimentación del drive Mentor se conecte a la red trifásica de voltaje; al mismo tiempo, se energiza la luz piloto PANEL ON. No existe control eléctrico sobre la salida del voltaje de armadura ni del voltaje de campo; sólo existe protección con fusibles.

El selector MANUAL/AUTO tiene tres posiciones: posición izquierda correspondiente a funcionamiento manual, posición neutral y posición derecha correspondiente a funcionamiento automático. Al observar el diagrama eléctrico B, que se muestra en la Fig. 7.16, el cable con marquilla 55, que está conectado al grupo de borneras, tiene un voltaje de 24Vdc proporcionado por el drive Mentor. Luego, al elegir la posición izquierda del selector MANUAL/AUTO, correspondiente a funcionamiento manual, se energiza la bobina del relé izquierdo lo que ocasiona que uno de sus contactos auxiliares se accione, permitiendo que 24Vdc lleguen a una de las terminales de los selectores DRIVE ENABLE, AN1/AN2, RUN FORWARD y a la botonera JOG. El selector FIELD ENABLE maneja dos contactos normalmente abiertos que funcionan simultáneamente, es decir que al

accionar este selector, sus dos contactos se accionan simultáneamente. Al poner el selector FIELD ENABLE en la posición derecha, uno de sus dos contactos permite que las terminales L12 y L11 del drive estén en cortocircuito permitiendo que el campo para el motor esté disponible en las terminales F+ y F- del drive. El segundo contacto del selector FIELD ENABLE permite que, al cambiar la posición del selector DRIVE ENABLE, lleguen 24Vdc a la terminal 31 del drive denominada también Drive Enable, permitiendo que el drive muestre el mensaje “rdy”, indicando que el drive está listo para recibir la señal RUN FORWARD. La selectora AN1/AN2, permite habilitar la entrada analógica de referencia de velocidad 1 ó 2. La entrada analógica 2, corresponde al potenciómetro de precisión, que se encuentra polarizado con +10V, voltaje que se encuentra disponible en las terminales 4 y 11 del drive, donde la terminal 4 corresponde a +10V y la terminal 11 corresponde a 0V. La entrada analógica 2 se encuentra disponible en la terminal 7. Esta entrada analógica se emplea durante la realización de este capítulo por ello, mantener el selector AN1/AN2, en la posición derecha.

Al cambiar la posición de la botonera RUN FORWARD a la posición derecha, se envía una señal de marcha ya que 24Vdc llegan a la terminal 26 del drive.

Al presionar la botonera JOG, llegan 24 Vdc a la terminal 29 del drive con lo que el motor puede avanzar de forma gradual mientras se presione la botonera.

Al cambiar la posición del selector MANUAL/AUTO a la posición derecha, la bobina del relé derecho se energiza permitiendo que señales digitales externas reemplacen el funcionamiento de los selectores JOG, RUN FORWARD, AN1/AN2 y DRIVE ENABLE. El valor de voltaje de un uno lógico debe ser de 24Vdc.

En la Fig. 7.17 se muestran las especificaciones técnicas del drive Mentor MP45A4.

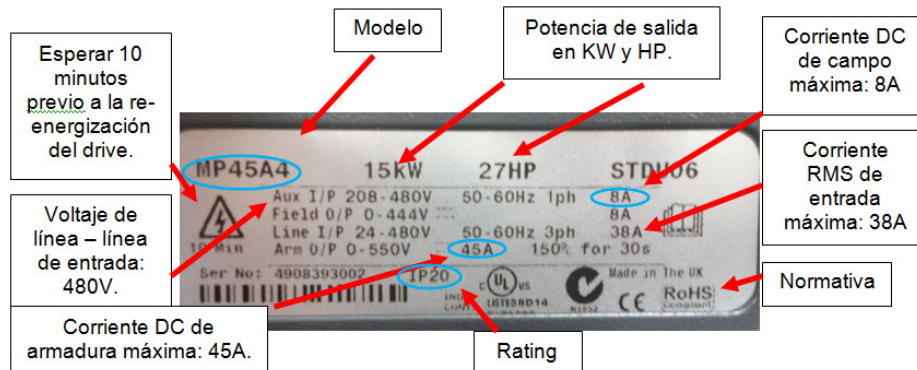


Figura 7.17: Especificaciones técnicas del drive Mentor MP45A4.

El rating IP indica la protección que la carcasa del drive provee con respecto al entorno donde se instala el drive. El primer número es el 2, el cual indica que el drive está protegido contra objetos sólidos de tamaño mayor a 12mm como por ejemplo los dedos de las personas. El segundo número es el 0, el cual indica que el drive no tiene protección contra líquidos.

En la Fig. 7.18 se muestra la ubicación de los dos protistores del drive para protección del campo del motor.

En la Fig. 7.19 se muestran los dos protistores para protección del campo. La corriente DC máxima es de 12.5A. El código de los fusibles es FR10GB69V12.5 de la marca Ferraz Shawmut.

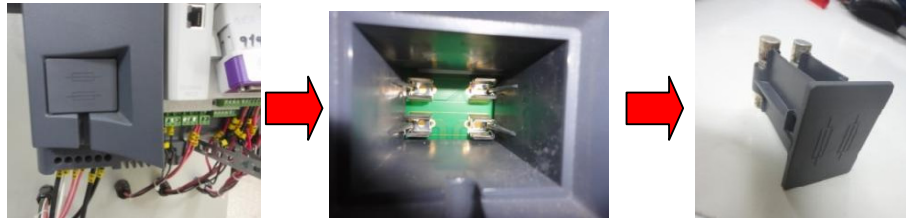


Figura 7.18: Ubicación del par de protistores para el campo.



Figura 7.19: Par de protistores para el campo.

7.2. Accionamiento del panel para el encendido de la interfaz de programación del convertidor de potencia.

Confirmar que el estado de los selectores sea el siguiente:

- OFF/ON: posición izquierda.
- FIELD ENABLE: posición izquierda.
- RUN FORWARD: posición izquierda.
- DRIVE ENABLE: posición izquierda.

- MANUAL/AUTO: posición izquierda.
- AN1/AN2: posición derecha, correspondiente a AN2.

Ver Fig. 7.20. Acoplar el freno MV1045 a la máquina DC MV1006. Realizar las conexiones siguientes entre el panel eléctrico Mentor y el taco-generador DC MV1006 junto con la máquina DC MV1006. La polaridad correcta del taco-generador se determinará posteriormente.

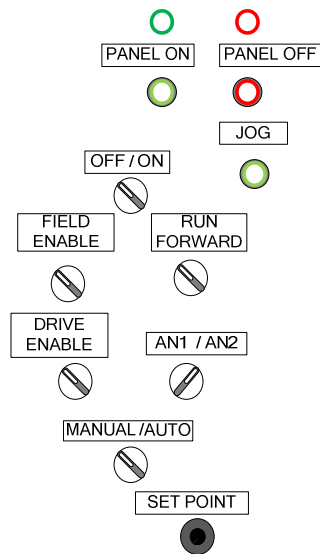


Figura 7.20: Ajuste de los selectores del panel eléctrico Mentor previo a la energización de la interfaz de usuario.

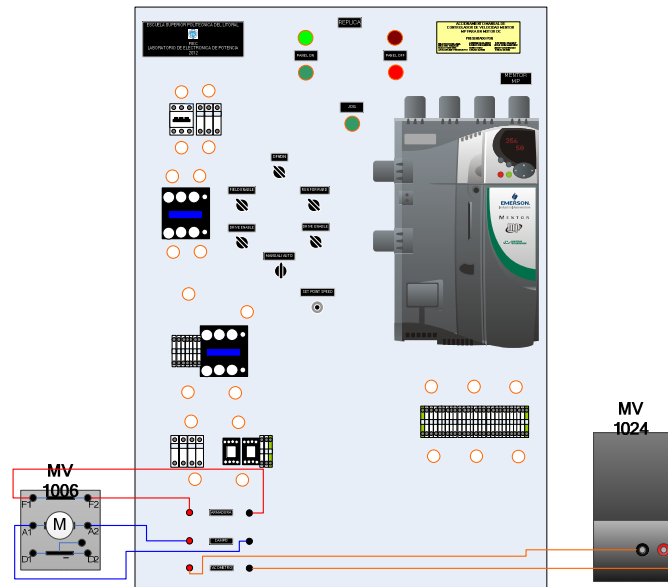


Figura 7.21: Conexiones entre el panel eléctrico Mentor, el generador DC MV1024 y la máquina DC MV1006.

Seguir estos pasos:

- Conectar el panel eléctrico a la alimentación trifásica.
- Accionar el disyuntor; se enciende la luz piloto PANEL OFF.
- Presionar la botonera PANEL ON; se apaga la luz piloto PANEL OFF y se enciende la interfaz de programación del drive Mentor, y se muestra un mensaje tal como se observa en la Fig. 7.22.



Figura 7.22: Mensaje que se muestra en la interfaz del drive al encenderse.

7.3. Reset del drive para obtener parámetros de fábrica y guardado de parámetros en EEPROM del drive. Conexión al software CT-SOFT para realización de los experimentos.

Verificar que el parámetro 11.44 Security Status, 0.35 ó SE14, sea L2. Este parámetro configura el nivel de acceso. Si este parámetro está ajustado en L2, el usuario tiene acceso a todos los menús avanzados: 0 al 23.

En la interfaz del drive, presionar la tecla direccional derecha hasta que se muestre el parámetro 6.00; de esta forma, es posible desplazarse entre menús. Luego, presionar la tecla indicativa arriba hasta que aparezca el parámetro 6.15 correspondiente a Drive Enable; con este procedimiento es posible acceder a los diferentes parámetros de un menú. Presionar la tecla M de la interfaz del drive, luego el valor del parámetro, que corresponde a ON, empieza a parpadear; emplear la tecla indicativa abajo para ajustar su valor en OFF. A continuación, presionar la tecla M, para fijar el valor del parámetro 6.15 en OFF.

Acceder al parámetro 0.00 y ajustar su valor en USA Def; es posible ajustar su valor en EuroDef para ajustar los valores de fábrica de acuerdo a normas europeas , pero al elegir USA Def, es posible elegir los valores de fábrica de acuerdo a normas americanas. Emplear las teclas indicativas para desplazarse entre menús y la tecla M para ajustar el valor de un parámetro o para acceder al valor de un parámetro.

Finalmente presionar el botón rojo correspondiente a Reset. En ese momento, el valor del parámetro 0.00 cambia a No Act. En la Fig. 7.23 se muestran los pasos para ajustar los valores de fábrica en el drive Mentor.

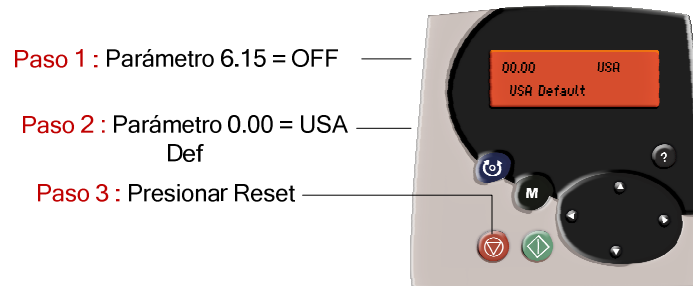


Figura 7.23: Reinicio del drive con los valores de fábrica.

Luego de realizar cambios en algún parámetro del drive, se requiere guardar estos cambios en la memoria del drive. Seguir los siguientes pasos:

- Acceder al parámetro 0.00 y elegir el valor SAVE.
- Presionar la tecla M para fijar el valor SAVE, en el parámetro 0.00.
- Presionar el botón rojo correspondiente a RESET.

Para conectarse al drive se requiere la instalación del software CT-SOFT disponible en la página web del fabricante del drive, llamado Control Techniques. Adicionalmente, se requiere instalar el driver del convertidor USB-485. El convertidor USB-485 se muestra en la Fig. 7.24. En la Fig. 7.25 se muestra el mini disco compacto que contiene el driver del convertidor. En la Fig. 7.26 se muestra la ubicación del puerto RS-485 en el drive.

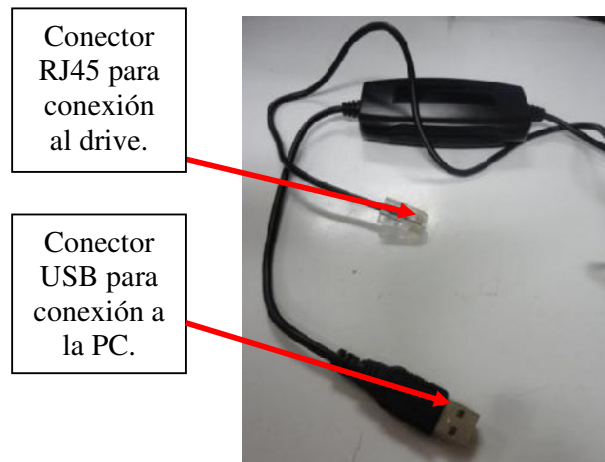


Figura 7.24: Convertidor PC a drive USB-485.

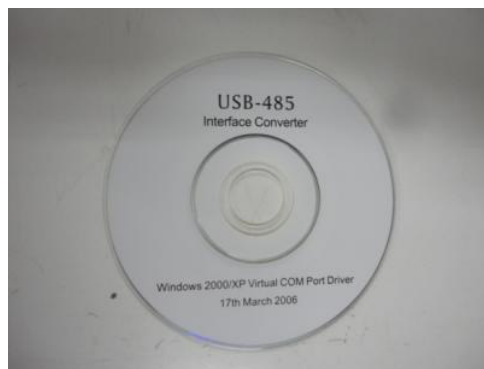


Figura 7.25: Mini disco compacto que contiene el driver del convertidor.

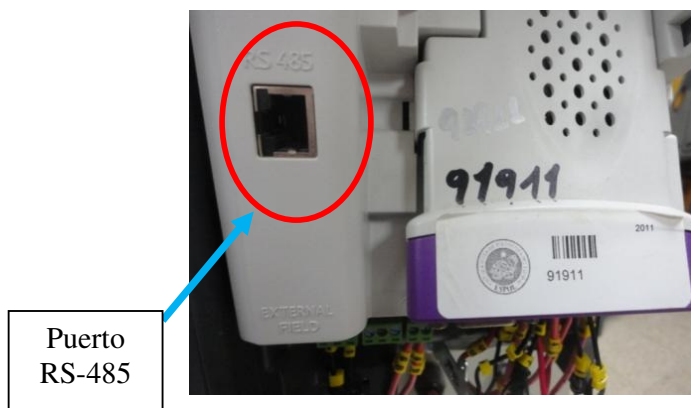


Figura 7.26: Puerto RS-485 en el drive Mentor MP45A4.

Conectar el convertidor USB-485 a un puerto USB de la PC. Abrir el software CT-Soft. Aparece un mensaje solicitando el registro del software. Elegir la opción "Register Later". En la Fig. 7.27 se muestra la configuración de la ventana STARTUP. Elegir la opción "Work with a drive" y luego la opción "Mentor MP". Aparece el mensaje de la Fig. 7.28. Clic sobre el botón Aceptar. Aparece el mensaje mostrado en la Fig. 7.29. Clic en aceptar. Aparece la ventana mostrada en la Fig. 7.30. Luego, acceder al menú Drive y luego elegir la opción "Properties", como se observa en la Fig. 7.31. Aparece la ventana "Drive Properties" que se muestra en la Fig. 7.32. Elegir la opción Settings; configurar únicamente las opciones Hardware y Baud Rate. Los ajustes se muestran en la Fig. 7.33.

Dentro del administrador de dispositivos, acceder al puerto de comunicaciones COM1 y cambiar únicamente la velocidad de transmisión. El ajuste del puerto COM1 se muestra en la Fig. 7.34. Es posible que sea necesario cambiar el número del puerto COM, para ello acceder al botón "Advanced", el cual se muestra en la ventana de la Fig. 7.34.

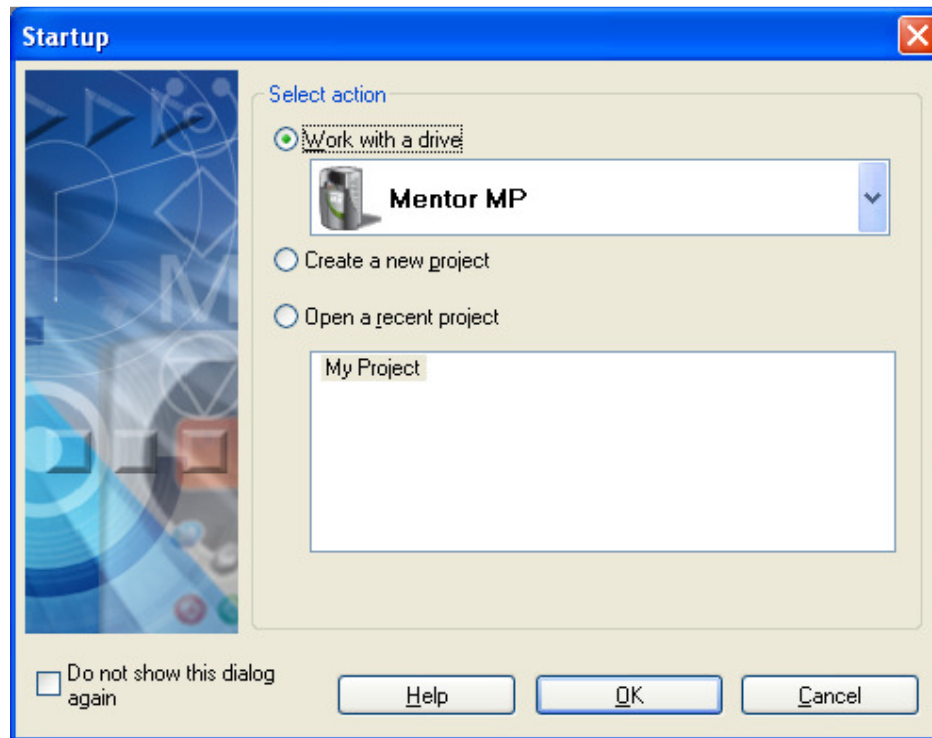


Figura 7.27: Configuración de la ventana Startup.

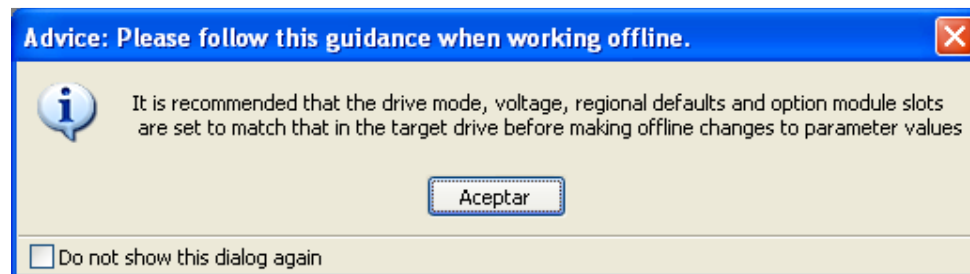


Figura 7.28: Mensaje de recomendación.

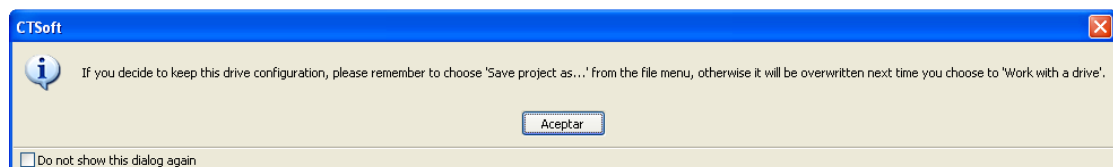


Figura 7.29: Mensaje informativo sobre el guardado del proyecto.

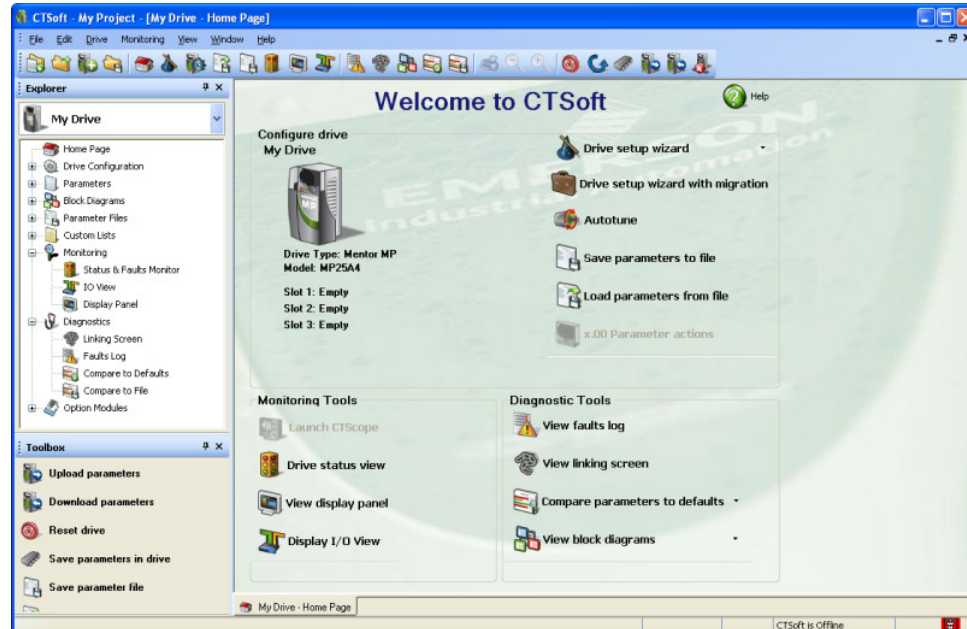


Figura 7.30: Ventana principal del software CT-Soft.



Figura 7.31: Acceso a las propiedades de la comunicación.

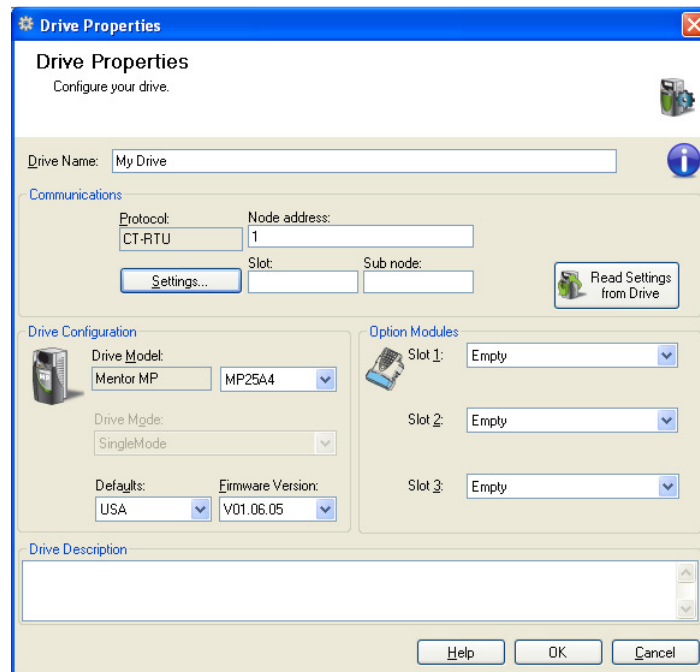


Figura 7.32: Ventana Drive Properties.

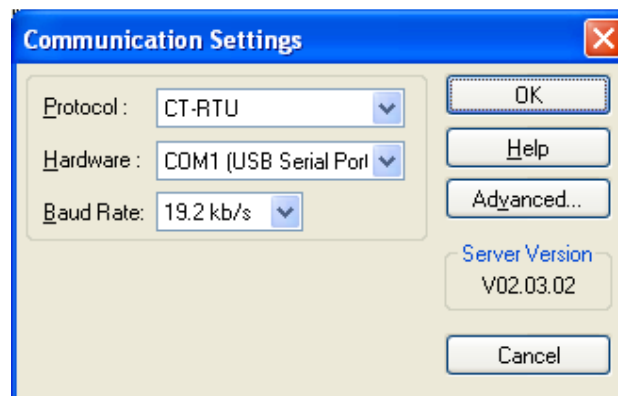


Figura 7.33: Ventana Communication Settings.

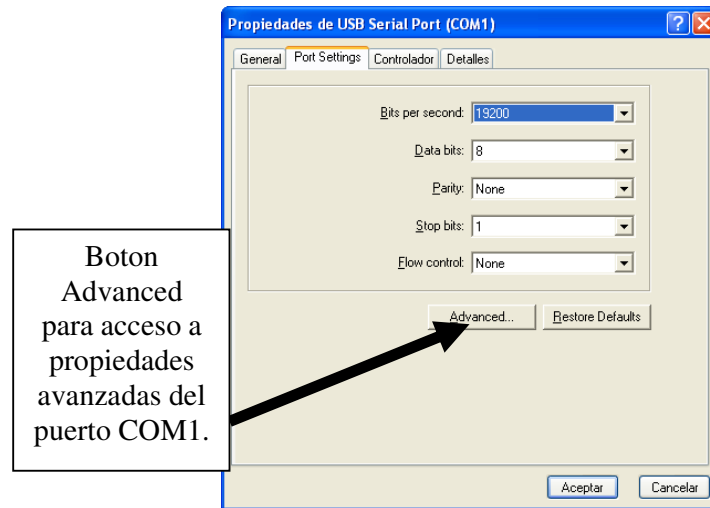


Figura 7.34: Propiedades del puerto USB Serial Port (COM1).

Para conectar el software con el drive, presionar la tecla F9 o acceder al menú Drive y elegir la opción Online. En la Fig. 7.31 se muestra, que al acceder al menú Drive, la opción Online es la primera opción.

Luego, aparece la ventana mostrada en la Fig. 7.35. Esta ventana compara el modelo de drive en el software y el modelo de drive conectado al software. Compara por ejemplo, el tipo de drive, el modo del drive, el modelo del drive, la versión de firmware del drive, la región, y los módulos opcionales conectados al drive.

Al aparecer la ventana mostrada en la Fig. 7.35, elegir la opción "Change the program to match the drive configuration". Aparece la ventana de advertencia mostrada en la Fig. 7.36. Elegir "Aceptar". Aparece una segunda ventana de tipo informativa, la cual indica que se creará un archivo de respaldo previo a la conexión entre el drive y el PC. Esta ventana se muestra en la Fig. 7.37. En la Fig. 7.38 se muestra la ventana principal del

software CT-Soft, indicando en la parte inferior derecha de la misma, que el drive se encuentra conectado al software.

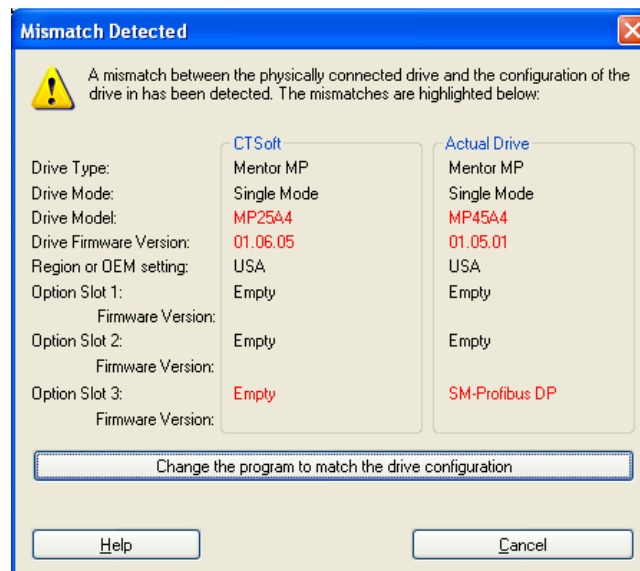


Figura 7.35: Ventana que compara el modelo de drive en el software y el modelo de drive conectado al software.

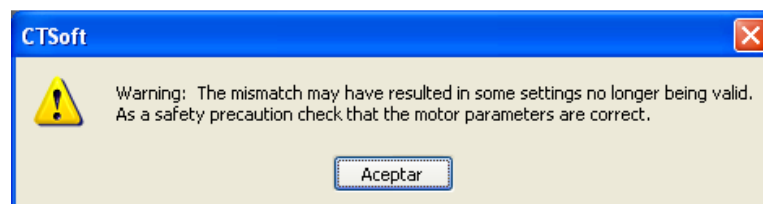


Figura 7.36: Ventana de advertencia.

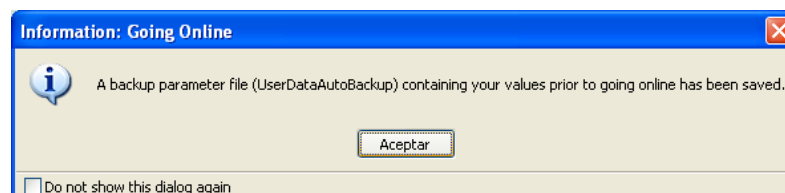
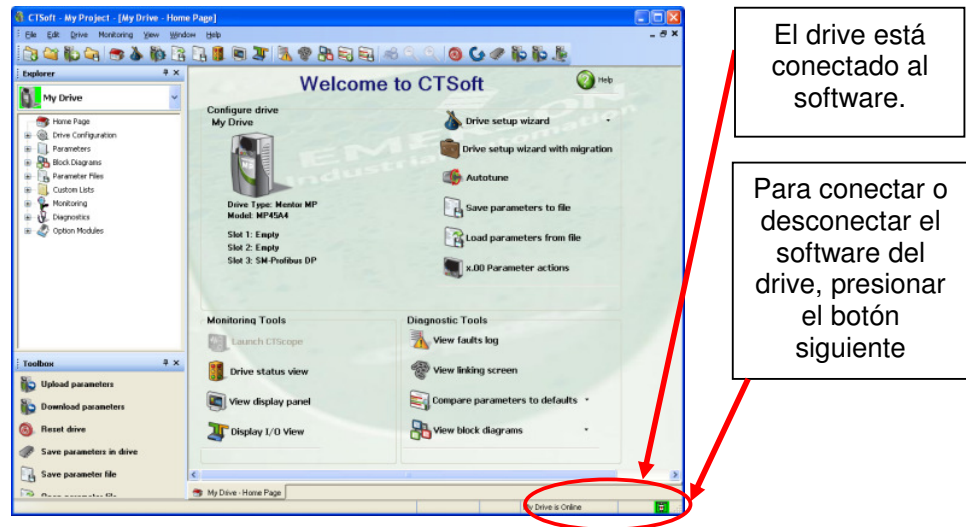


Figura 7.37: Ventana informativa indicando la creación de un archivo de respaldo.



El drive está conectado al software.

Para conectar o desconectar el software del drive, presionar el botón siguiente

Figura 7.38: Ventana principal del software CT-Soft indicando que el software se encuentra conectado al drive.

7.4. Procedimiento de puesta en marcha del panel junto con el motor y sintonización automática de los controladores PI de corriente y velocidad. Procedimiento de apagado del panel eléctrico.

En la ventana principal del drive, acceder a la opción “Drive setup wizard”. Esta opción se ubica dentro de la sección de bienvenida al software, en la sección superior derecha. Aparece la ventana mostrada en la Fig. 7.39. Con esto se busca que el asistente del software guíe al usuario durante la parametrización del drive. Configurar la pantalla de bienvenida tal como se muestra en la Fig. 7.39. Clic en el botón Next. En la sección derecha, aparece el listado de ventanas por configurar.

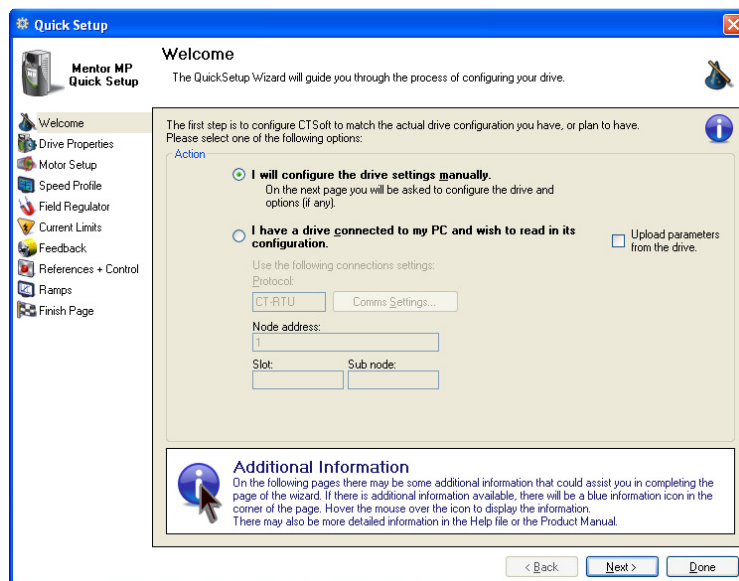


Figura 7.39: Ventana de bienvenida al Drive Setup Wizard.

En la ventana “Drive Properties”, configurar el nombre del drive con el siguiente nombre: Panel electrico Mentor replica. En la Fig. 7.40 se muestra la configuración de la ventana mencionada previamente. A continuación, dar clic en el botón Read Settings from Drive. Aparece el mensaje de confirmación mostrado en la Fig. 7.41. Luego de aceptar el mensaje, clic en el botón Next.

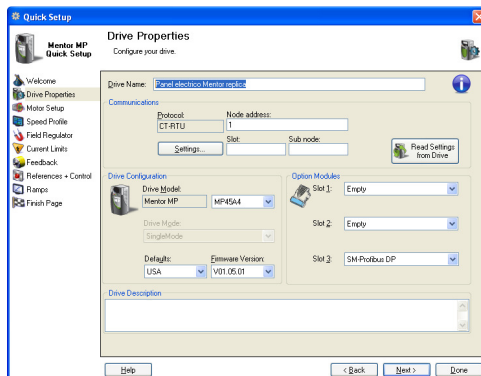


Figura 7.40: Ventana Drive Properties del Drive Setup Wizard.

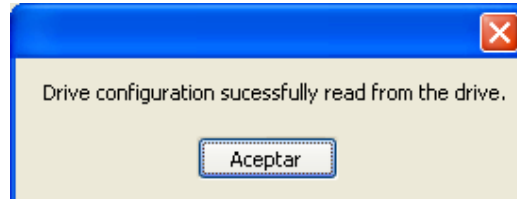


Figura 7.41: Ventana confirmación sobre la lectura de la configuración del drive.

A continuación, aparece la ventana “Motor Setup”, en la cual se introducen en el software los parámetros del motor, para luego ser transferidos al drive. Los datos de placa de la máquina MV1006 se muestran en la ventana de la Fig. 7.42. Es posible guardar los datos introducidos y asignarle un nombre al conjunto de estos 5 datos, de tal forma que es posible almacenar los datos de placa de varios motores. Clic en el botón Next.

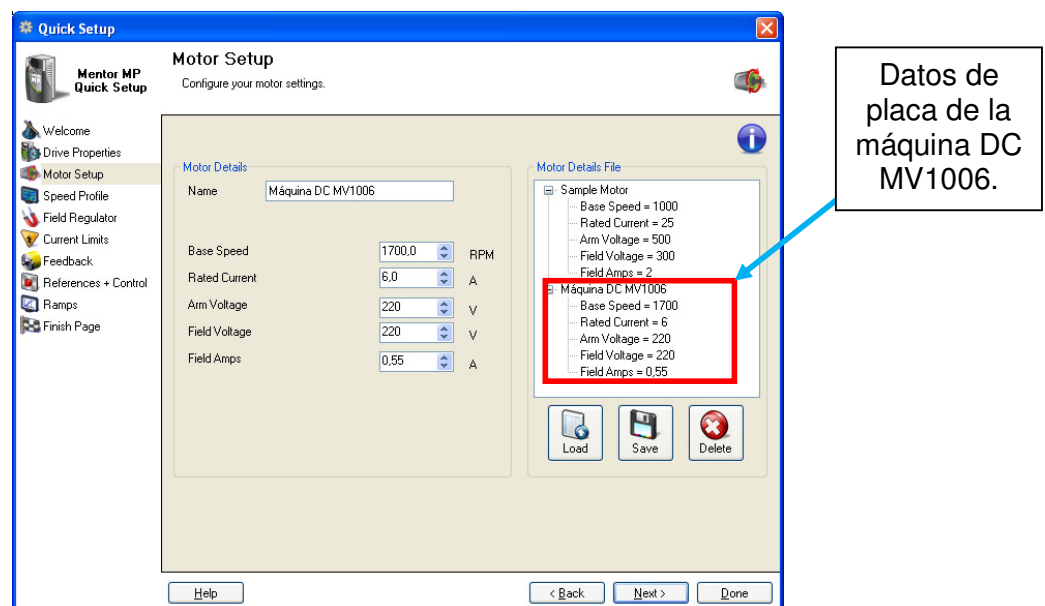


Figura 7.42: Ventana Motor Setup del Drive Setup Wizard.

Luego, se configura el perfil de velocidad del drive. Dado que el modelo del drive es MP45A4, no es posible configurar velocidad negativa dado que el

drive opera sólo en dos cuadrantes. Es necesario configurar, la máxima y la mínima velocidad, en este caso son 1700rpm y 0rpm respectivamente. Esto se muestra en la Fig. 7.43. En la siguiente ventana Field Regulator, en la sección Field Voltage Mode elegir ON y en la sección Field Suply, elegir Internal Supply. Ver Fig. 7.44. En la ventana siguiente Current Limits, se muestra la configuración de los límites de corriente. Es posible limitar la corriente máxima que puede entregar el drive en base a un porcentaje de la corriente nominal del motor; mantener el ajuste en su valor máximo correspondiente al 150%. Ver Fig. 7.45. Luego, dar clic en el botón Next.

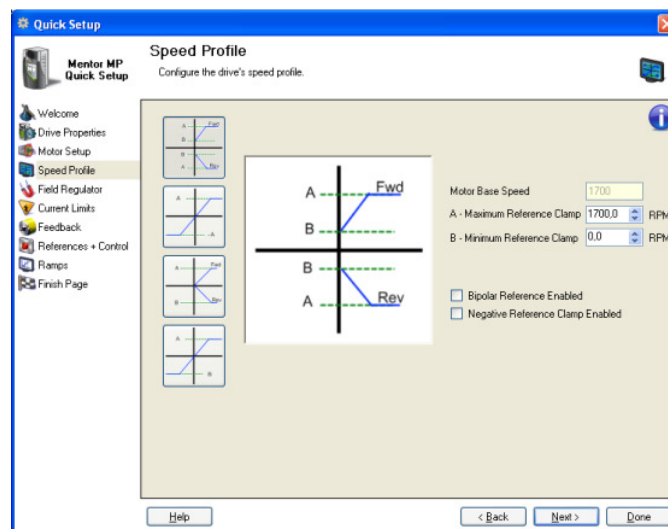


Figura 7.43: Ventana Speed profile del Drive Setup Wizard.

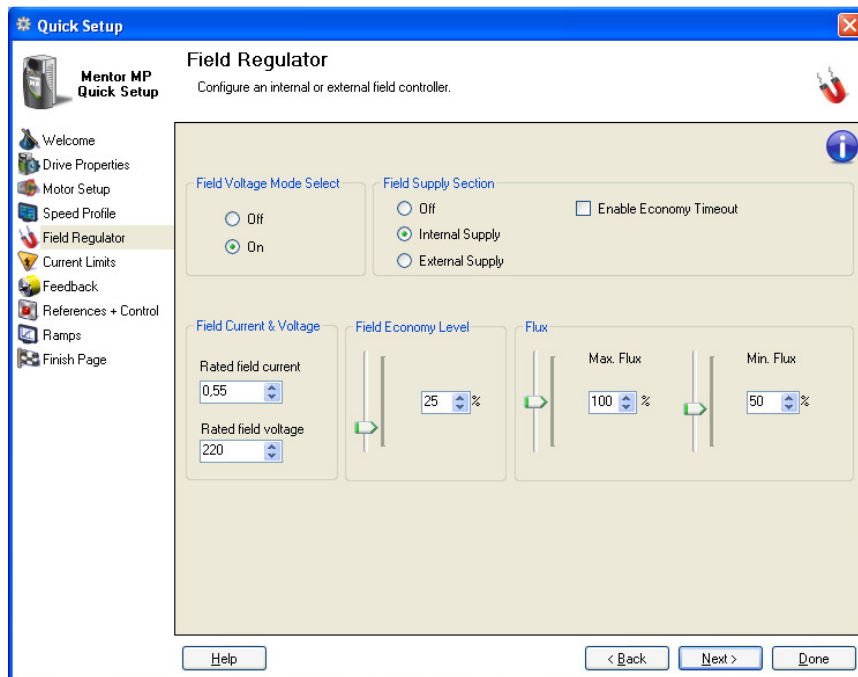


Figura 7.44: Ventana Speed profile del Drive Setup Wizard.

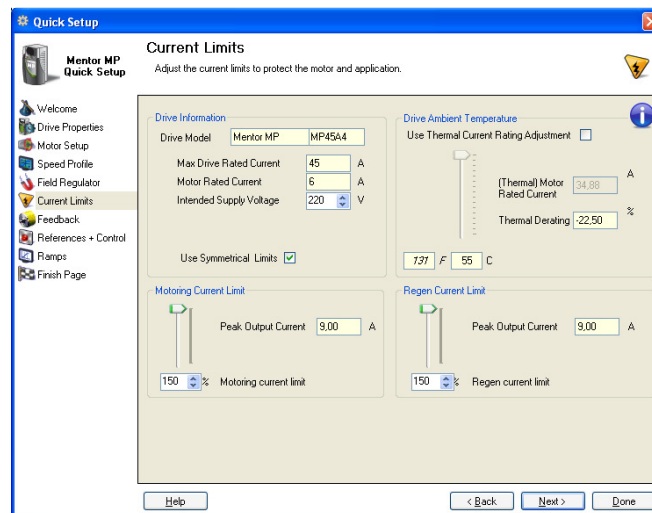


Figura 7.45: Ventana Current Limits del Drive Setup Wizard.

En la Fig. 7.46 se muestra la configuración de la ventana Feedback, en la cual se elige el tipo de realimentación. El tipo de realimentación es por taco-

generador; debido a que se ha elegido este tipo de realimentación, es necesario indicar la relación voltaje versus rpm. En el capítulo 1, en la sección 1.2.9, se determina la relación voltaje generado versus revoluciones por minuto; para los taco-generadores DC de código de inventario 20829-3, la relación es de 18.81V/1000rpm o 18.99V/1000rpm de acuerdo al sentido de giro de la rueda del taco-generador. El promedio entre estos dos valores es de 18.9V/1000rpm y es el valor que se ingresa en la ventana Feedback, en la sección Tachometer Voltage. En la sección Tachometer Input Mode, elegir la opción DC.

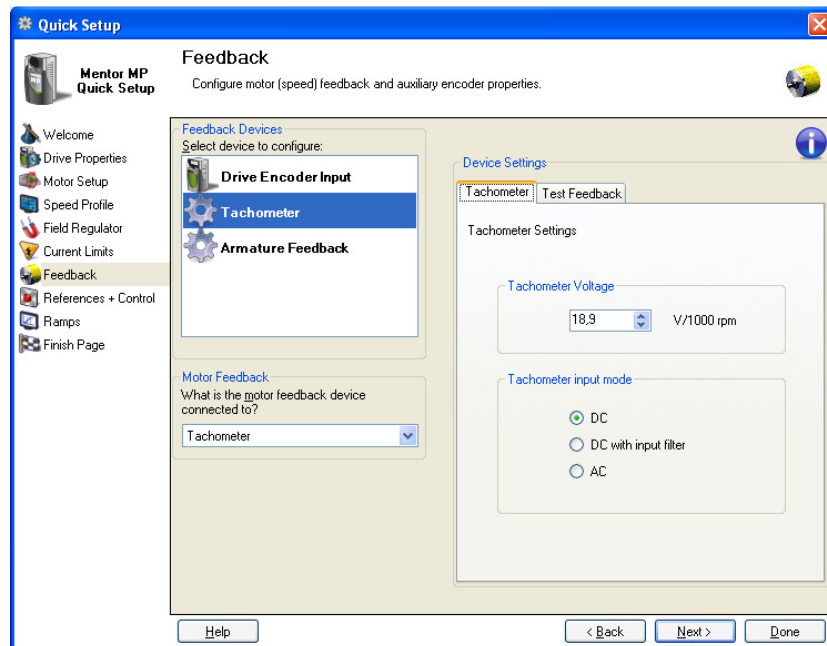


Figura 7.46: Ventana Feedback del Drive Setup Wizard.

Para probar que la conexión del taco-generador es la correcta se emplea la prueba de realimentación. Dentro de la ventana Feedback, acceder a la pestaña Test Feedback; presionar el botón Connect y configurarla tal como

que se muestra en la Fig. 7.47. En caso de que no aparezca el botón START, el cual permite realizar la prueba de realimentación, verificar el siguiente ajuste de los selectores:

- OFF/ON, Field enable y AN1/ AN2: Posición derecha.
- Drive enable, Run Forward y Manual/Auto: Posición izquierda.

Presionar luego el botón START. Ocurre una transferencia de parámetros al drive. Aparece, además, una ventana de información indicando que un par de parámetros no pudieron ser transferidos al drive. Esto se muestra en la Fig. 7.48. A continuación aparece un mensaje indicando que la descarga ha sido completada y que se requiere reiniciar el drive. Elegir la opción No. Ver Fig. 7.49.

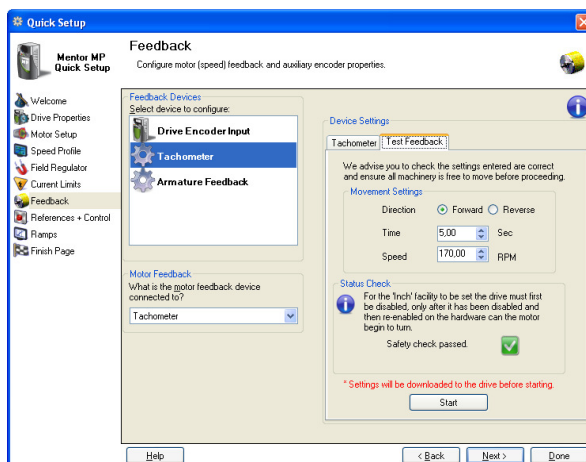


Figura 7.47: Configuración de la pestaña Test Feedback dentro de la Ventana Feedback del Drive Setup Wizard.

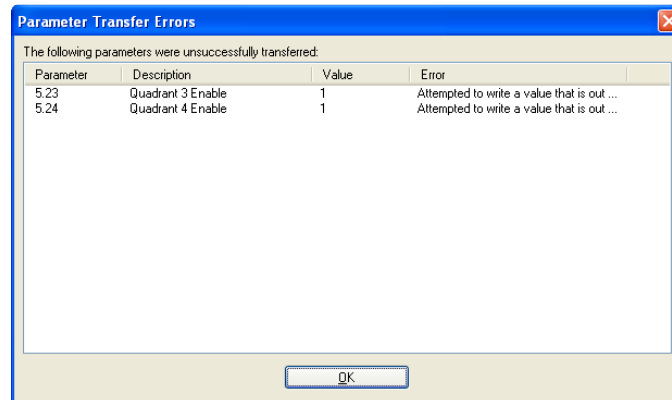


Figura 7.48: Errores al transferir parámetros al drive previo a la prueba de realimentación (Test Feedback).

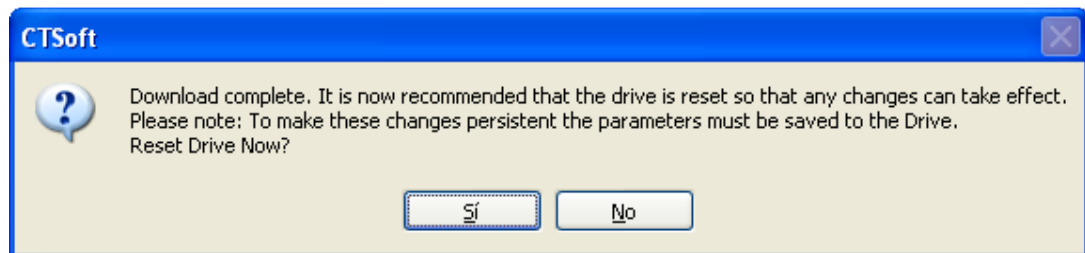


Figura 7.49: Mensaje indicando que la transferencia ha sido completada y que se requiere reiniciar el drive.

A continuación aparece una caja de diálogo, donde se solicita confirmar que el motor es capaz de rotar sin causar daño a la planta o al personal. Además se muestran los parámetros que indican los ajustes de velocidad, el sentido de giro y dirección durante la prueba de realimentación. Este mensaje se muestra en la Fig. 7.50. Aparece una ventana indicando el progreso de la prueba de realimentación; la misma se muestra en la Fig. 7.51.

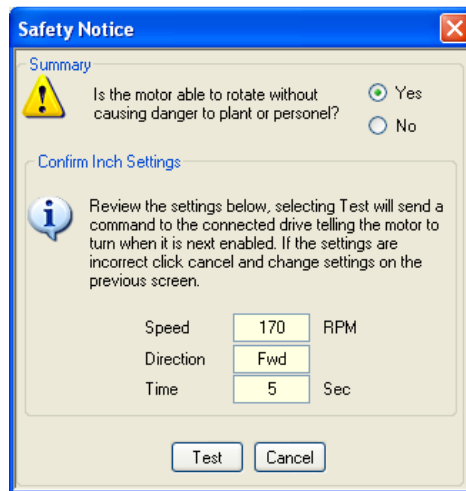


Figura 7.50: Mensaje de confirmación de seguridad y de parámetros durante la prueba de realimentación.



Figura 7.51: Mensaje que indica el progreso de la prueba de realimentación.

Cambiar la posición del selector Drive Enable a la posición derecha. La señal Drive Enable corresponde a hardware enable. En la Fig 6.52 se muestra la variación del voltaje DC generado y de la corriente de armadura del motor MV1006; el pico de corriente es de 1.5A. Se comprueba que la duración de la prueba de realimentación dura 5 segundos. El motor frena en

rueda libre luego de que la corriente se reduce a cero, al final de los 5 segundos en los que dura la prueba.

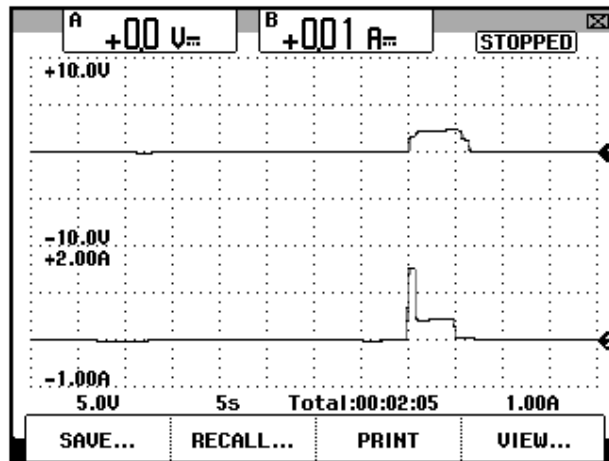


Figura 7.52: Variación de la velocidad y de la corriente de armadura del motor operando en vacío durante la prueba de realimentación (Ch1: Vdc-velocidad, Ch2: Idc-armadura).

Intercambiar las conexiones del taco-generador DC MV1006. Realizar cuidadosamente este cambio. En la ventana Feedback, presionar el botón de ayuda de la sección Status Check, aparece la ventana Safety Check Details, la cual se muestra en la Fig. 7.53. En esta ventana es posible observar el estado de los bits que deben estar deshabilitados previo a la prueba de realimentación. En esta ventana, se observa que es necesario poner en la posición izquierda el selector Drive enable; proceder con aquello.

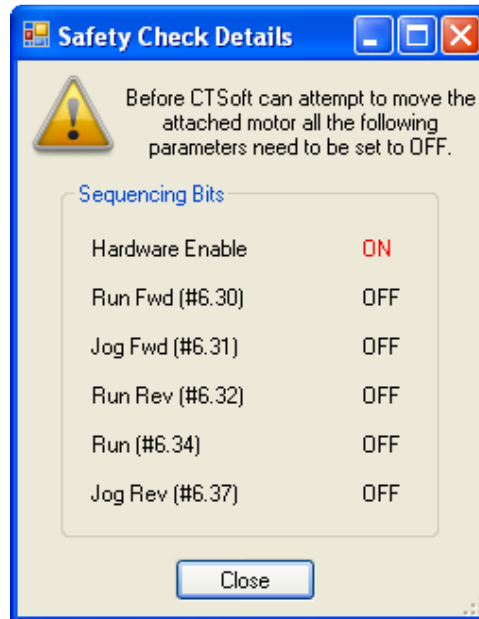


Figura 7.53: Ventana Safety Check Details.

Realizar nuevamente la prueba de realimentación, para ello repetir los pasos indicados desde la Fig. 7.47. Al dar clic en el botón START de la ventana de realimentación, el software continúa directamente con la ventana 6.50 y luego de dar clic en Test, aparece la ventana 6.51.

En la Fig. 7.54 se muestra la variación del voltaje DC generado y de la corriente de armadura del motor MV1006. El pico de corriente es de 1.5A. Durante esta prueba, la punta de prueba de voltaje se mantuvo conectada a las terminales del taco-generador y no a las terminales del taco-generador en el panel eléctrico. Al observar que el voltaje generado es positivo tanto en la Fig. 7.52 como en la Fig. 7.54, se observa que el motor gira en la misma dirección en ambas pruebas.

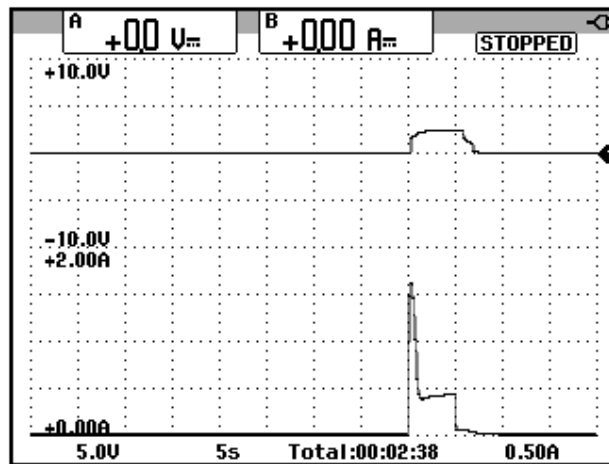


Figura 7.54: Variación de la velocidad y de la corriente de armadura del motor operando en vacío durante la prueba de realimentación al intercambiar las terminales del taco-generador (Ch1: Vdc-velocidad, Ch2: Idc-armadura).

Configurar la ventana siguiente correspondiente a References+Control. Se elige la opción “1 or 2 Analog Speeds”. Esto se observa en la Fig. 7.55. Configurar la ventana “Analog and Control Inputs” tal como se observa en la Fig. 7.56. Observar la configuración de la velocidad del JOG, que es de 100rpm. En la Fig. 7.57 se muestra un resumen de las conexiones de las terminales de entrada. En la Fig. 7.58 se muestra la ventana Ramps. Se mantienen los valores de fábrica. En la Fig. 7.59 se muestra la configuración de la ventana S Ramps. Mantener deshabilitadas las rampas en S. En la última ventana, es posible descargar toda la parametrización al drive. Esto se observa en la Fig. 7.60.

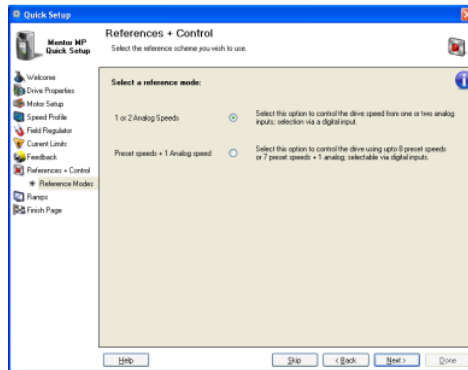


Figura 7.55: Configuración de la ventana References+Control.

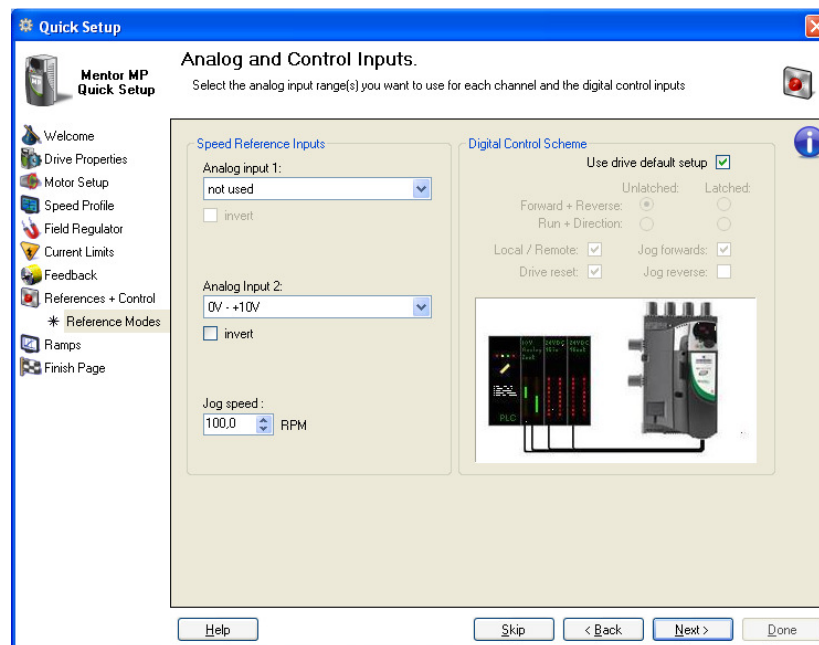


Figura 7.56: Configuración de la ventana Analog and Control Inputs.

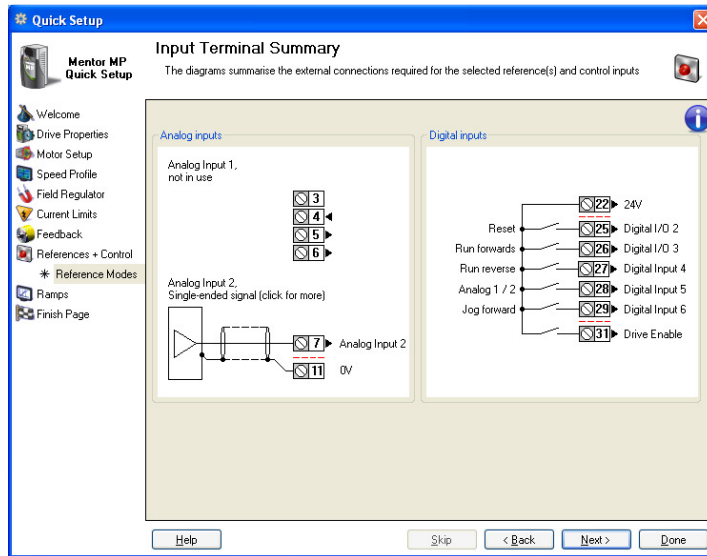


Figura 7.57: Ventana Input terminal Summary.

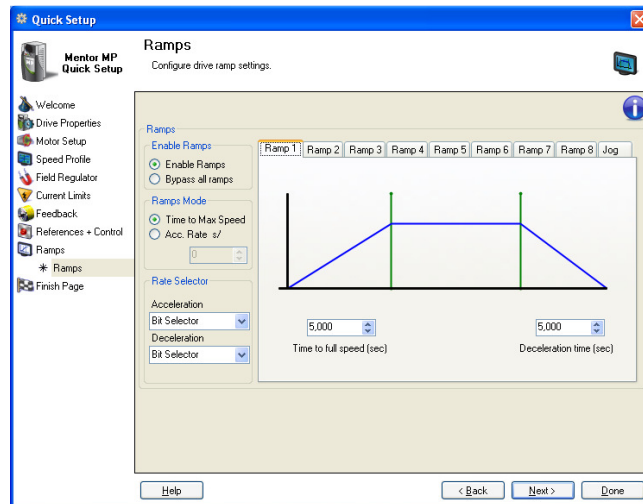


Figura 7.58: Ventana Ramps.

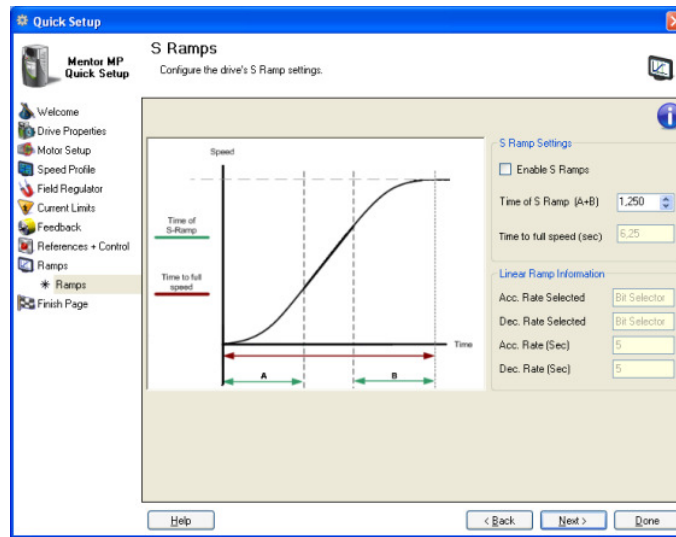


Figura 7.59: Ventana S Ramps.

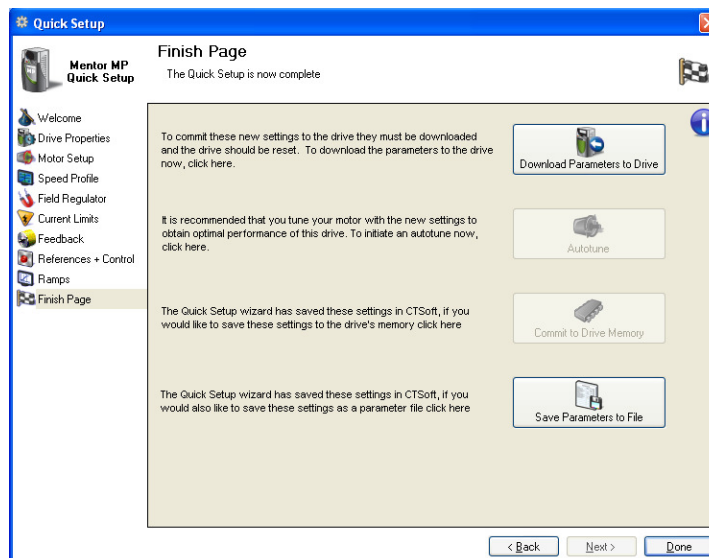


Figura 7.60: Ventana final del Drive Setup Wizard.

Ocurre una transferencia de parámetros al drive y además se repite la ventana de la Fig. 7.48. Luego de aceptar las ventanas emergentes, aparece una opción dentro de la ventana final, que permite guardar los parámetros

en la memoria del drive. Esto se muestra en la Fig. 7.61. Aceptar la ventana siguiente que indica que se requiere reiniciar el drive.

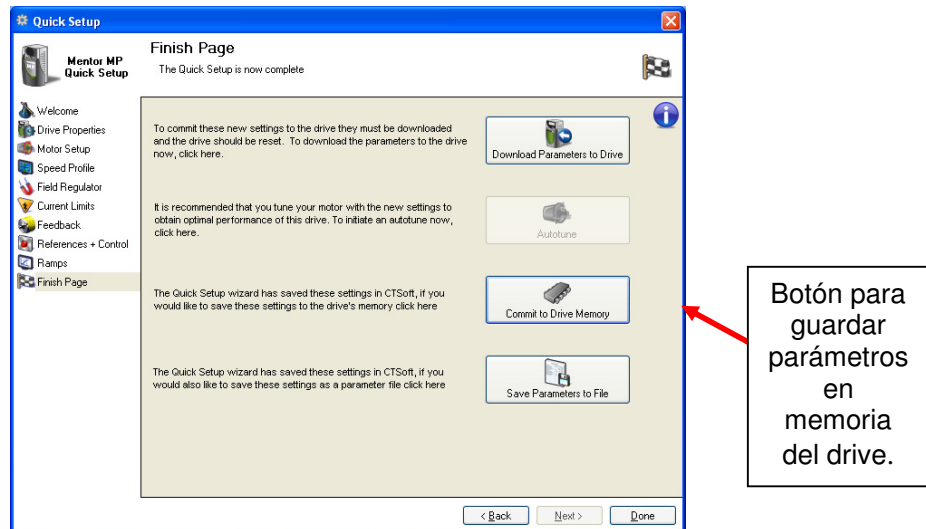


Figura 7.61: Ventana final del Drive Setup Wizard donde aparece la opción de guardar los parámetros en la memoria del drive.

Es posible que sea necesario modificar nuevamente el valor del parámetro 11.44 Security Status, 0.35 ó SE14, en L2.

Verificar el siguiente ajuste de los selectores:

- OFF/ON, Field enable, AN1/ AN2: Posición derecha.
- Drive enable, Run Forward y Manual/Auto: Posición izquierda.

A continuación, se procede a realizar un auto-ajuste estático. Durante este proceso, se modifican los parámetros siguientes:

- Parámetro 5.15 Motor constant
- Parámetro 4.13 Current Controller P gain
- Parámetro 4.14 Current Controller I gain

- Parámetro 4.34 Discontinuous Ki gain
- Parámetro 5. 59 Back EMF set point
- Parámetro 5.61 Armature resistance
- Parámetro 5.72 Flux loop I gain

Luego de acceder al drive, se listan los valores de estos parámetros en la Tabla 7.1.

5.15 Motor constant	1.6%
4.13 Current Controller P gain	2343
4.14 Current Controller I gain	853
4.34 Discontinuous Ki gain	4686
5. 59 Back EMF set point	207
5.61 Armature resistance	2.2817
5.72 Flux loop I gain	30.00

Tabla 7.1: Parámetros que se modificarán durante el auto-ajuste estático.

Para realizar el auto-ajuste, en la ventana principal del software, presionar el botón Autotune, ubicado en la sección derecha de la ventana mencionada. Elegir la opción "Static Autotune". Esto se muestra en la Fig. 7.62. Luego dar clic en Next. En la ventana siguiente, se pregunta si el motor puede rotar de forma segura. Luego, de verificar esto, dar clic en Yes. Ver Fig. 7.63. En la ventana siguiente se verifica que el drive esté conectado al PC. Además, el software recomienda guardar la parametrización del drive, luego de dar clic

en el botón “Save parameters to drive memory” aparece una ventana emergente indicando que el guardado de los parámetros ha sido efectivo. Ver Fig. 7.64. A continuación, aparece la ventana Current Loop and Encoder Phasing. En esta ventana se solicita cambiar la posición del selector Drive enable a la posición derecha. Ver Fig. 7.65.

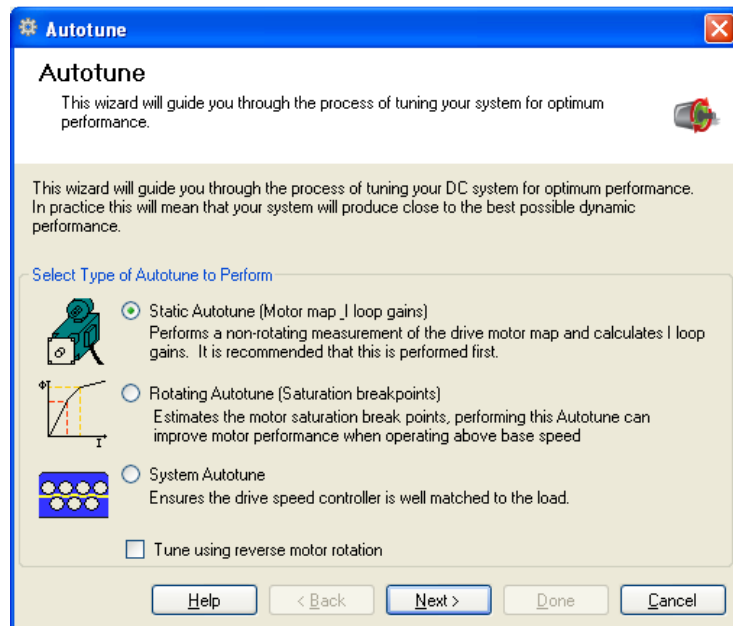


Figura 7.62: Ventana para selección del tipo de Auto-ajuste o Autotune.

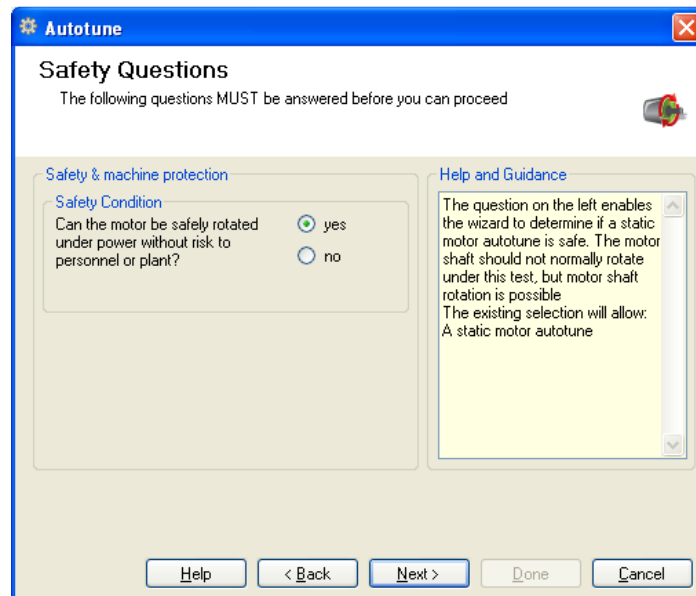


Figura 7.63: Ventana que solicita que se verifique que el motor puede rotar de forma segura.

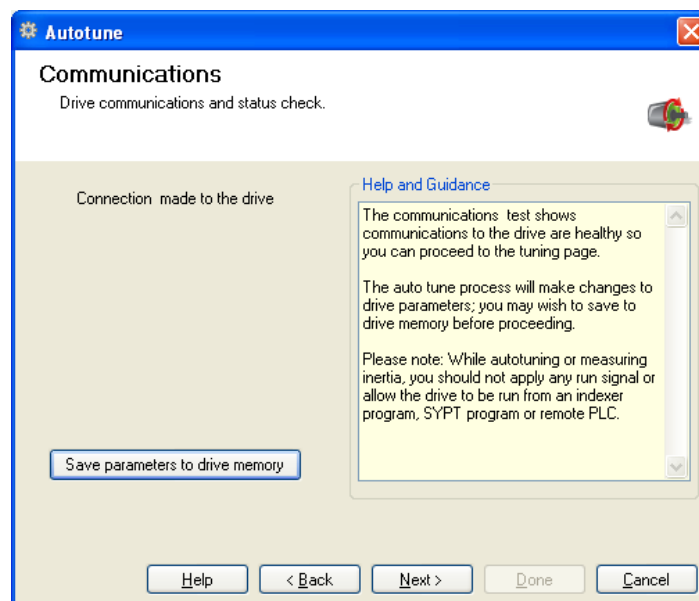


Figura 7.64: Ventana Communications dentro del asistente de auto-ajuste.

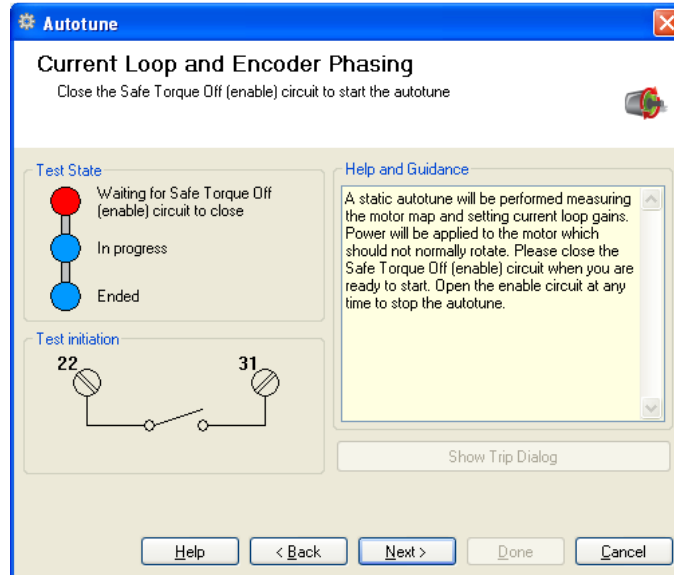


Figura 7.65: Ventana Current Loop and Encoder Phasing dentro del asistente de auto-ajuste.

En la Fig. 7.66 se muestra la variación del voltaje DC de armadura y de la corriente DC de armadura durante el auto-ajuste estático. El voltaje DC máximo de armadura es 10V. En la Fig. 7.67 se muestra la forma del voltaje y de la corriente de armadura durante un instante en el auto-ajuste estático. En la Fig. 7.68 se muestra la variación del voltaje DC de campo y de la corriente DC de campo durante el auto-ajuste estático. Se disminuye el voltaje de campo y luego aumenta progresivamente. Esto prueba que el drive determina parámetros del circuito de campo del motor. En la Fig. 7.69 se muestra la forma del voltaje y de la corriente de campo durante un instante en el auto-ajuste estático. En la tabla 7.2 se listan los cambios en ciertos parámetros del drive luego de realizado el auto-ajuste.

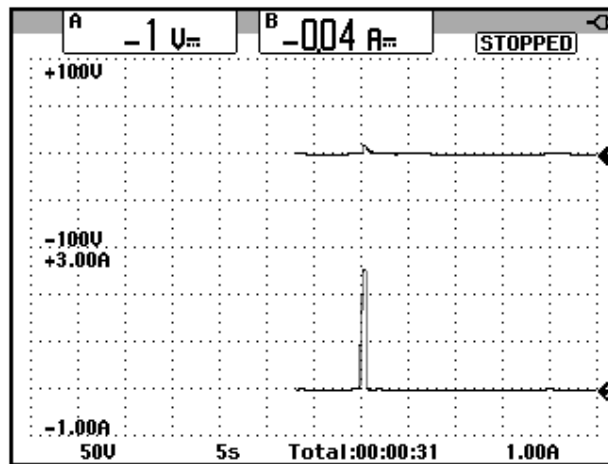


Figura 7.66: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de armadura durante el auto-ajuste estático. (Ch1: V_{dc} -armadura; Ch2: I_{dc} -armadura)

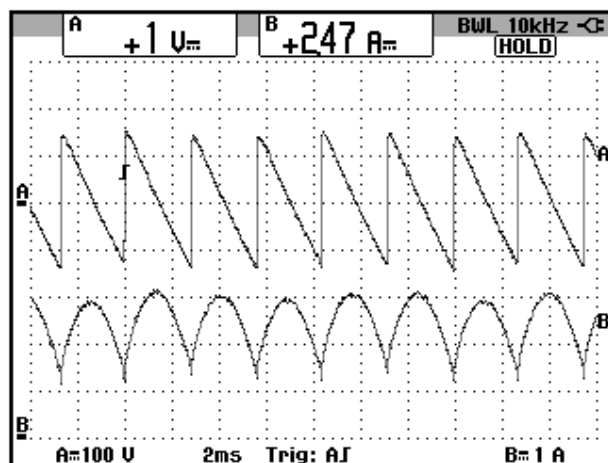


Figura 7.67: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura durante el auto-ajuste estático. (Ch1: V_{dc} -armadura; Ch2: I_{dc} -armadura)

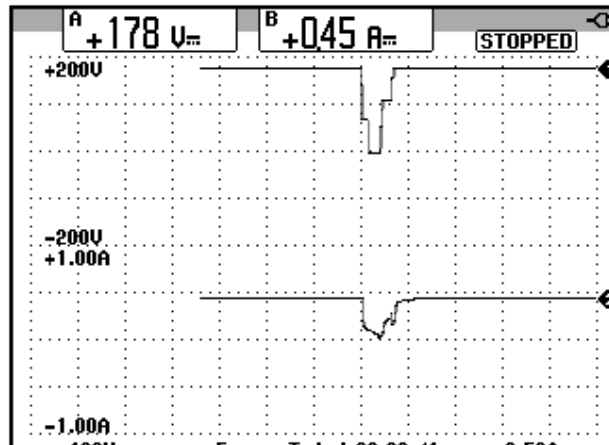


Figura 7.68: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de campo durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-campo; Ch2: Idc-campo)

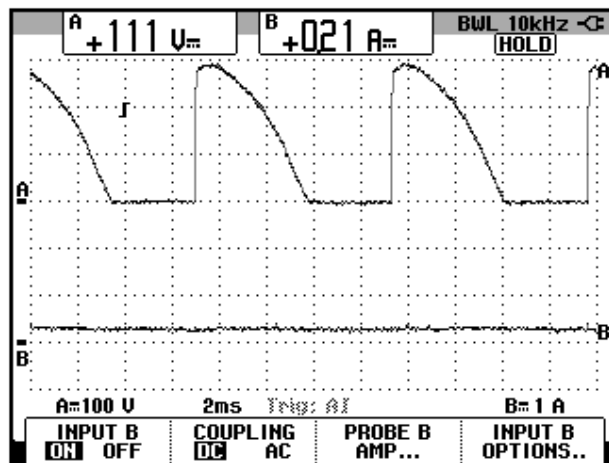


Figura 7.69: Forma de onda del voltaje y de la corriente de campo durante el auto-ajuste estático. (Ch1: Vdc-campo; Ch2: Idc-campo)

5.15 Motor constant	1.7%
4.13 Current Controller P gain	2368
4.14 Current Controller I gain	749
4.34 Discontinuous Ki gain	4686
5. 59 Back EMF set point	208
5.61 Armature resistance	2.0502
5.72 Flux loop I gain	30.00

Tabla 7.2: Parámetros modificados después del auto-ajuste estático.

Luego de realizado el auto-ajuste aparece la ventana mostrada en la Fig. 7.70. Clic en Next. Guardar los cambios, al dar un visto en la opción “Drive save on Done” de la Fig. 7.71; luego dar clic en done.

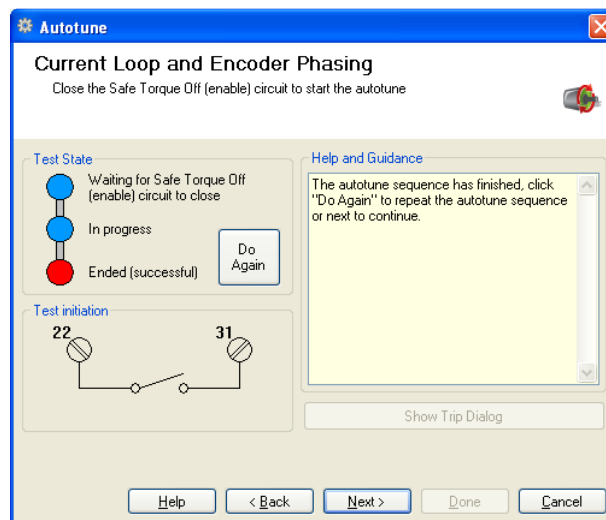


Figura 7.70: Auto-ajuste finalizado exitosamente.

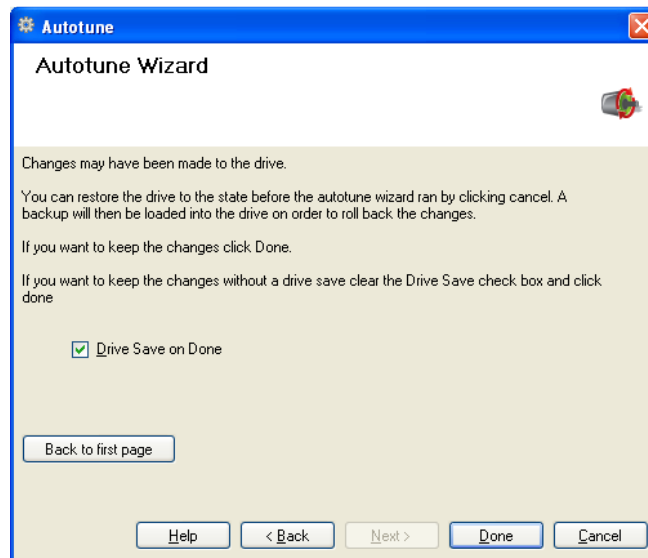


Figura 7.71: Guardar parámetros en el drive luego del auto-ajuste.

Previo al apagado del panel eléctrico, acceder al menú archivo, luego elegir la opción “Save Project as...” y guardar el proyecto en una ubicación específica. Cerrar luego el software CT-Soft.

El procedimiento de apagado del panel eléctrico consiste, en primer lugar, en el ajuste de los selectores tal como se indica a continuación:

- Drive enable, Field enable, Run Forward y Manual/Auto: Posición izquierda.
- OFF/ON y AN1/ AN2: Posición derecha.

Luego, presionar la botonera roja PANEL OFF y finalmente reponer el disyuntor.

7.5. Ajuste de velocidad por diferentes métodos.

Existen tres métodos para variar la velocidad del motor DC: por medio de una referencia externa empleando para ello, el potenciómetro de precisión, luego a través de la interfaz de programación (keypad) empleando para ello las teclas direccionales y finalmente ajustando una velocidad fija (pad-ref). Estos métodos permiten variar el ajuste de la referencia de velocidad, cuando el drive opera en lazo cerrado.

7.5.1. Referencia externa (potenciómetro).

Encender el panel eléctrico Mentor; para ello, accionar el disyuntor, luego presionar el botón PANEL ON y empleando el software CT-Soft, abrir el proyecto "Panel eléctrico Mentor replica". Presionar el botón F9 para conectar el drive con el PC. En el menú árbol de la sección derecha de la pantalla principal del software, acceder a la opción Block Diagrams y luego elegir el menú 1 correspondiente a Speed reference selection; configurar el menú Speed Reference selection tal como se observa en la Fig. 7.72.

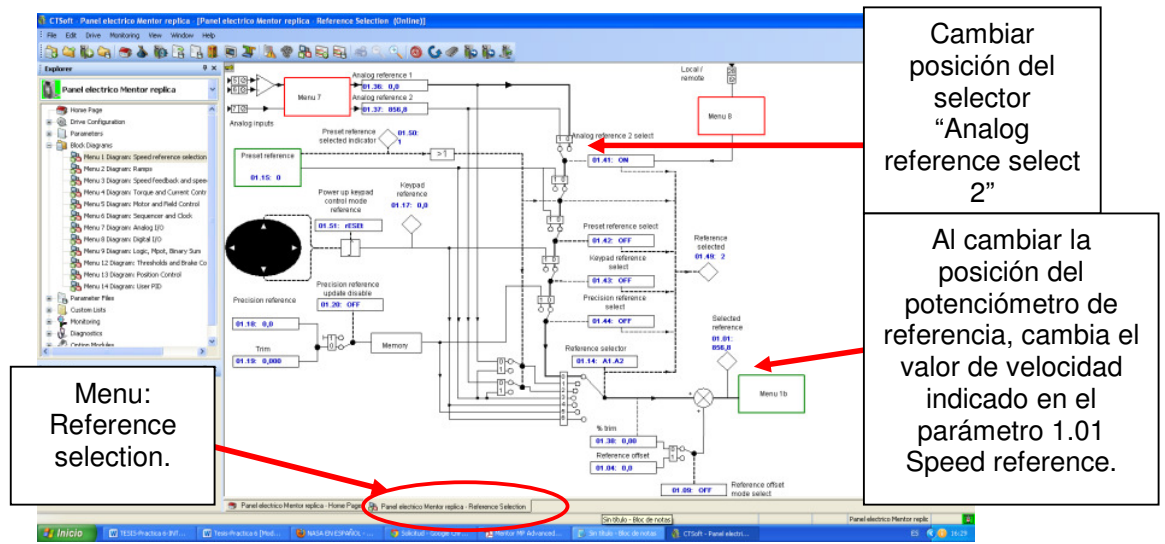


Figura 7.72: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection.

Fijar la posición del potenciómetro de referencia de tal forma que la velocidad sea máxima, es decir 1700rpm. Observar que el parámetro 1.01 Speed reference cambia a 1700.

Cambiar la posición de los siguientes selectores en el orden indicado:

- OFF/ON, Field enable, Drive Enable, Run Forward: posición derecha.

Para detener el motor, ubicar el selector Run Forward en la posición izquierda.

En la Fig. 7.73 se muestra la variación del voltaje DC de armadura y de la corriente DC de armadura. La rampa de aceleración dura 5 segundos mientras que la desaceleración dura 12 segundos. La variable que se controla durante la rampa es el voltaje DC.

En la Fig. 7.74 se muestra la variación del voltaje DC generado, cuya forma es similar a la de la velocidad, y la variación de la corriente DC de armadura.

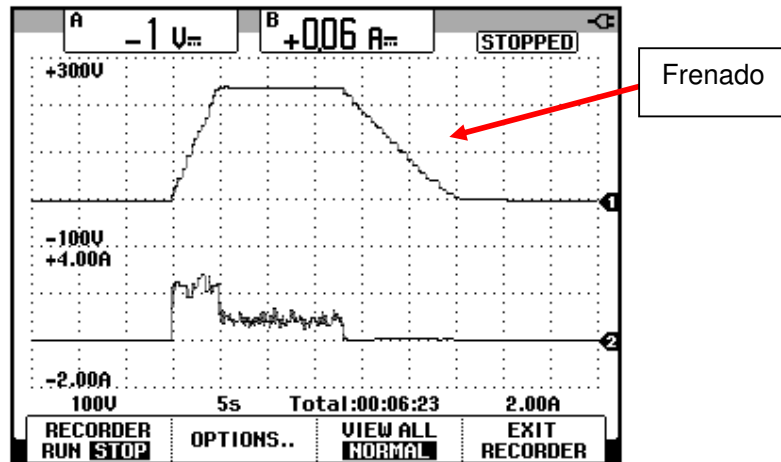


Figura 7.73: Variación del voltaje DC y de la corriente DC de armadura durante el arranque y frenado empleando el potenciómetro de precisión como medio para variar la velocidad (Ch1: Vdc-armadura; Ch2: Idc-armadura).

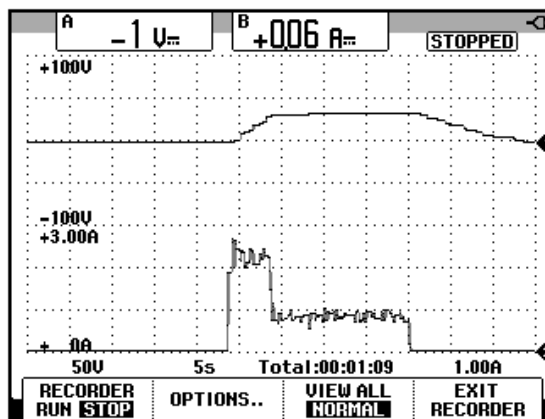


Figura 7.74: Variación de la velocidad y de la corriente DC de armadura durante el arranque y frenado empleando el potenciómetro de precisión como medio para variar la velocidad (Ch1: Vdc-taco-generador; Ch2: Idc-armadura).

En la Fig. 7.75, se muestra la forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura durante un instante en la etapa de frenado. El motor no frena en rueda libre, dado que se controla de forma mínima el voltaje de armadura. Se controla el ángulo de disparo, de tal forma que la velocidad no incremente sino que se reduzca de forma controlada. La fuerza contra-electromotriz es de 100V y el valor máximo de la corriente no supera los 500mA.

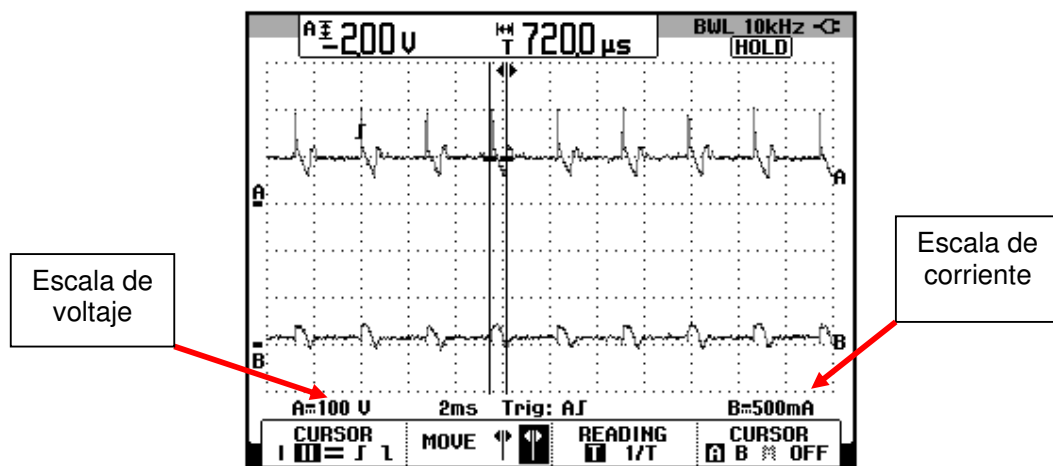


Figura 7.75: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura durante un instante en la etapa de frenado. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)

Girar en sentido anti-horario el potenciómetro de precisión de tal forma que la referencia de velocidad sea mínima.

Cambiar la posición de los siguientes selectores en el orden indicado:

- OFF/ON y AN1/AN2: posición derecha.
- Field enable, Drive Enable, Run Forward: posición izquierda.

7.5.2. Interfaz de programación (keypad).

Verificar que exista conectividad entre el PC y el drive, caso contrario presionar F9 manteniendo abierta la ventana principal del software. Configurar el menú Reference selection tal como se observa en la Fig. 7.76.

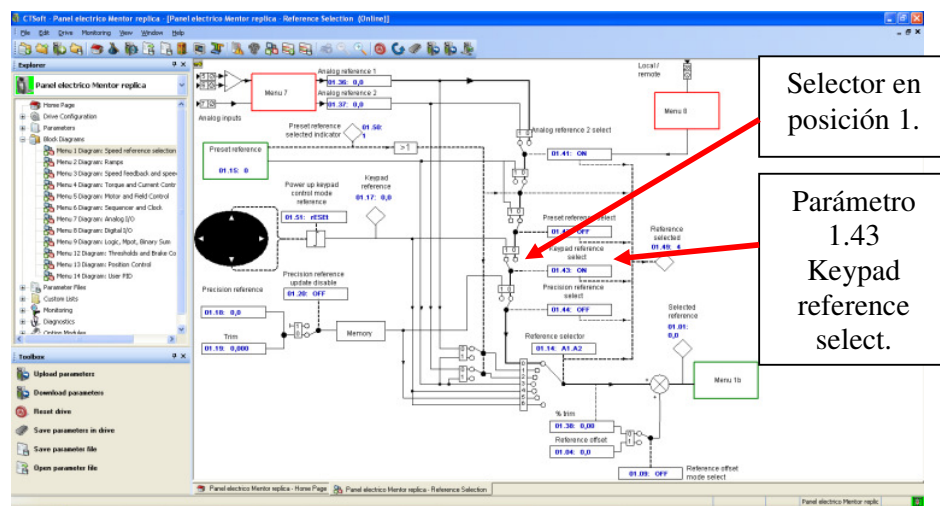


Figura 7.76: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection para habilitar el cambio de velocidad empleando la interfaz de usuario.

Confirmar que al girar el potenciómetro de precisión, el parámetro 1.01 no cambia; sin embargo, el parámetro 1.37 Analog reference 2, sí cambia.

Emplear la interfaz del drive para configurar la referencia de velocidad; para ello, seleccionar el parámetro 1.01 Speed reference y luego de presionar la tecla M. Ajustar la velocidad en 500rpm, empleando las teclas direccionales de la interfaz del drive.

Cambiar la posición de los siguientes selectores en el orden indicado:

- Field enable, Drive Enable: posición derecha.

Presionar el botón verde de la interfaz del drive. Se observa que la entrada selectora Run Forward no controla el arranque del motor.

Para detener el motor presionar el botón rojo de la interfaz del drive.

7.5.3. Velocidad fija (pad-ref)

Al configurar el parámetro 1.14 Reference Selector en PadRef, el motor gira a la velocidad que se ha configurado en el parámetro 1.17 Keypad Reference.

En la sección anterior, se ajustó la velocidad en 500rpm empleando la interfaz de usuario. La configuración del menú Reference selector se muestra en la Fig. 7.77.

Notar que no es posible modificar el valor del parámetro 1.17 Keypad Reference. Luego de realizada la prueba, configurar el menú "Reference selection" tal como se indica en la Fig. 7.72, para variar la velocidad empleando el potenciómetro de referencia.

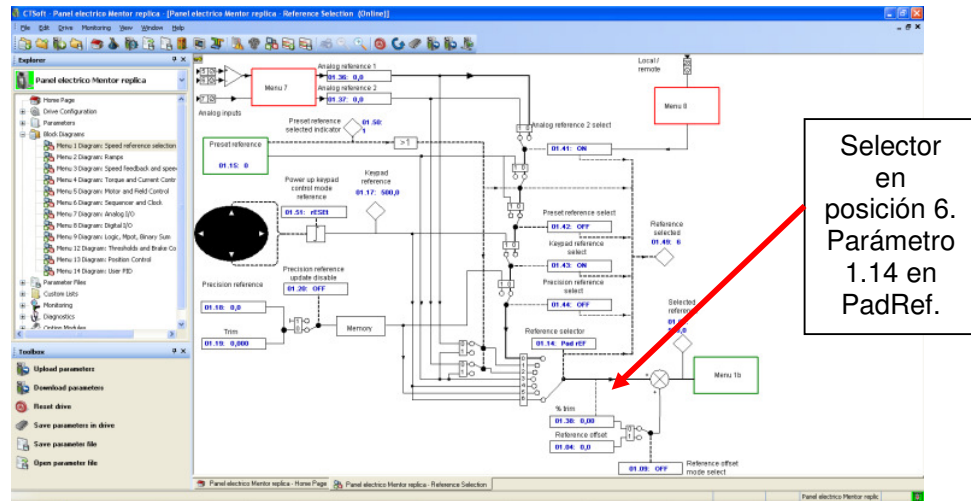


Figura 7.77: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection para seleccionar el modo PadRef.

7.6. Variación de velocidad del motor DC MV1006 en lazo abierto.

Verificar la conectividad entre el PC y el drive. En la pantalla principal del software CT-Soft, acceder al menú árbol de la sección izquierda y elegir el diagrama de bloque 5; aparece el menú Motor Control. En la Fig. 7.78 se muestra la configuración de este menú.

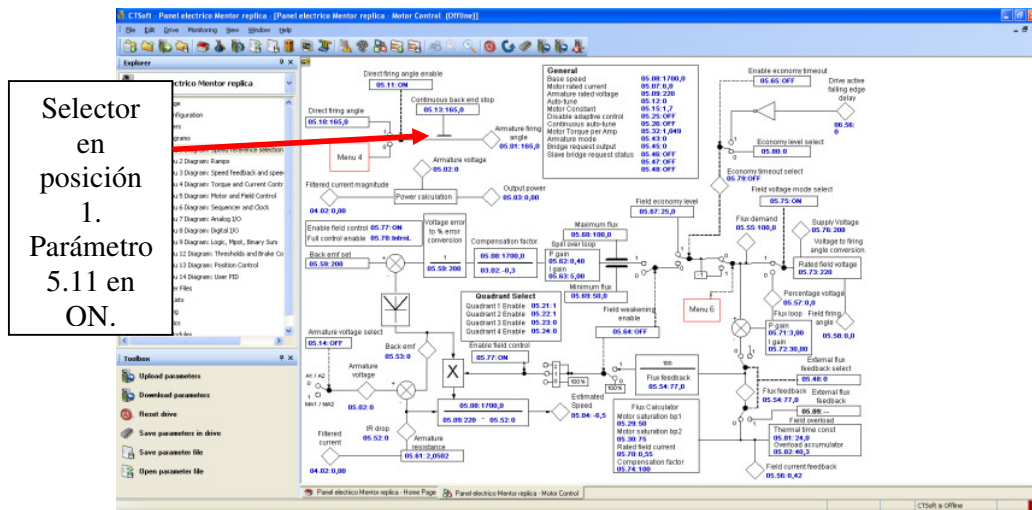


Figura 7.78: Configuración del menú Motor Control dentro del diagrama de bloque 5 Motor and Field Control para habilitar el funcionamiento en lazo abierto del motor.

En el parámetro 5.10 Direct Firing angle, se ingresa el ángulo de disparo. Ajustar este parámetro en 90. Cambiar la posición del selector Run forward a la posición derecha.

En la Fig. 7.79, se muestra la forma de onda del voltaje y corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 50. En la Fig. 7.80, se muestra la forma de onda del voltaje y corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 70.

En la Fig. 7.81, se muestra la forma de onda del voltaje y corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 90.

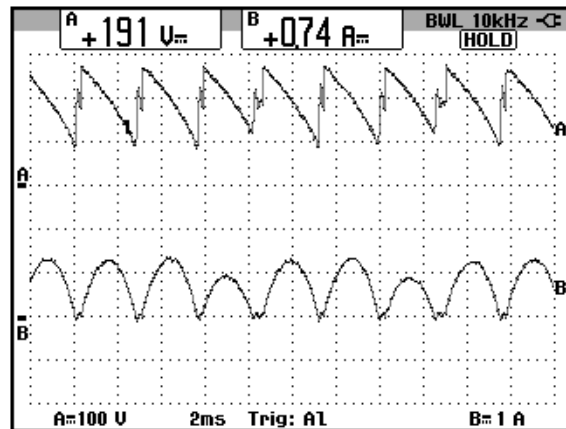


Figura 7.79: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 50. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)

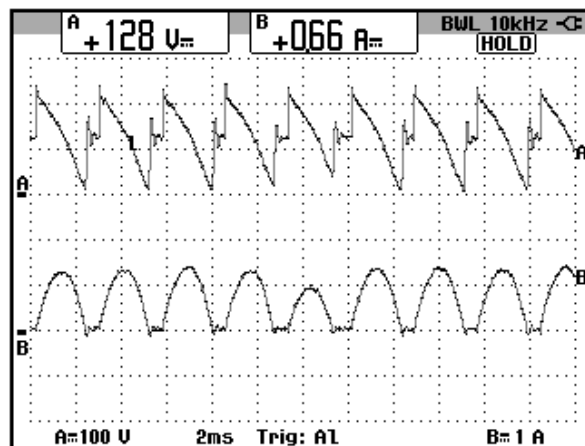


Figura 7.80: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 70. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)

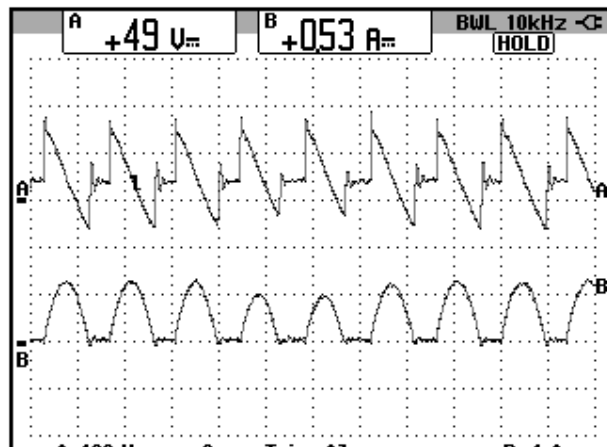


Figura 7.81: Forma de onda del voltaje y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 5.10 en 90. (Ch1: V-armadura; Ch2: I-armadura)

Si el parámetro 5.10 es ajustado en 40, el voltaje de armadura llega a 217V, lo cual es cercano al voltaje nominal de armadura, por lo que se recomienda no ajustar el valor de este parámetro en menos de 40.

Se observa que la forma de onda del voltaje sigue un patrón definido, dado que el ángulo de disparo no cambia; durante el control de velocidad, el ángulo de disparo debe cambiar para poder realizar el control. Durante el cambio del ángulo de disparo, no existe una rampa que ralentice este cambio.

Para detener el motor, fijar el valor del parámetro 5.10 en 110, luego ajustar la posición del selector Run Forward en la posición izquierda.

7.7. Control de velocidad empleando tacómetro DC.

Se procede a revisar el flujo de las señales que intervienen en el control de velocidad de un motor DC por taco-generador, partiendo de la señal que se envía hacia el circuito disparador y luego terminando en la señal de referencia de velocidad. Se sugiere revisar el esquema de control de velocidad de un motor DC analizado en el capítulo 3.

Para implementar el control de velocidad, configurar el parámetro 5.11 Direct firing angle enable en OFF; para ello acceder al diagrama de bloque 5 “Motor and Field Control” y cambiar el selector del parámetro 5.11 en cero. Ver Fig. 7.78. Con esto se logra que el parámetro 5.01 Armature Firing angle, dependa del diagrama de bloque 4 “Torque and Current control”, es decir que el ángulo de disparo dependa de la salida del control de corriente. En la Fig. 7.82 se muestra el menú “Torque and Current Control”, en el cual se calcula el error entre la corriente de referencia provista por el controlador de velocidad y la corriente real del motor. En la Fig. 7.83 se muestra el menú “Speed Feedback” del diagrama de bloque 4 “Speed Feedback and speed control”. En la Fig. 7.84, se muestra la entrada al menú Ramps del diagrama de bloque 2 del mismo nombre; adicionalmente, se observa que su salida se dirige hacia el menú 3, visto previamente. En la Fig. 7.85 se muestra la configuración del menú 1b “Reference control”. En la Fig. 7.86 se muestra la configuración del menú 1a “Reference selection” del diagrama de bloque 1 “Speed reference selection, limits and filters”.

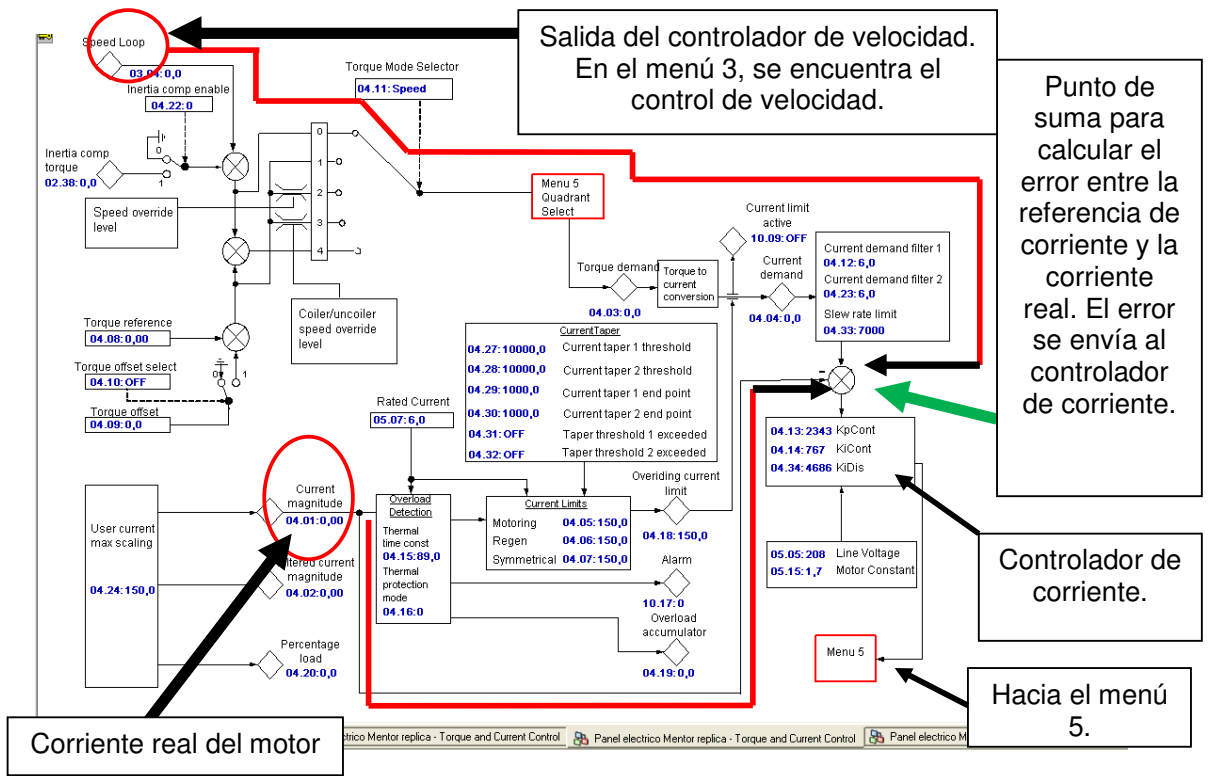


Figura 7.82: Configuración del menú Torque and Current control dentro del diagrama de bloque 4 del mismo nombre

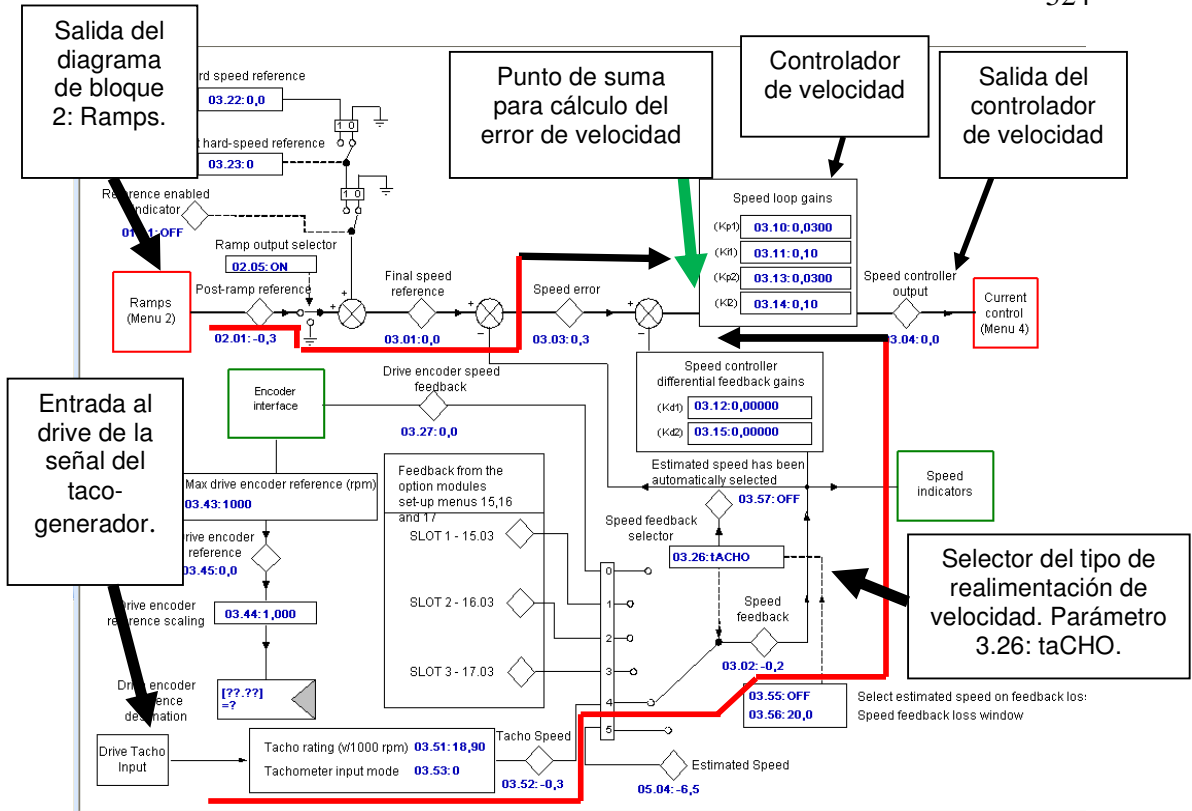


Figura 7.83: Configuración del menú Speed Feedback dentro del diagrama de bloque 3 Speed Feedback and Speed control.

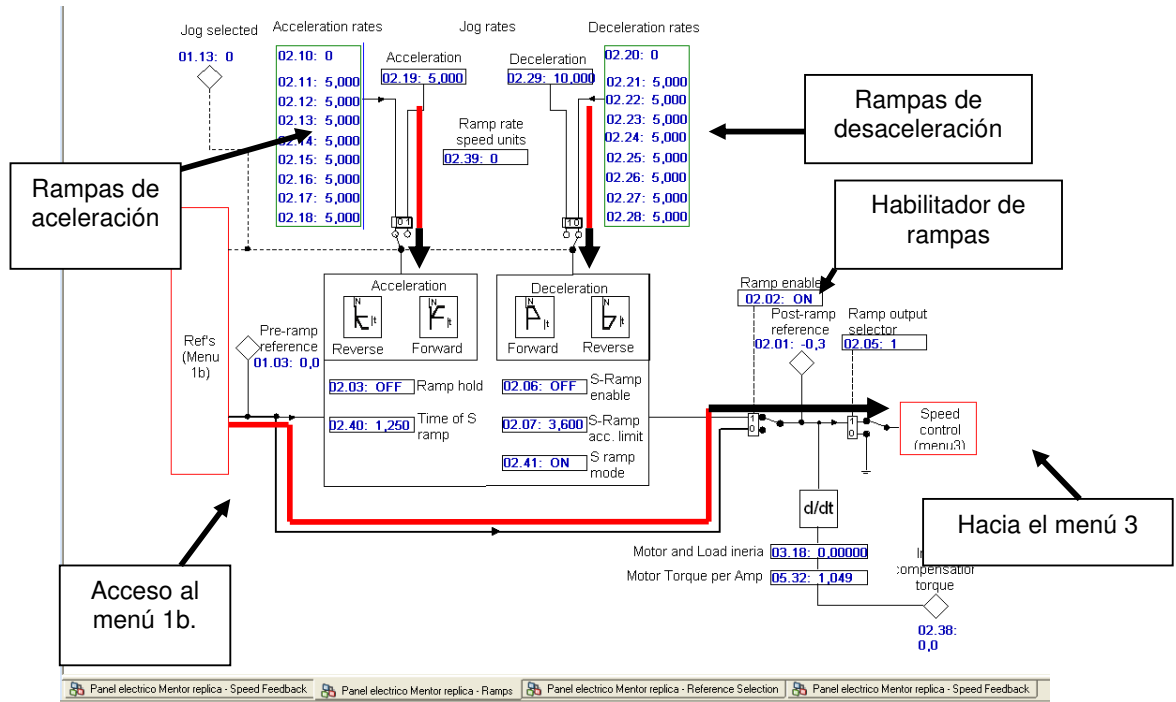


Figura 7.84: Configuración del menú Ramps dentro del diagrama de bloque 2 del mismo nombre.

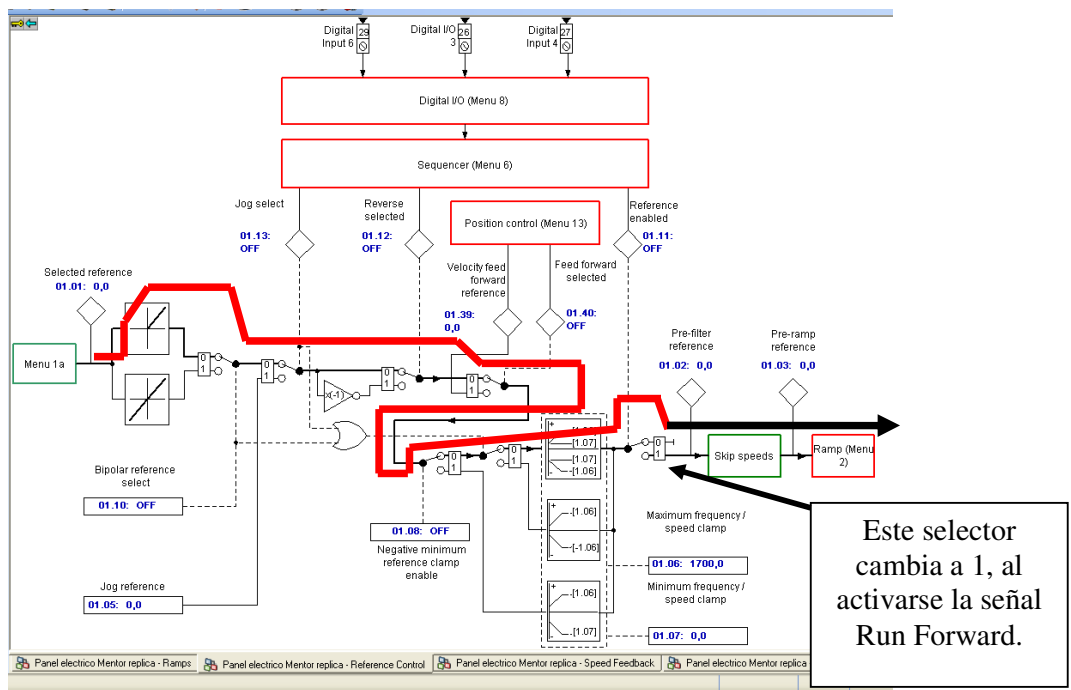


Figura 7.85: Configuración del menú Reference control dentro del diagrama de bloque 1 Speed Reference selection, limits and filters.

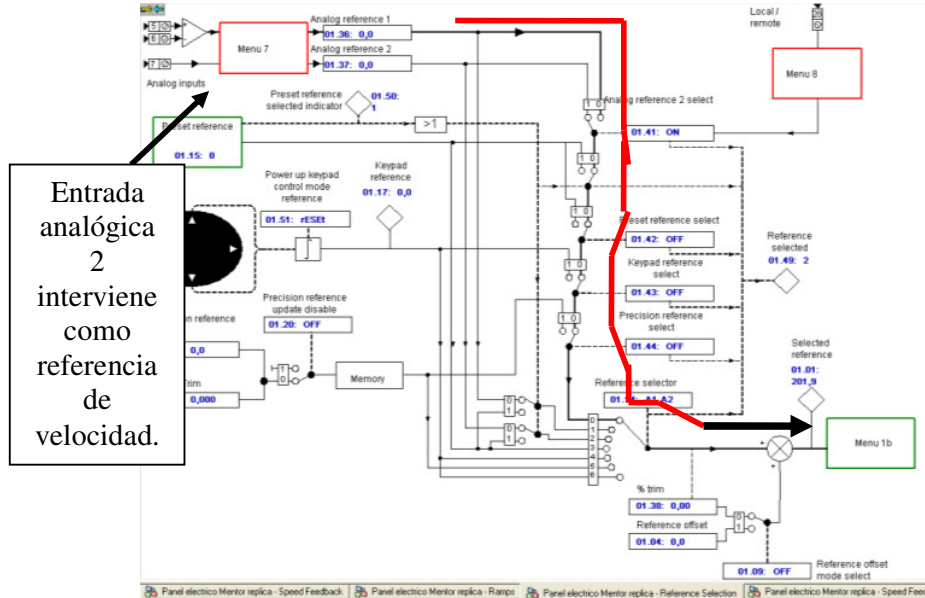


Figura 7.86: Configuración del menú Reference selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed Reference selection, limits and filters.

Luego de haber configurado el drive para su operación en lazo cerrado de velocidad, se requiere guardar la configuración; para ello, acceder al menú Drive del software y elegir la opción “Save parameters in drive”.

Acoplar el freno MV1045 al motor MV1006. Verificar la posición de los siguientes selectores:

- OFF/ON, AN1/AN2, Field enable, Drive Enable: posición derecha.

Girar completamente el potenciómetro de precisión en sentido anti-horario. Ajustar el selector Run Forward en la posición derecha para arrancar el motor. Es posible que aparezca un trip, denominado Fbr, el cual indica que la polaridad del taco-generador está invertido, para lo cual, reajustar la posición del selector Run Forward en la posición izquierda y luego invertir la

conexión del taco-generador al panel eléctrico. En la Fig. 7.87, se observa el mensaje indicado por el software.



Figura 7.87: Trip Fbr indicado por el software CT-Soft.

En caso de que haya aparecido el trip Fbr, presionar el botón rojo de la interfaz del drive; luego, ajustar el selector Run Forward en la posición derecha. A continuación, emplear el control de freno MV1045 para observar la regulación de velocidad. Aplicar carga mecánica de tal forma que la corriente de armadura aumente en pasos de 1A. Ajustar la escala de tiempo del osciloscopio Fluke 192B en 100ms. Partir con una velocidad en vacío de 1000rpm. Los resultados se muestran en la tabla 7.3.

Corriente de armadura [A]	Velocidad [rpm]
0.72	1002
2.02	982.5
3.02	972.0
3.96	959.9
5.06	954.0
6.05	945.2

Tabla 7.3: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por taco-generador DC.

En la Fig. 7.88 se muestra la variación de la velocidad y de la corriente durante estas etapas: arranque, al operar en vacío, aumento de carga mecánica hasta su operación a plena carga, retiro de la carga mecánica, operación en vacío y detención del motor.

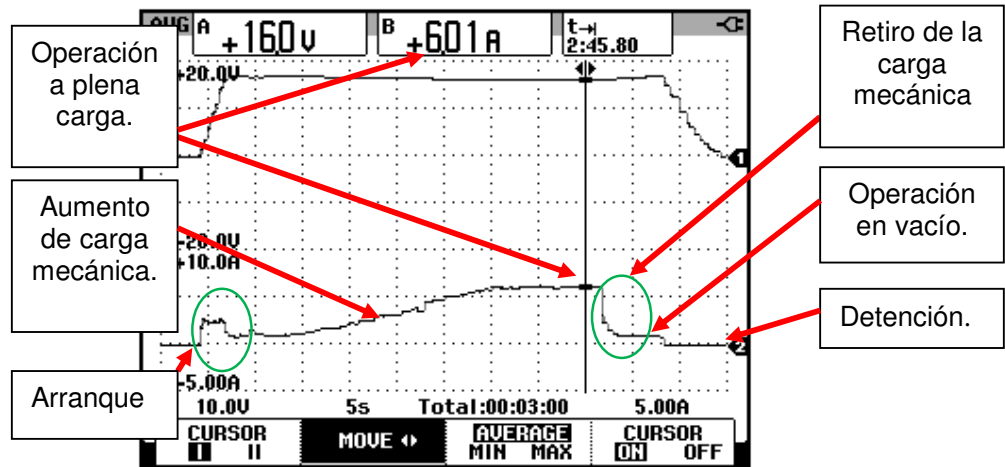


Figura 7.88: Variación de la velocidad y de la corriente DC durante el arranque, al operar en vacío, aumento de carga mecánica hasta su operación a plena carga, retiro de la carga mecánica, operación en vacío y detención del motor empleando el control de velocidad por taco-generador DC.

Se procede a observar diferentes ajustes del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain (Kp1). Para esta prueba, proceder en el siguiente orden:

- Ajustar el valor del parámetro 3.10 de acuerdo a los valores de la tabla 7.4.
- Reajustar la velocidad en 1000rpm aproximadamente, durante la operación en vacío.

- Aumentar la carga mecánica para operar el motor a plena carga, es decir que la corriente DC de armadura sea de 6A.
- Medir la velocidad.
- Repetir estos pasos para cada ajuste del parámetro 3.10.

Los resultados se muestran en la tabla 7.4.

3.10 Speed controller proportional gain (Kp1)	0.030 (ajuste de fábrica)	0.010	0.008	0.006	0.004
3.11 Speed controller integral gain (Ki1)	0.100 (ajuste de fábrica)	0.100	0.100	0.100	0.100
Velocidad en vacío [rpm]	1000	1003	1004	1002	1001
Velocidad a plena carga [rpm]	945.2	990.7	1003	1006	1002

Tabla 7.4: Variación del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain (Kp1) y comparación entre la velocidad en vacío y a plena carga empleando el método de control de velocidad por taco-generador.

En la tabla 7.4, se observa que al reducir el parámetro 3.10, se mejora la regulación de velocidad, dado que la velocidad a plena carga se aproxima a la velocidad de operación en vacío.

En la Fig. 7.89 se muestra un oscilograma que muestra la forma de onda del voltaje generado y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.10 en 0.001, operando el motor en vacío. Se observa que al reducir el

parámetro 3.10 se llega a la zona de inestabilidad de la corriente de armadura; el torque inducido varía de la misma forma que la corriente de armadura, el máximo valor de la corriente de armadura es de 3A. Es importante recalcar que durante las variaciones de corriente o torque inducido, la velocidad se mantiene estable, como se muestra en la Fig. 7.89. Estas oscilaciones de la corriente de armadura, generan un sonido de cierta periodicidad notoria. Para la obtención de este oscilograma, la escala de tiempo es de 200ms.

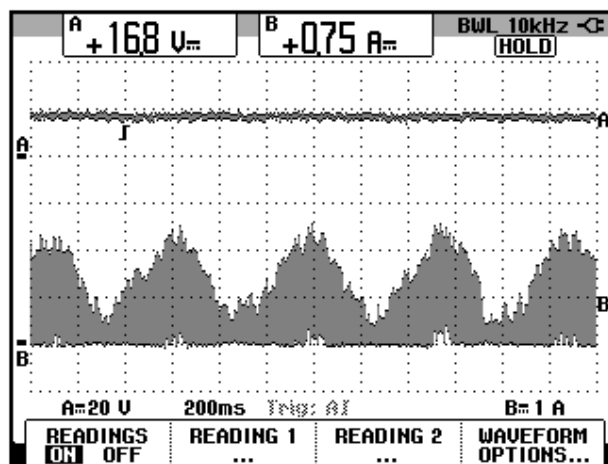


Figura 7.89: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.10 Kp1 igual a 0.001

De la tabla 7.4 se rescata que el mejor ajuste del parámetro 3.10, corresponde a 0.008. A continuación, se procede a observar el efecto de la variación del parámetro 3.11 Speed controller integral gain (Ki1), para ello, se realiza una prueba similar a la que se efectuó para la obtención de la tabla 7.4. Los resultados se muestran en la tabla 7.5.

.10 Speed controller proportional gain (Kp1)	0.008	0.008	0.008	0.008
3.11 Speed controller integral gain (Ki1)	0.100 (ajuste de fábrica)	0.200	0.080	0.06
Velocidad en vacío [rpm]	1004	1002	1004	1003
Velocidad a plena carga [rpm]	1003	999.8	1002	1000

Tabla 7.5: Variación del parámetro 3.11 Speed controller integral gain (Ki1) y comparación entre la velocidad en vacío y a plena carga empleando el método de control de velocidad por taco-generador.

Comparando los resultados de la tabla 7.5, se observa que los valores de velocidad a plena carga no difieren significativamente con respecto al valor de velocidad a plena carga cuando el parámetro 3.11 es de 0.100, el cual es el valor correspondiente al ajuste de fábrica. Por este motivo, se mantiene que el valor del parámetro 3.11 sea 0.10, el cual es el valor por defecto.

En la Fig. 7.90, se muestra la forma del voltaje generado y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 igual a 10 y el motor operando en vacío. Observar que al aumentar el parámetro 3.11, se ingresa a la zona de inestabilidad de la corriente de armadura, dado que existen picos no deseados en la corriente de armadura. No operar el motor con este ajuste durante un tiempo prolongado. Para la adquisición de este oscilograma, observar que la escala de tiempo es de 200ms. En la Fig. 7.91, se muestra la forma del voltaje generado y de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 igual a 1 y el motor operando bajo carga mecánica que

requiere de 3.12A en la corriente DC de armadura. La escala de tiempo es de 200ms. Se observa que la corriente presenta inestabilidad.

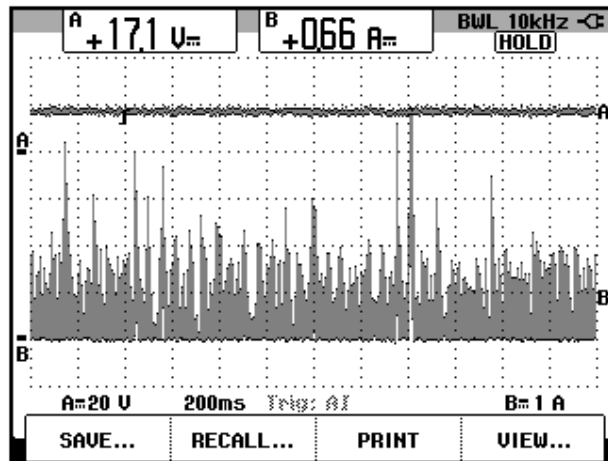


Figura 7.90: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 Ki1 igual a 10 y operación del motor en vacío.

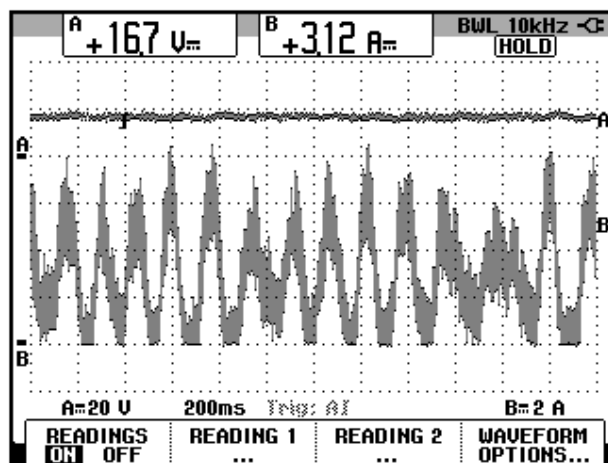


Figura 7.91: Forma de onda del voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y forma de onda de la corriente de armadura para un ajuste del parámetro 3.11 Ki1 igual a 1 y operación bajo cierta carga mecánica.

Se comprueba que al aumentar el parámetro 3.11 Ki1, y al aumentar carga mecánica, la corriente de armadura entra en zona de inestabilidad.

Finalmente, confirmar el siguiente ajuste:

- 3.10 Speed controller proportional gain (Kp1): 0.008.
- 3.11 Speed controller integral gain (Ki1): 0.100.

Adicionalmente observar el valor de las ganancias del controlador de corriente:

- 4.13 Continuous current controller Kp gain: 2368.
- 4.14 Continuous current controller Ki gain: 749.

Estos ajustes son determinados luego del auto-ajuste ya que los valores por defecto son 100 y 50, respectivamente.

7.8. Análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434.

Previo al análisis de armónicos, se compara la corriente de entrada de una fase del drive. Para ello, enganchar la punta de prueba de corriente Fluke en el cable con marquilla 24, tal como se muestra en la Fig. 7.92.

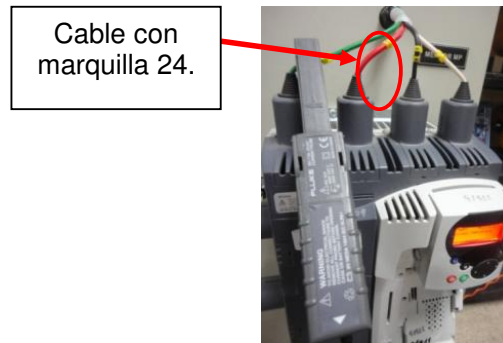


Figura 7.92: Enganche de una punta de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC en el cable con marquilla 24.

En la Fig. 7.93 se muestra un oscilograma en el cual en el canal A, se observa la forma de la corriente de entrada de una fase del drive y en el canal B, la forma de la corriente de armadura. Se observa que existen picos de corriente en la entrada debido a la conmutación de los tiristores del puente rectificador. A continuación, se procede a observar los armónicos de la corriente de entrada al drive.

En la Fig. 7.94 se muestra la configuración del analizador de energía Fluke 434. En la Fig. 7.95 se muestra la conexión entre el analizador de energía y el sistema eléctrico analizado.

Conectar las puntas de prueba de corriente de la forma indicada en la Fig. 7.96. Realizando un contraste entre las Figs. 6.95 y 6.96, de izquierda a derecha se denotan las fases A, B y C.

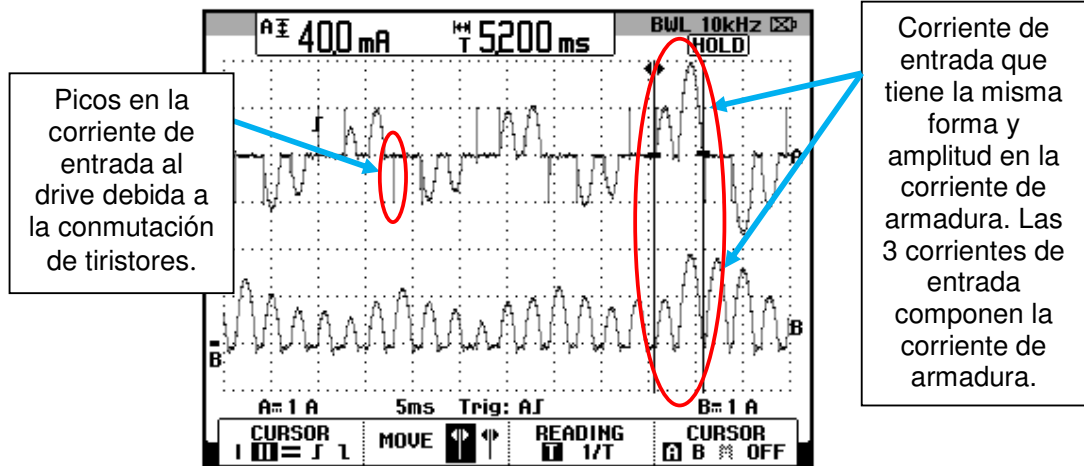


Figura 7.93: Forma de la corriente de entrada de una fase del drive y corriente de armadura (Ch1: I-entrada; Ch2: I-armadura).

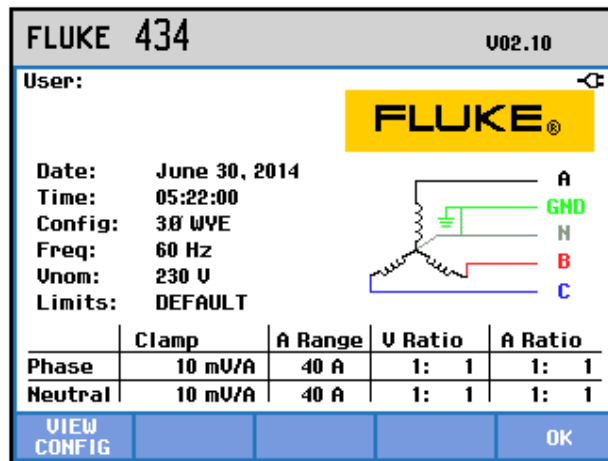


Figura 7.94: Configuración del analizador de energía Fluke 434.

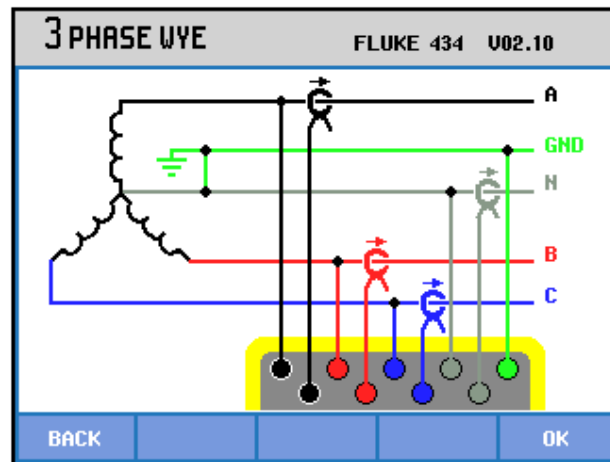


Figura 7.95: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.

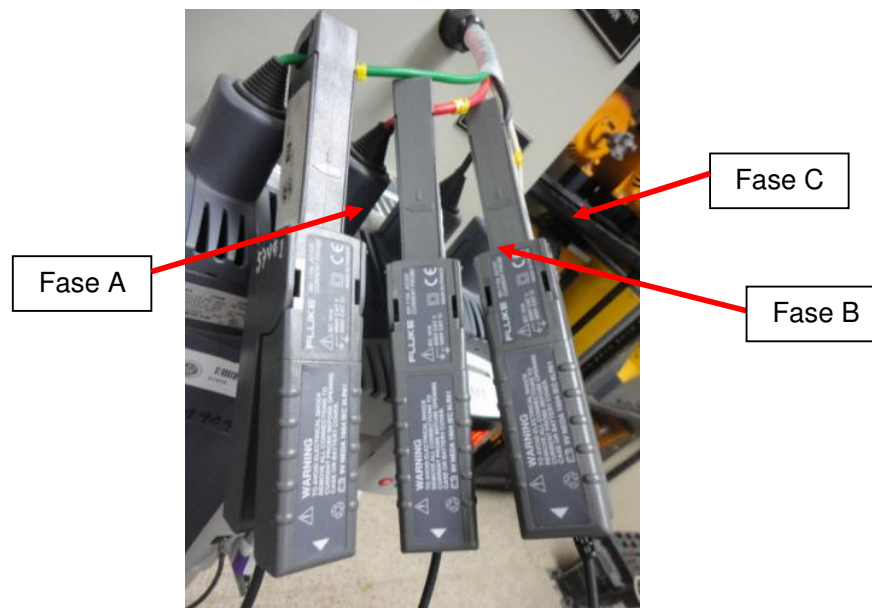


Figura 7.96: Conexión de las puntas de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC en los cables de alimentación al drive Mentor MP45A4.

Operar el motor en vacío a una velocidad de 500rpm.

En la Fig. 7.97 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive. Las componentes armónicas que contribuyen a la

formación de la corriente de entrada son las armónicas 5 y 7. Las componentes armónicas 2, 3, 4 y 6 contribuyen en menor grado. En la Fig. 7.98 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para velocidad de operación de 500rpm. La componente de neutro no se considera debido a que no se conectó una punta de prueba en el cable que transporta la corriente de neutro.

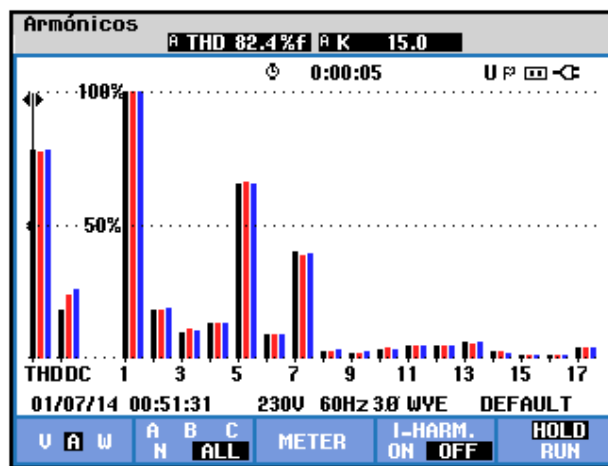


Figura 7.97: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor en vacío.

TABLA ARMÓNICOS				
0:00:02 U P [] [] []				
Amp	A	B	C	N
THD%f	81.8	78.8	79.6	615.9
H3%f	11.5	10.8	10.8	95.1
H5%f	65.7	65.1	65.2	91.9
H7%f	39.8	38.2	38.7	93.9
H9%f	2.2	2.1	2.2	92.4
H11%f	5.8	5.4	5.2	87.1
H13%f	6.2	6.1	6.2	93.6
H15%f	1.7	1.5	1.7	93.2

01/07/14 00:55:16 230V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT

U A W HARMONIC HOLD

U&A GRAPH TREND RUN

Figura 7.98: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor en vacío.

Desconectar una punta de prueba de corriente y conectarla en el osciloscopio Fluke 192B para adquirir la corriente de armadura. Aumentar la carga mecánica hasta que el motor opere a plena carga. Luego, reconectar la punta de prueba de corriente en el analizador de energía Fluke 434.

En la Fig. 7.99 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive, operando a plena carga. Las componentes armónicas disminuyen su amplitud y la componente 5 es la contribuye en mayor grado a la formación de la corriente de entrada. En la Fig. 7.100 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para velocidad de operación de 500rpm. En la Fig. 7.100 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para velocidad de operación de 500rpm.

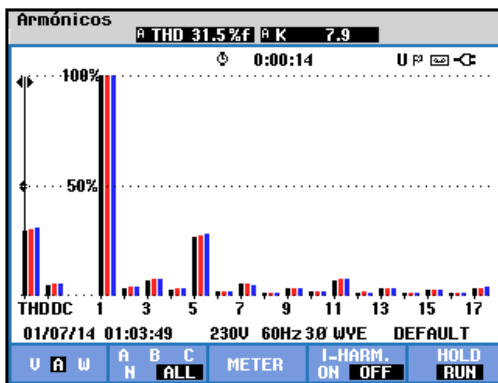


Figura 7.99: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor a plena carga.

TABLA ARMÓNICOS				
Amp	A	B	C	N
THD%f	30.5	30.1	30.7	401.6
H3%f	7.1	7.6	7.9	88.9
H5%f	26.6	27.8	28.6	91.4
H7%f	5.6	5.1	4.4	94.4
H9%f	3.6	3.7	4.0	99.1
H11%f	7.1	7.8	8.2	94.0
H13%f	4.0	3.7	3.3	88.6
H15%f	2.7	2.9	3.0	90.3
01/07/14 01:06:32 230V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
U A W	HARMONIC		TREND	HOLD
U&A	GRAPH			RUN

Figura 7.100: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 500rpm operando el motor a plena carga.

Operar el motor en vacío a una velocidad de 1000rpm. En la Fig. 7.101 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive. Las componentes armónicas que contribuyen a la formación de la corriente de entrada siguen siendo las armónicas 5 y 7. El THD se reduce al aumentar la velocidad. En la Fig. 7.102 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para velocidad de operación de 1000rpm.

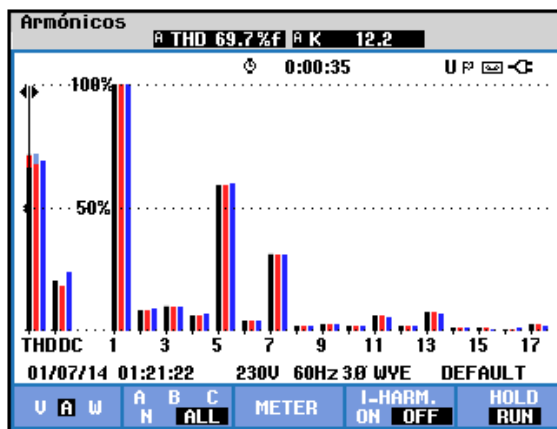


Figura 7.101: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor en vacío.

TABLA ARMÓNICOS				
	0:02:53			U P □ ◀
Amp	A	B	C	N
THD%f	68.4	72.1	70.8	597.6
H3%f	11.0	10.7	11.5	100.9
H5%f	58.7	58.9	59.4	97.4
H7%f	31.0	30.8	30.6	97.8
H9%f	2.7	2.6	2.9	98.4
H11%f	6.2	6.3	6.0	103.8
H13%f	7.3	7.5	7.2	100.6
H15%f	1.2	1.2	1.3	99.2
01/07/14 01:23:40 230V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
U A W	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD
U&A				RUN

Figura 7.102: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor en vacío.

Desconectar una punta de prueba de corriente y conectarla en el osciloscopio Fluke 192B para adquirir la corriente de armadura. Aumentar la carga mecánica hasta que el motor opere a plena carga. Luego, reconectar la punta de prueba de corriente en el analizador de energía Fluke 434.

En la Fig. 7.103 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive, operando a plena carga. Las componentes armónicas disminuyen su amplitud y la componente 5 es la que se mantiene contribuyendo en mayor grado a la formación de la corriente de entrada. En la Fig. 7.104 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para velocidad de operación de 1000rpm. Luego de esto, detener el motor.

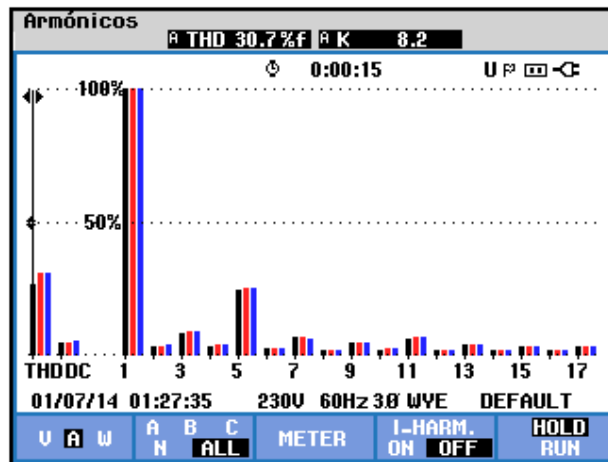


Figura 7.103: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor a plena carga.

TABLA ARMÓNICOS				
0:00:15 U P [] []				
Amp	A	B	C	N
THD%f	26.4	31.0	30.8	124.7
H3%f	8.7	9.2	9.2	33.4
H5%f	24.5	25.2	25.7	43.8
H7%f	7.1	7.0	6.4	32.3
H9%f	4.8	4.7	5.1	32.4
H11%f	6.4	6.7	6.9	32.6
H13%f	4.2	4.3	4.1	33.5
H15%f	3.5	3.4	3.5	32.6

01/07/14 01:27:35 230V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT

U A W HARMONIC TREND HOLD

U&A GRAPH RUN

Figura 7.104: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una velocidad de 1000rpm operando el motor a plena carga.

7.9. Estado térmico del motor.

Es importante reconocer el estado térmico del motor. El motor es modelado térmicamente en una forma tal que es equivalente al circuito mostrado en la Fig. 7.105 [7].

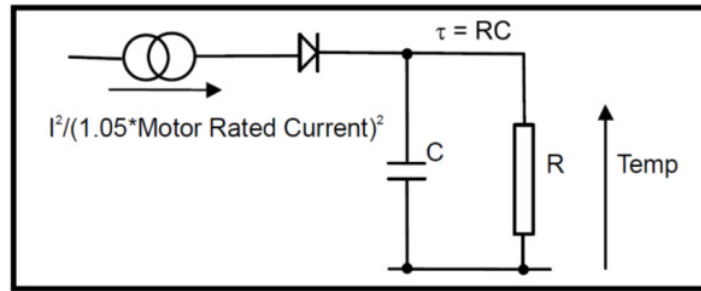


Figura 7.105: Modelamiento térmico del motor empleando el drive Mentor MP45A4.

La temperatura del motor como porcentaje de la máxima temperatura con una corriente de magnitud constante I y un valor constante de la corriente nominal del motor ajustada en el parámetro 5.07, luego de un tiempo t es calculada por medio de la fórmula 6.1.

$$\text{Temp} = [I^2 / (1.05 \times \text{Corriente nominal del motor})^2] (1 - e^{-t/\tau}) \times 100 \% \quad (7.1)$$

Esto asume que la máxima temperatura permitida en el motor es producida por 1.05 la corriente nominal del motor y que “ τ ” es el filtro térmico del punto en el que el motor alcanza su máxima temperatura permitida por primera vez. “ τ ” es definida en el parámetro 4.15 Thermal time constant, cuyo ajuste de fábrica es 89. La temperatura estimada es dada por el parámetro 4.19 como un porcentaje de la máxima temperatura.

Cuando la temperatura estimada alcanza 100%, el drive actúa dependiendo del ajuste del parámetro 4.16 Thermal protection mode. El ajuste por defecto de este parámetro corresponde a 0 y la acción correspondiente es que el drive muestra un trip cuando el parámetro 4.19 Overload accumulator, llega a 100%; en tal caso, detener el motor y presionar el botón rojo de la interfaz

para deshacer el trip. Es conveniente revisar este parámetro cuando el motor opera en un tiempo prolongado como por ejemplo, el tiempo de realización de una práctica. Recordar que este parámetro indica la temperatura del motor como porcentaje de la máxima temperatura.

7.10. Control de velocidad por aproximación de velocidad (IxR).

A continuación, se procede a observar el control de velocidad por aproximación de la misma. Verificar conectividad entre el PC y el software CT-Soft.

En la Fig. 7.106, se muestra la configuración del menú Speed Feedback dentro del diagrama de bloque 3 Speed Feedback and Speed control.

Configurar el parámetro 3.26 Speed Feedback Selector en ESt. SPd. En el parámetro 5.04 Estimated Speed, es posible observar la velocidad estimada. En el menú 5 Motor and Field control, es posible observar la forma como se calcula el parámetro 5.04. Ver Fig. 7.107.

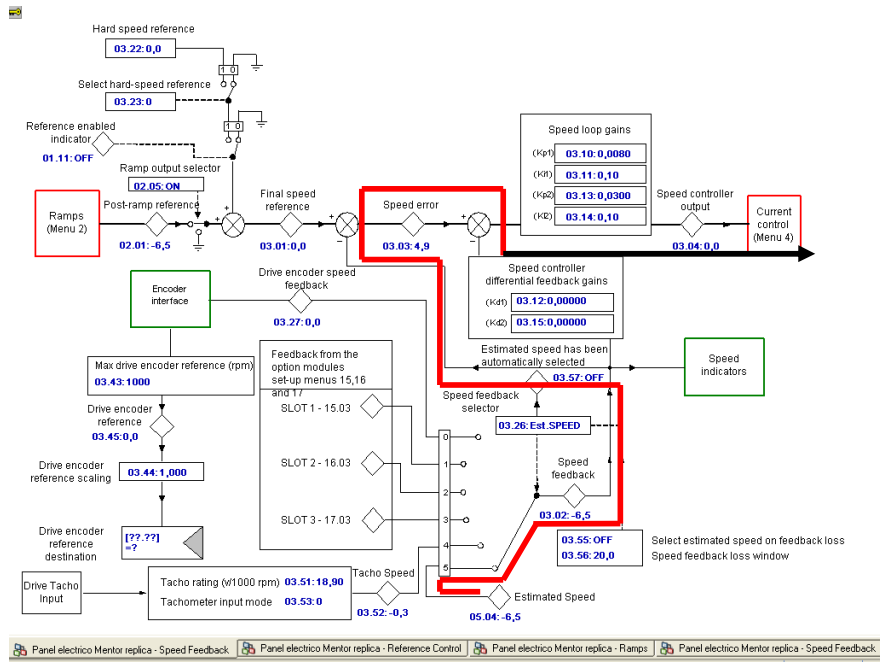


Figura 7.106: Configuración del menú Speed Feedback dentro del diagrama de bloque 3 Speed Feedback and Speed control

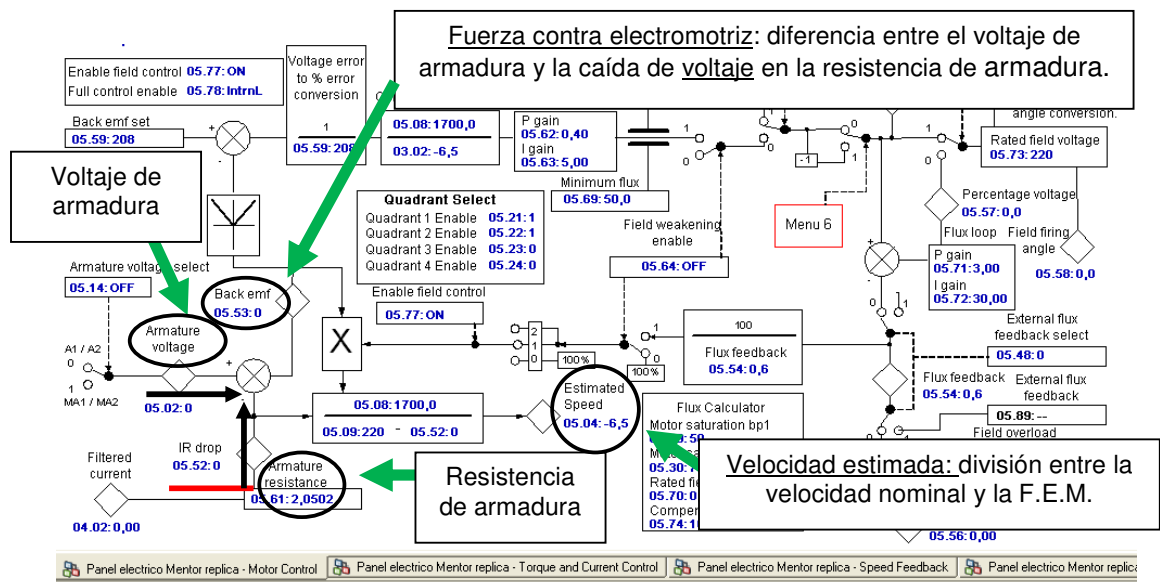


Figura 7.107: Cálculo del parámetro 5.04 Estimated Speed del menú Motor control dentro del diagrama de bloque 5 Motor and field control.

A continuación, emplear el control de freno MV1045 para observar la regulación de velocidad. Mantener los ajustes de los parámetros relacionados a los controladores de velocidad y de corriente. Aplicar carga mecánica de tal forma que la corriente de armadura aumente en pasos de 1A. Ajustar la escala de tiempo del osciloscopio Fluke 192B en 100ms. Partir con una velocidad en vacío de 1000rpm. Los resultados se muestran en la tabla 7.6.

Corriente de armadura [A]	Velocidad-tacómetro [rpm]
0.60	999.4
2.06	978.0
2.96	973.8
4.01	962.3

Tabla 7.6: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por estimación de velocidad (IxR).

Al tomar la corriente de armadura, el valor de 4A, esta variable se acerca a una zona de inestabilidad, además, la regulación de velocidad no es aceptable. En la Fig. 7.108 se muestra la forma de onda de la corriente de armadura.

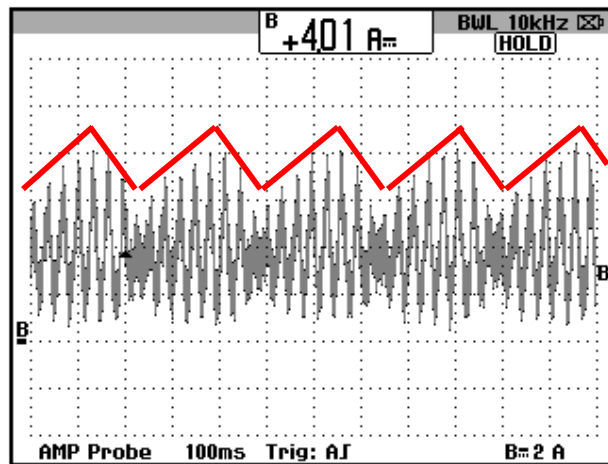


Figura 7.108: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de armadura y sin modificar los parámetros de los controladores de velocidad ni de corriente.

Debido a esto, se requiere mejorar los ajustes de los parámetros relacionados a los controladores de velocidad y de corriente. Se deben corregir dos problemas: primero la inestabilidad de la corriente al aumentar la carga mecánica y luego mejorar la regulación de velocidad. Se empieza resolviendo el primer problema.

Empezar con el ajuste de las ganancias proporcional e integral del control de corriente. Nuevamente operar el motor a 1000rpm, aumentar la carga mecánica de tal forma que la corriente de armadura sea de 3A. La forma de la corriente se muestra en la Fig. 7.109. La escala de tiempo es de 100ms.

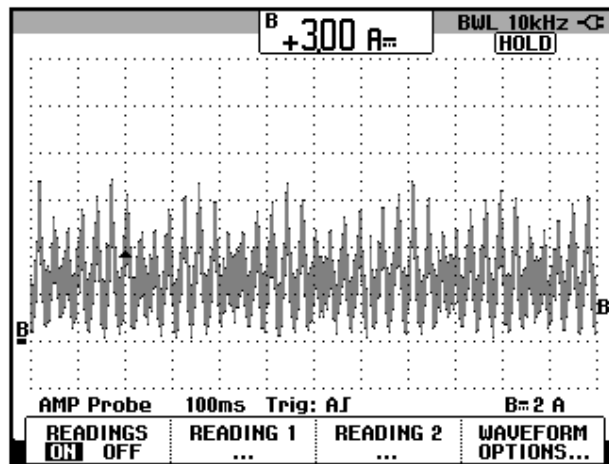


Figura 7.109: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y sin modificar los parámetros de los controladores de velocidad ni de corriente.

No detener el motor mantener su operación en las condiciones previas. Se procede a modificar el ajuste del parámetro 4.13 Current controller P gain. El valor obtenido luego de realizado el auto-ajuste es de 2368. Mientras el motor está operando, emplear CT-Soft para modificar este parámetro, el cual se encuentra en el diagrama de bloque 4 Torque and Current control; ajustar progresivamente en pasos de 100, el valor de este parámetro en 1868. En la Fig. 7.110, se muestra la forma de onda de la corriente de armadura. Se escuchan vibraciones en la mesa de trabajo debido al aumento de cambios bruscos de torque inducido. Modificar progresivamente y en pasos de 100, el valor del parámetro 4.13 y ajustarlo en 3368. En la Fig. 7.111 se muestra la forma de onda de la corriente de armadura. Aparecen picos de corriente.

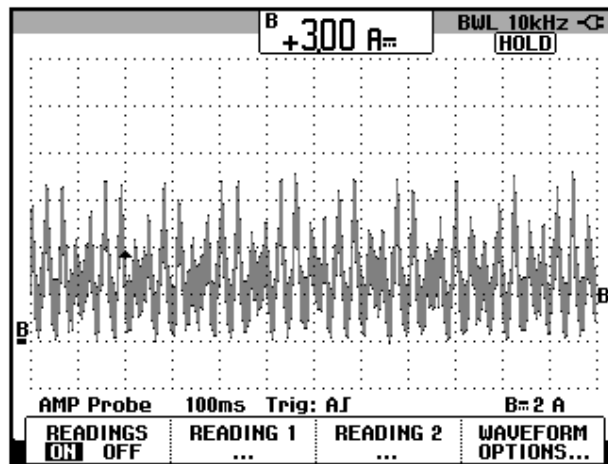


Figura 7.110: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 4.13 Current controller P gain en 1868.

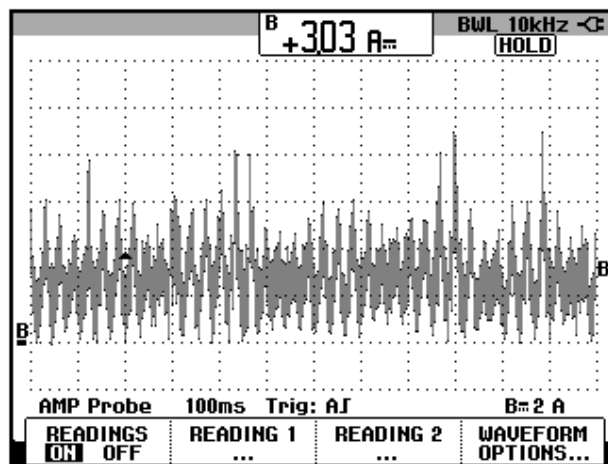


Figura 7.111: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 4.13 Current controller P gain en 3368.

Se observa que al variar el parámetro proporcional de la ganancia del controlador de corriente no contribuye a mejorar la estabilidad de la corriente de armadura, por ello, reajustar el valor del parámetro 4.13 a su ajuste de

fábrica correspondiente a 2368. No se realizan pruebas modificando la ganancia integral del controlador de corriente.

A continuación, se procede a reducir el parámetro 3.10 Speed controller proportional gain. El valor obtenido en la sección anterior es de 0.008. Sin detener el motor, bajo las condiciones de operación previas y empleando CT-Soft, modificar el valor de este parámetro y ajustarlo en 0.006. En la Fig. 7.112, se muestra la forma de onda de la corriente de armadura. Se observa que el límite máximo de la corriente disminuye, por lo que este ajuste mejora la estabilidad de la corriente, sin embargo, se escuchan vibraciones en el motor. Comparar la Fig. 7.112 con la Fig. 7.109.

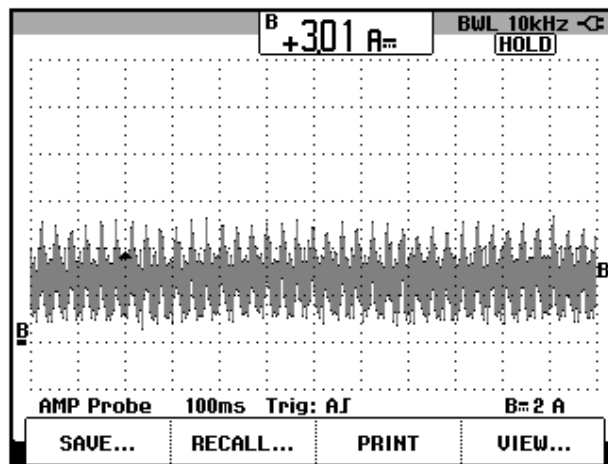


Figura 7.112: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.006.

Sin detener el motor, ajustar el parámetro 3.10 en 0.002. La forma de la corriente se muestra en la Fig. 7.113. El sonido ocasionado por las vibraciones se reduce.

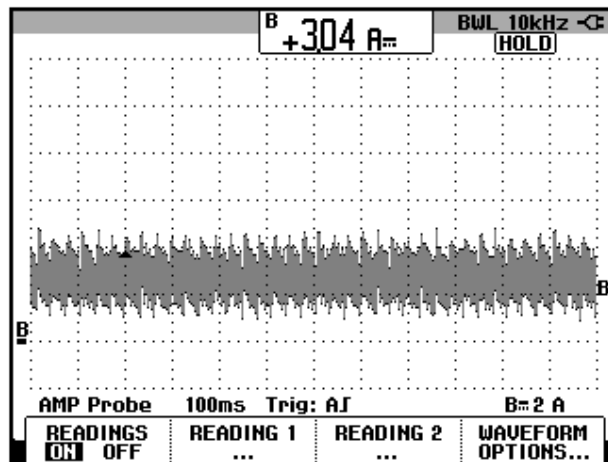


Figura 7.113: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.002.

En estas condiciones, aumentar la carga mecánica hasta que la corriente de armadura aumente a 6A aproximadamente.

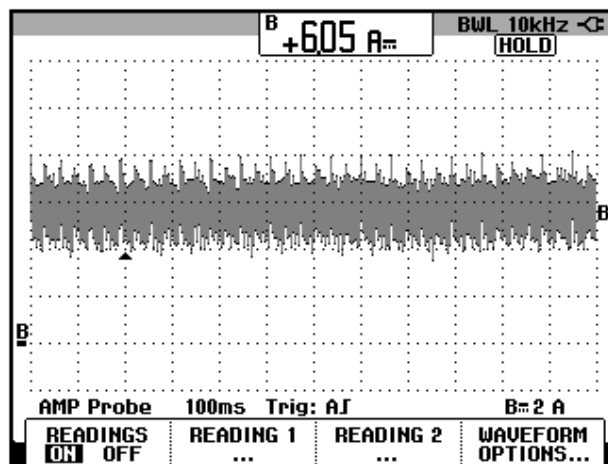


Figura 7.114: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor a plena carga y con el ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain en 0.002.

Retirar la carga mecánica y proceder nuevamente a observar la regulación de velocidad. Los resultados se muestran en la tabla 7.7. Cabe recalcar que el control de velocidad por aproximación de velocidad no es tan preciso como sí lo es el control por taco-generador.

En la Fig. 7.115 se muestra la variación del voltaje generado y de la corriente de armadura durante el arranque, aumento de carga y posterior detención.

Corriente de armadura [A]	Velocidad-tacómetro [rpm]
0.58	999.3
1.02	990.6
1.99	972.6
3.07	963.2
3.95	956.9
5.00	947.1
6.01	939.0

Tabla 7.7: Regulación de velocidad empleando el control de velocidad por estimación de velocidad (IxR) luego de calibrar el parámetro 3.10 Speed controller proportional gain, en 0.002.

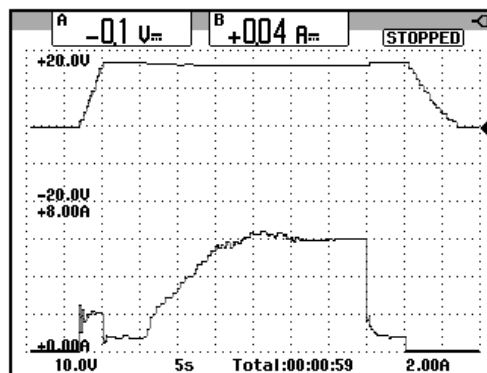


Figura 7.115: Variación de la velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de velocidad por estimación de la misma.

Reajustar la carga mecánica hasta que la corriente DC de armadura sea de 3A. Emplear CT-Soft para variar progresivamente el parámetro 3.11 Speed controller I gain hasta que tome el valor de 0.95. Si se ajusta este parámetro en 1.00, la corriente ingresa rápidamente a la zona de inestabilidad por lo que no se recomienda aumentar este valor más allá de 0.95. En la Fig. 7.116 se muestra la forma de onda de la corriente para el ajuste del parámetro 3.11 en 0.95.

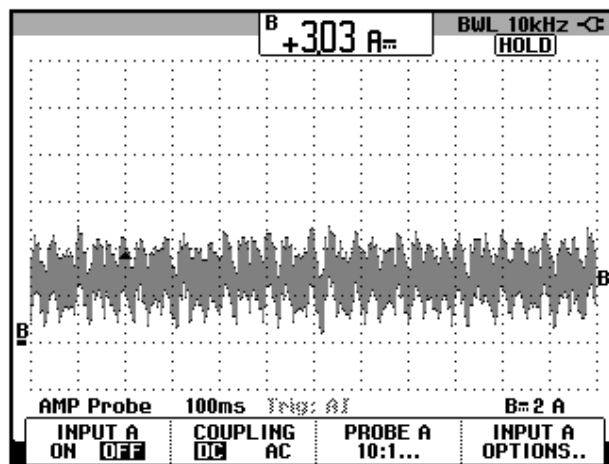


Figura 7.116: Forma de onda de la corriente de armadura con operación del motor bajo carga mecánica que requiere 3A en la corriente de armadura y con el ajuste del parámetro 3.11 Speed controller integral gain en 0.95.

Se verifica que el aumentar el parámetro 3.11 no mejora la estabilidad de la corriente. Mantener el ajuste de este parámetro en 0.10 que corresponde al ajuste de fábrica.

Se concluye que para el control de velocidad por estimación de la misma, el ajuste de los parámetros del controlador de velocidad es el siguiente:

- 3.10 Speed controller proportional gain (Kp1): 0.002.
- 3.11 Speed controller integral gain (Ki1): 0.100.

Se mantiene el valor de las ganancias del controlador de corriente:

- 4.13 Continuous current controller Kp gain: 2368.
- 4.14 Continuous current controller Ki gain: 749.

7.11. Selección automática de velocidades (velocidades preseleccionadas).

Acceder al diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters y configurarlo tal como se muestra en la Fig. 7.117. Ajustar el parámetro 1.14 Reference selector en "Pr" correspondiente a Preset References. Acceder al recuadro verde Preset reference. Aparece el menú Preset Speeds. Configurar las referencias preseleccionadas tal como se muestra en la Fig. 7.118.

El ajuste del parámetro 1.15 Preset reference selector es 9 y el ajuste del parámetro 1.16 Preset reference scan time en 5.

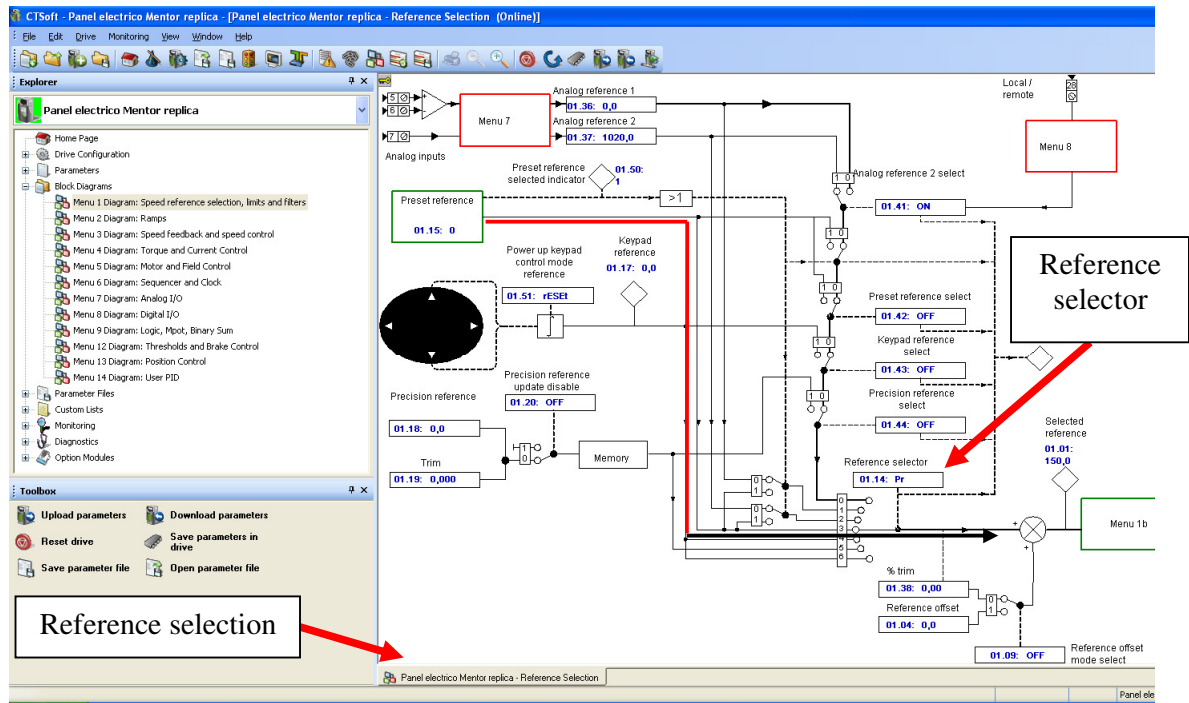


Figura 7.117: Menú Reference Selection dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.

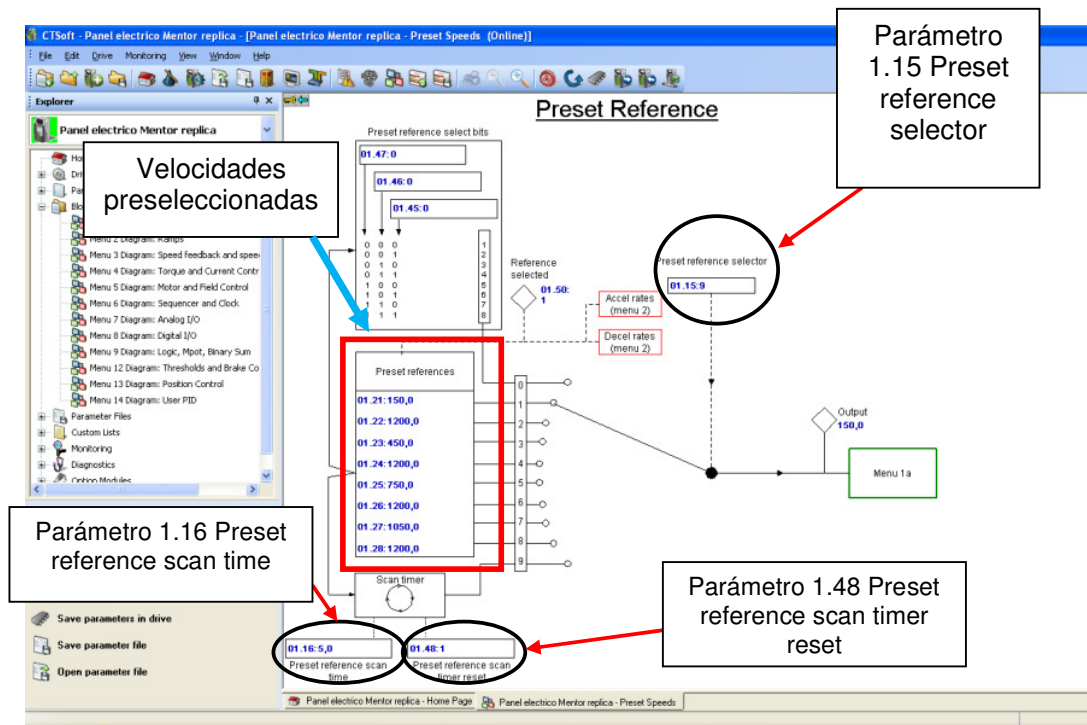


Figura 7.118: Menú Preset Speeds dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.

En la Fig. 7.119 se muestra la variación de la velocidad. Inicialmente el parámetro 1.48 Preset reference scan timer reset se encuentra en 1; al activar la señal de Run Forward, el motor gira a 150rpm, luego al cambiar este parámetro a 0, empieza la selección de las 8 posibles velocidades en forma secuencial desde la 1 hasta la 8. Modificar el parámetro 1.16 Preset reference scan time y fijarlo en 10. En la Fig. 7.120 se muestra la variación de la velocidad.

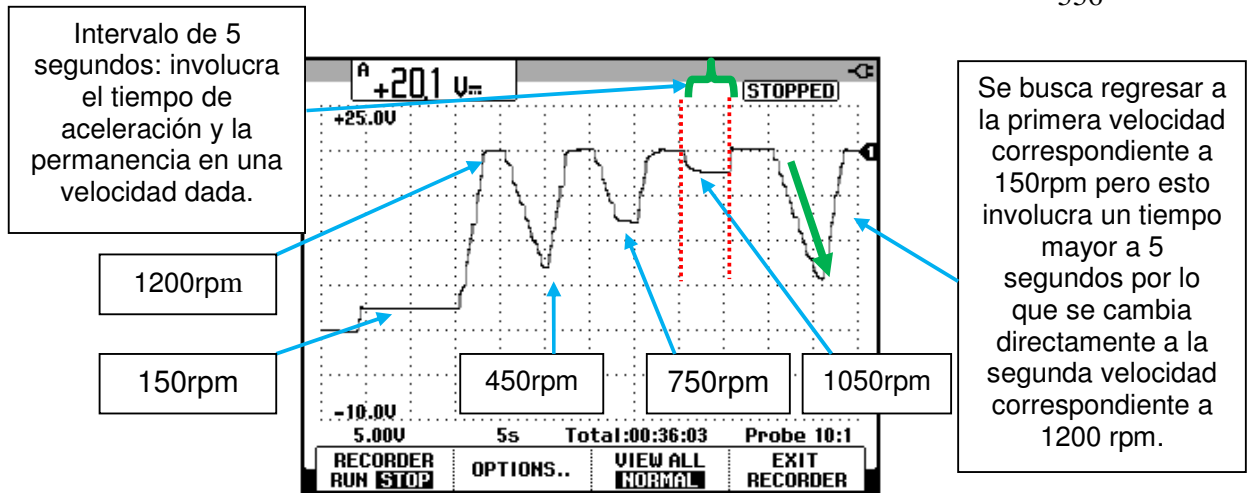


Figura 7.119: Variación de velocidad empleando las velocidades preseleccionadas y el ajuste en 9 del parámetro 1.15 y en 5 del parámetro 1.16.

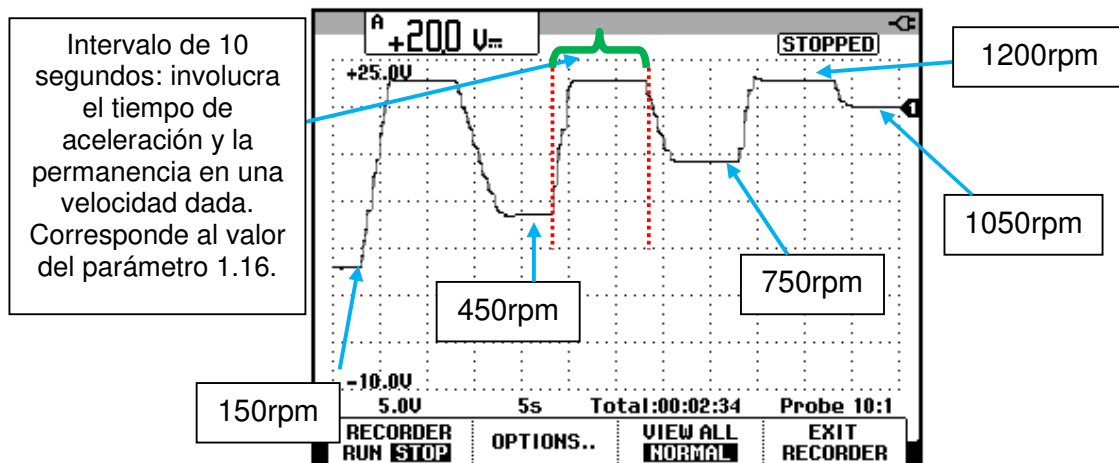


Figura 7.120: Variación de velocidad empleando las velocidades preseleccionadas y el ajuste del parámetro 1.16 en 10.

7.12. Avance gradual (jog).

En el diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters, acceder al menú 1b Reference control and fijar el valor del parámetro 1.05 Jog reference en 200. El parámetro 1.13 Jog select es de solo lectura y se activa

cuando se presiona la botonera JOG del panel eléctrico Mentor. En la Fig. 7.121 se muestra la configuración del menú 1b.

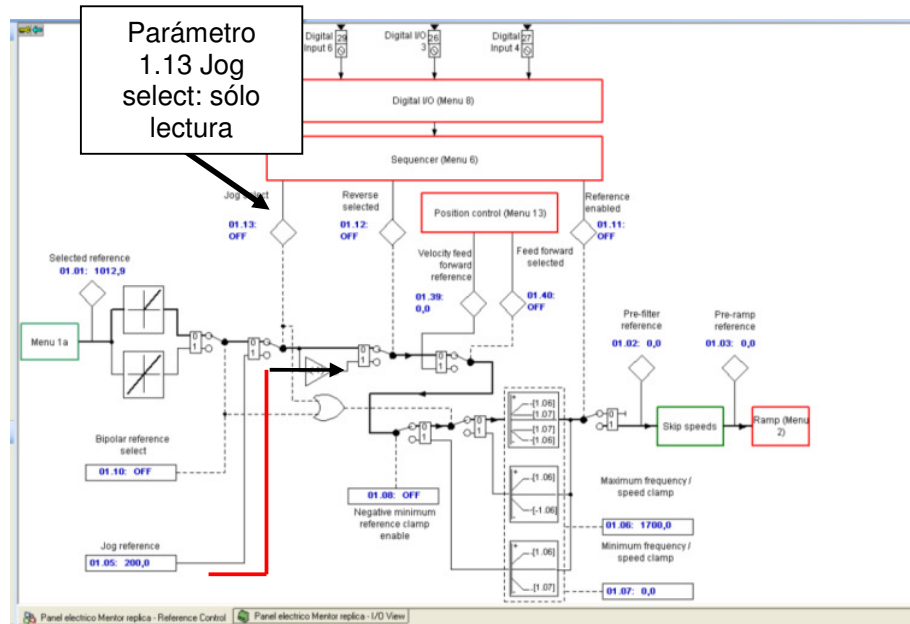


Figura 7.121: Menú 1b Reference control dentro del diagrama de bloque 1 Speed reference selection, limits and filters.

Al presionar la botonera JOG del panel eléctrico Mentor, el motor gira a una velocidad cercana a 200rpm dado que el método de control de velocidad es por aproximación de la velocidad (1xR).

En la pantalla de inicio del software CT-Soft, es posible acceder a la opción Display I/O View donde se muestra el estado de las entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Ver Fig. 7.122.

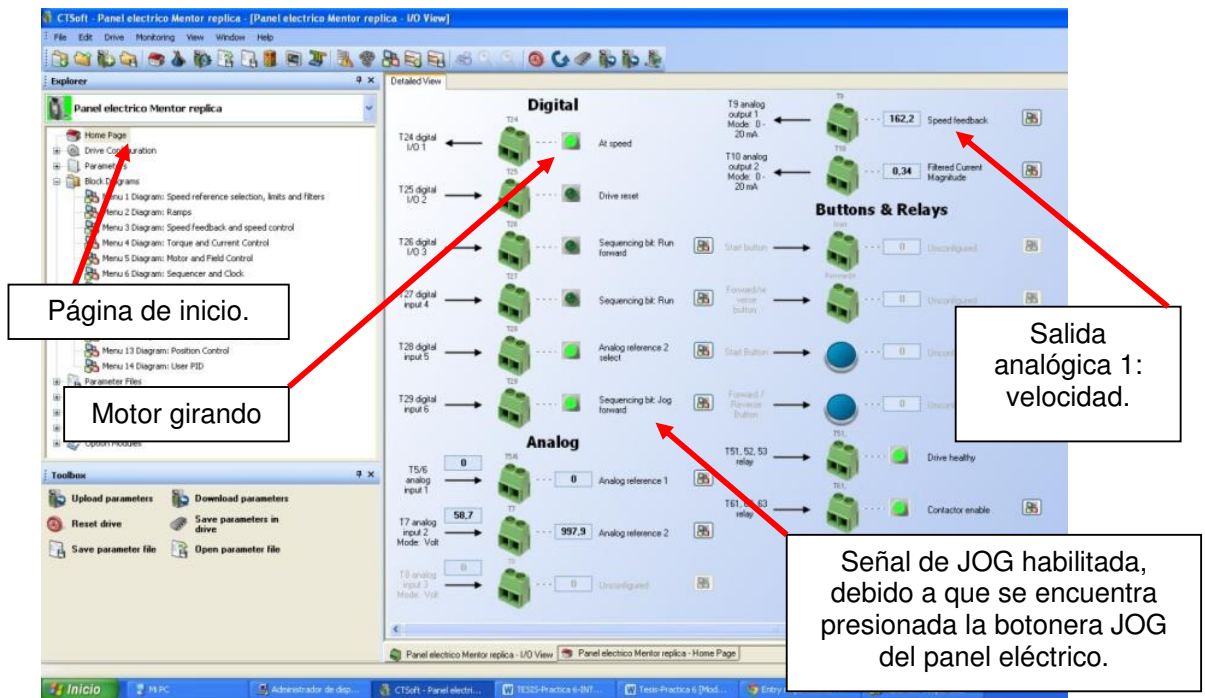


Figura 7.122: Visualización, por medio de CT-Soft, del estado de las entradas y salidas tanto digitales como analógicas del drive

7.13. Control de torque.

El control de torque de un motor DC de excitación separada consiste en mantener fija la corriente de armadura sin controlar la velocidad ante cambios en la carga mecánica acoplada al motor; el drive Mentor MP45A4 permite implementar el control de torque.

Acceder al diagrama de bloque 4 Torque and Current control y configurar los siguientes parámetros:

- 4.11 Torque mode selector: 1 Torque (torque control).
- 4.08 Torque reference: 0.00.
- 4.10 Torque offset select: ON. Habilita el offset de torque.

- 4.09 Torque offset: 9.0. Es el mínimo torque con el cual el motor puede arrancar. Depende de la inercia del sistema motor-carga. El motor se arranca acoplado al freno MV1045 pero sin carga adicional provista por el potenciómetro BRAKE FORCE. En caso de que el motor no arranque con este ajuste, aumentar el parámetro 4.09 en pasos de una unidad hasta lograr el arranque.

En la Fig. 7.123 se muestra la configuración del diagrama de bloque 4 Torque and Current control.

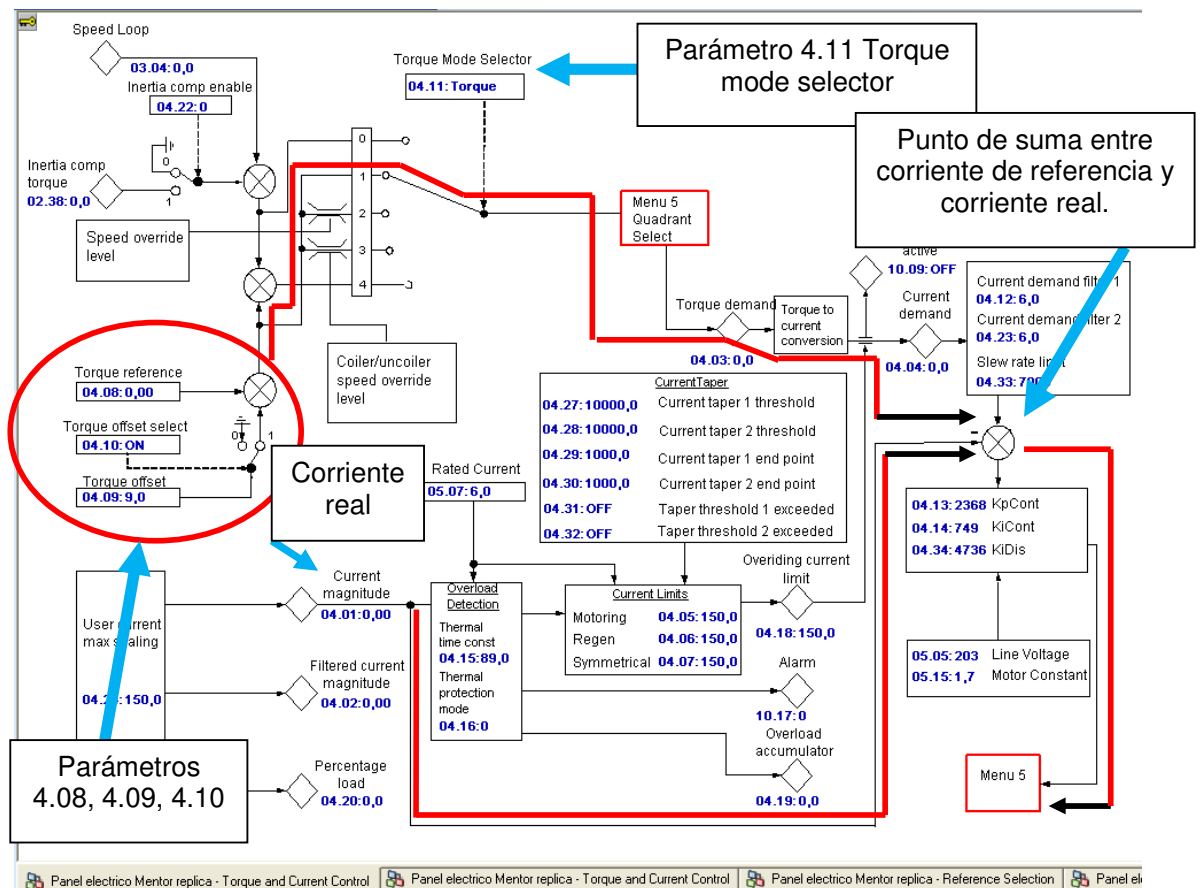


Figura 7.123: Configuración del diagrama de bloque 4 Torque and Current control para implementar el control de torque.

Confirmar que el parámetro 3.26 Speed feedback selector sea 5 Est. SPEED. Configurar el siguiente parámetro:

- 3.08 Overspeed threshold: 1200. Este parámetro limita la máxima velocidad a la que el motor puede girar.

Adquirir el voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y la corriente DC de armadura. Durante el aumento de la velocidad, visualizar el valor del parámetro 3.02 Speed Feedback que muestra el valor de velocidad del motor que el drive calcula. Luego, accionar el selector RUN FORWARD. En la Fig. 7.124 se muestra la variación de estas dos señales. Se observa que el drive genera un “trip” cuando el motor llega a 1200rpm y se desconecta del mismo para que luego el motor se detenga en rueda libre. Presionar el botón rojo de la interfaz del drive para deshacer el “trip”.

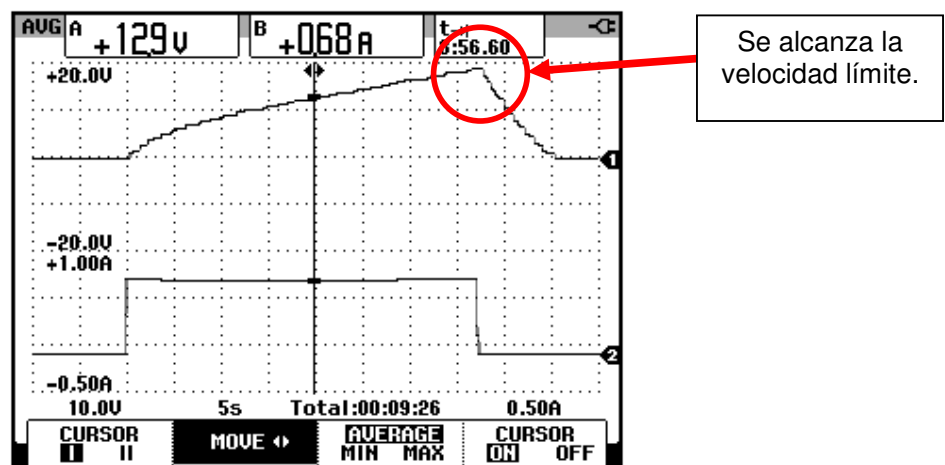
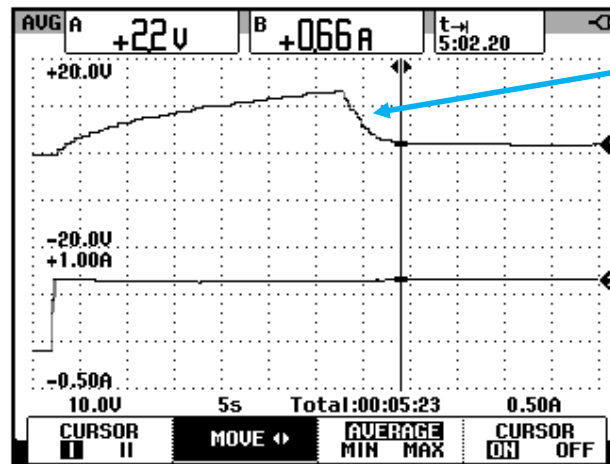


Figura 7.124: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque y observación del efecto del parámetro 3.08 Overspeed threshold.

Se observa que la velocidad aumenta sin aparente límite. Recordar del capítulo 3 que si la velocidad aumenta, se debe a que existe aceleración. Si la velocidad aumenta de forma lineal, la aceleración es constante. Si existe aceleración constante, se debe a que el torque neto en el eje del motor es también constante. En un motor eléctrico, el torque neto es debido a la resta entre el torque eléctrico inducido y el torque mecánico de oposición. Si el torque neto es diferente de cero y es positivo entonces el torque inducido es mayor que el torque mecánico. Durante la prueba previa, no se aumentó la carga mecánica por lo que el torque mecánico de oposición es constante. Si el torque mecánico y el torque neto son constantes entonces el torque eléctrico es también constante. Para que el torque eléctrico sea constante en un motor DC de excitación separada, la corriente DC de armadura debe ser constante; debido a esto, se observa que en la Fig. 7.124, la corriente de armadura es constante.

Debido a que el torque eléctrico es mayor que el torque mecánico de oposición, la velocidad del motor permanece en aumento. Para reducir el aumento de velocidad, aumentar ligeramente la carga mecánica, por medio del control de freno MV1045, hasta que la velocidad se reduzca hasta estabilizarse. Ver Fig. 7.125.



Aumento de carga mecánica y la corriente aumenta de 0.65A a 0.66A. Dicho aumento es prácticamente nulo por lo que la corriente es constante.

Figura 7.125: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque y posterior aumento de carga mecánica.

Luego, detener el motor, retirando la señal de RUN FORWARD y luego proceder a re-arrancar el motor sin retirar la carga mecánica ajustada previamente. Luego de unos instantes, aumentar el potenciómetro BRAKE FORCE hasta que el motor se detenga; observar que no existe aumento de corriente. Luego, disminuir al mínimo el potenciómetro BRAKE FORCE; luego de unos instantes, el motor gira nuevamente y acelera. Para detener el motor, retirar la señal de RUN FORWARD. Ver Fig. 1.126.

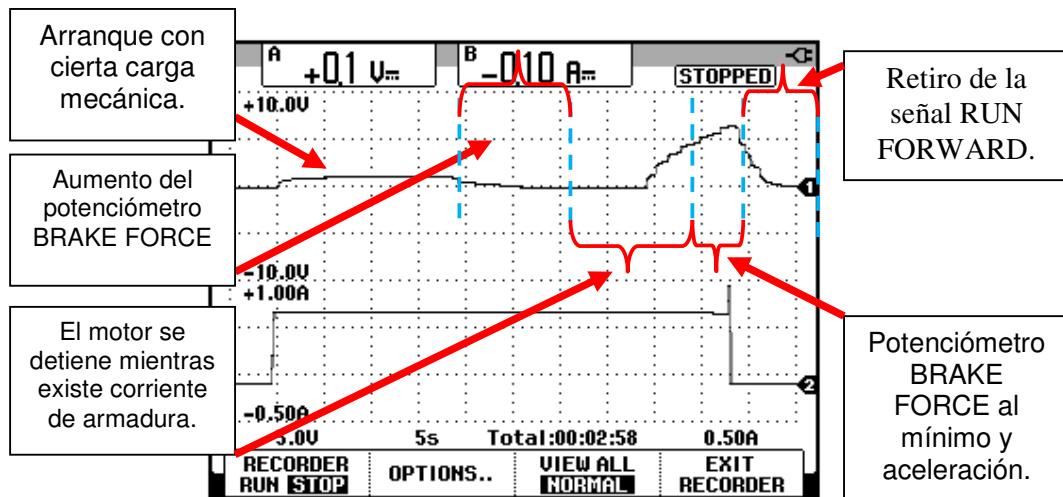


Figura 7.126: Variación de velocidad y de la corriente DC de armadura empleando el método de control de torque, posterior aumento al máximo del potenciómetro BRAKE FORCE, ajuste al mínimo del mismo y retiro de la señal RUN FORWARD.

En la Fig 6.127 se muestra un oscilograma que contiene la forma de onda del voltaje de armadura y de la corriente de armadura. El motor opera bajo carga mecánica que limita la velocidad a 164.3rpm. A diferencia del control de velocidad, en el control de torque existe mayor uniformidad en la forma de onda de la corriente de armadura. Comparar las forma de onda de la corriente de armadura de la Fig. 7.127 con la forma de onda de corriente de armadura de la Fig. 7.93. Finalmente, Desactivar las señales DRIVE ENABLE y FIELD ENABLE.

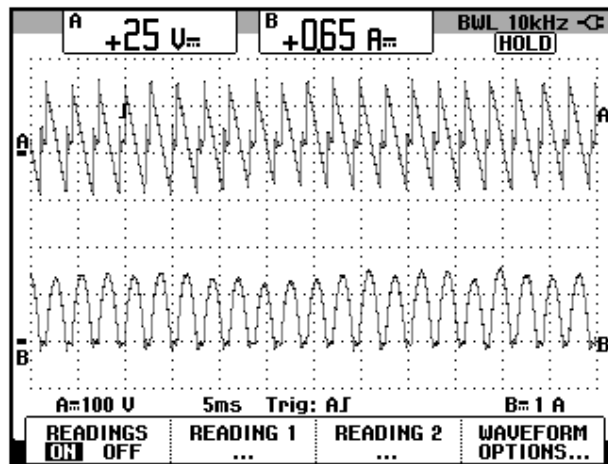


Figura 7.127: Forma de onda del voltaje y la corriente de armadura con el motor operando bajo carga mecánica que limita la velocidad a 164.3rpm.

7.14. Grabación y lectura de parámetros en tarjeta inteligente (Smartcard).

En la Fig. 7.128 se muestra la forma de ingresar la tarjeta inteligente (Smartcard) en la ranura correspondiente del drive. En primer lugar, se listan los pasos para grabar los parámetros en la Smartcard.

- Insertar la Smartcard en la ranura correspondiente del drive.
- Acceder al parámetro 11.42 Parameter cloning.
- Elegir la opción “Prog”.
- Presionar el botón “M”.
- Presionar el botón de color rojo.

Aparece el mensaje "CC" que quiere decir que se están transfiriendo a la tarjeta Smartcard los parámetros del drive.

A continuación, se listan los parámetros para transferir los parámetros de la Smartcard hacia el drive.

- En el parámetro 11.42 Parameter cloning elegir la opción READ.
- Presionar el botón "M".
- Presionar el botón rojo.

Aparece el mensaje "CC" que quiere decir que se están transfiriendo los parámetros desde la Smartcard hacia el drive.

Para guardar permanentemente estos parámetros en la memoria del drive, acceder al parámetro 11.00, elegir la opción SAVE, presionar el botón M y luego presionar el botón rojo.

Guardar el proyecto realizado en CT-Soft. Para ello, acceder al menú Drive y luego elegir la opción Save parameters in drive. Cerrar CT-Soft.



Figura 7.128: Forma de inserción de la tarjeta inteligente (Smartcard) en el drive MentorMP45A4.

Para exportar el archivo de CT-Soft, acceder al menú File, elegir la opción Export Project y guardar el archivo en una ubicación deseada. La extensión de este archivo es .prz. Aparece un mensaje de confirmación.

Ajustar el selector OFF/ON en la posición izquierda, presionar la botonera PANEL OFF y reponer el disyuntor. Desconectar el panel eléctrico de la red trifásica del Laboratorio.

CAPÍTULO 8

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS CONTROLADORES AC/AC CONMUTADOS POR LINEA EMPLEANDO EL EQUIPO EDUCATIVO INGLES MAWDSLEY'S.

En el presente capítulo se analizan las topologías de cuatro convertidores AC-DC trifásicos: Controlador AC-AC monofásico unidireccional, controlador AC-AC monofásico bidireccional, controlador AC-AC trifásico unidireccional y Controlador AC-AC trifásico bidireccional.

Se calculan figuras de mérito en las diferentes topologías empleando carga resistiva y un ángulo de disparo fijo, se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor y se obtienen las formas de onda de voltaje ánodo-cátodo y corriente de los semiconductores empleados en cada topología para una carga resistiva-inductiva y un ángulo de disparo fijo. En la última topología se emplea el motor de inducción MV1009 como carga.

8.1. Listado de equipos a emplearse, procedimientos de uso del drive y conexiones entre la carga y el drive.

8.1.1. Listado de equipos a emplearse

Los equipos e instrumentos a emplearse en la práctica se listan a continuación.

- Drive Mawdsley's
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Analizador de energía FLUKE 434 o 435
- Multímetro FLUKE 87V
- Banco de resistencias TERCO MV 1100
- Banco de inductores TERCO MV1101
- Interruptor TERCO MV 1500
- Cables de tipo banana.
- Motor de inducción MV1009

8.1.2. Procedimientos de uso del drive

8.1.2.1. Conexión de instrumentos de medición

- Considerar que en la terminal 1, el voltaje es mayor que en la terminal 6 y que la corriente circula desde la terminal 1 a la carga y de esta, regresa al drive por la terminal 6.
- Con respecto a los oscilogramas de voltaje y corriente y análisis de armónicos, conectar la punta de prueba de voltaje

en las terminales 1 y 6 del drive y la punta de prueba de corriente considerando la señal que indica el sentido de la corriente; es necesario calibrar la punta de corriente a través de su perilla ZERO.

8.1.2.2. Energización del drive

- Verificar que todos los breakers de la Mawdsley's estén repuestos (abiertos).
- Conectar el convertidor de potencia Mawdsley's a la red trifásica del Laboratorio.
- Verificar que la lámpara de ENCENDIDO, lo esté.

8.1.2.3. Energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.
- Fijar positivamente (+) el selector REFERENCE POLARITY.
- Accionar el breaker del transformador trifásico.
- Accionar el breaker S superior.
- Accionar el breaker S inferior.
- Accionar el breaker DC de la carga.

8.1.2.4. Des-energización del circuito de fuerza

- Fijar el potenciómetro de REFERENCIA en la posición mínima, es decir, en cero.

- Reponer el breaker DC de la carga.
- Reponer el breaker S superior.
- Reponer el breaker S inferior.
- Reponer el breaker del transformador trifásico.

Al realizar este procedimiento es necesario medir el voltaje de referencia, es decir el voltaje entre las terminales T1 y CONTROL COMMON, en caso de que el ángulo de disparo sea el mismo para la siguiente variante del experimento y evitar su reajuste a través del osciloscopio.

8.1.3. Conexiones eléctricas entre la carga y el drive.

8.1.3.1. Carga monofásica resistiva

En la Fig. 8.1 se detallan las conexiones respectivas.

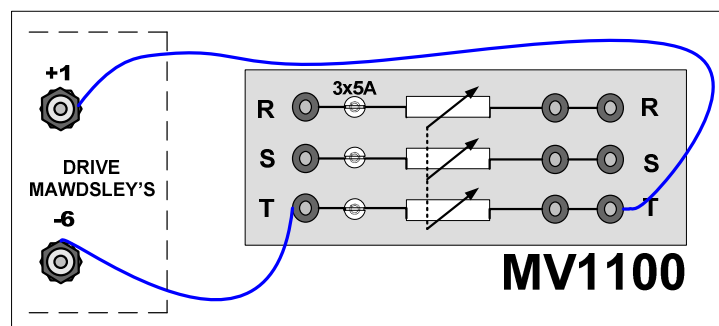


Figura 8.1: Conexión monofásica del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's

8.1.3.2. Carga monofásica resistiva-inductiva

En la Fig. 8.2 se detallan las conexiones respectivas.

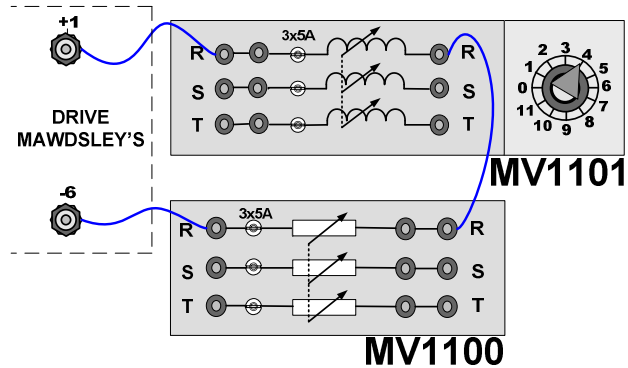


Figura 8.2 Conexión monofásica del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's

8.1.3.3. Carga trifásica resistiva

En la Fig. 8.3 se detallan las conexiones respectivas.

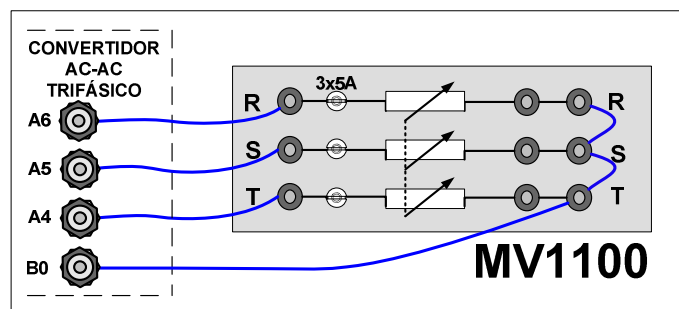


Figura 8.3: Conexión trifásica del banco de resistores hacia el drive Mawdsley's

8.1.3.4. Carga trifásica resistiva-inductiva

En la Fig. 8.4 se detallan las conexiones respectivas.

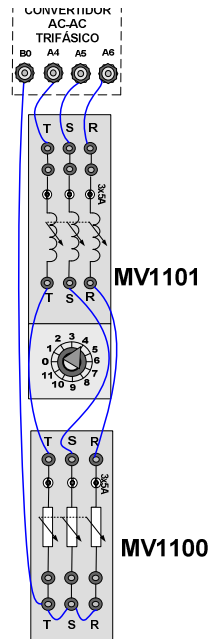


Figura 8.4 Conexión trifásica del banco de resistores en serie con el banco de inductores hacia el drive Mawdsley's

NOTA: Para relacionar las terminales A4, A5 y A6 del convertidor AC-AC trifásico de la Fig. 8.3, con el banco MV1100, analizar las conexiones del circuito de fuerza del convertidor AC-AC analizado en un experimento dado.

8.2. Controlador AC-AC monofásico unidireccional

En esta sección se desarrolla el primer experimento de la práctica.

8.2.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un convertidor AC-AC monofásico unidireccional observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

8.2.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del convertidor AC-AC monofásico unidireccional se muestra en la Fig. 8.5. Las conexiones del secundario del transformador monofásico, ubicado en el panel frontal inferior, se muestran en la Fig. 8.6. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 8.7.

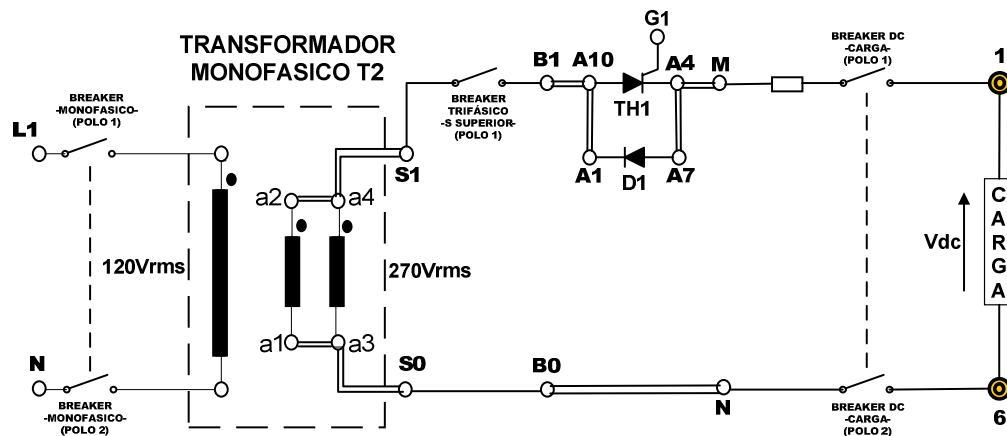


Figura 8.5: Circuito de potencia del controlador AC-AC monofásico unidireccional

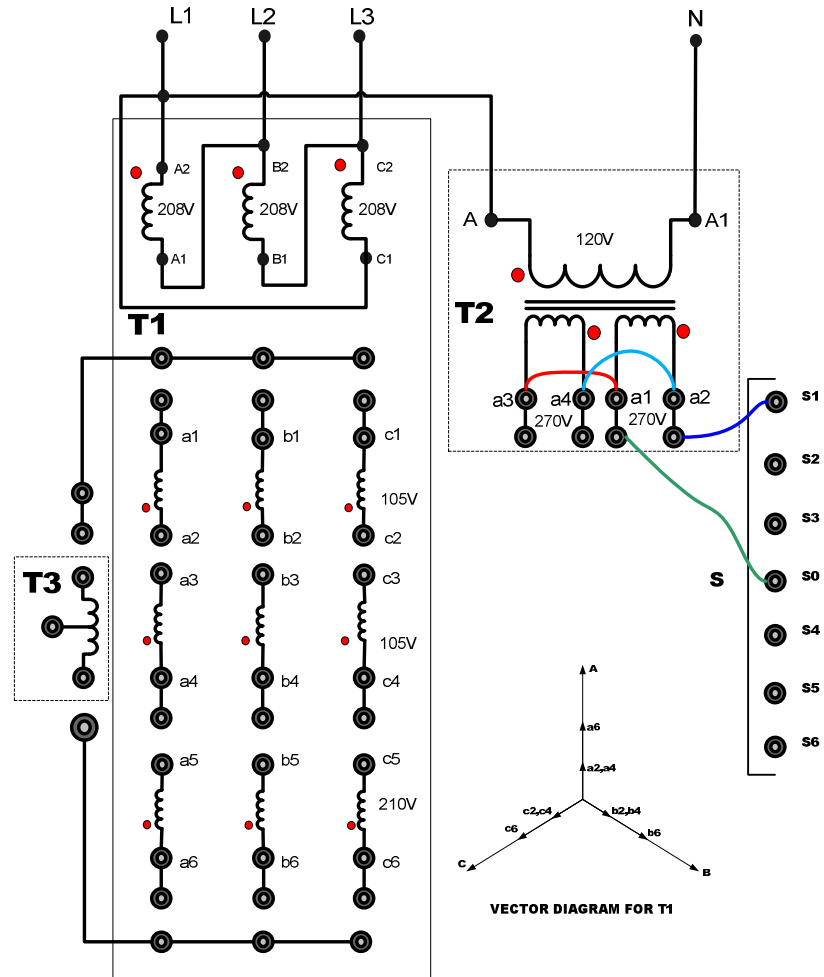


Figura 8.6: Conexiones del secundario del transformador monofásico en el controlador AC-AC monofásico unidireccional y bidireccional

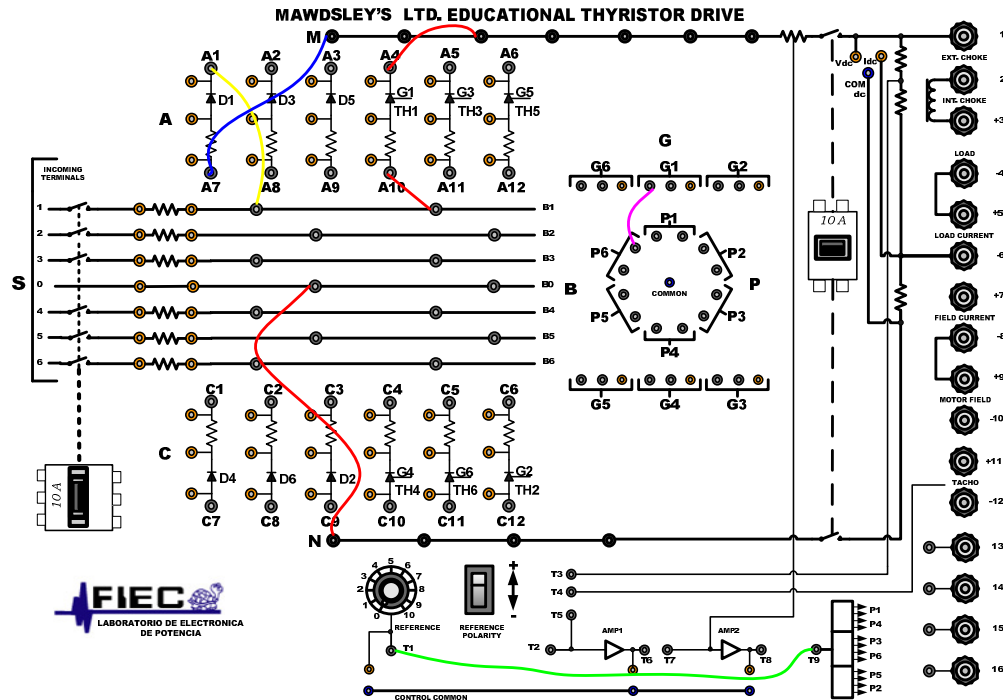


Figura 8.7: Conexiones del controlador AC-AC monofásico unidireccional en el panel frontal del drive Mawdsley's

8.2.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=75^\circ$. En el controlador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir del cruce por cero del voltaje en las terminales S1-S0, el cual corresponde al arreglo paralelo de las bobinas a2-a1 y a4-a3. En la Fig. 8.8, se muestra la medición del intervalo correspondiente a aproximadamente 75° , el cual es de 3.47ms. En el oscilograma de la Fig. 8.9, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.10, se muestra la medición eficaz

del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.11, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida. El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=75^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 18.86 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig. 8.12.

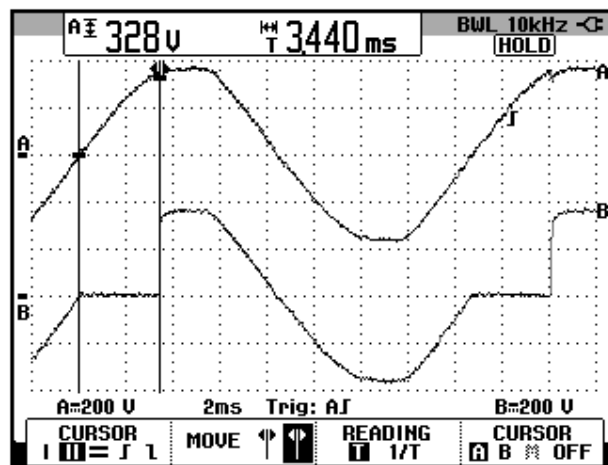


Figura 8.8: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=75^\circ$ en el controlador AC-AC monofásico unidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout)

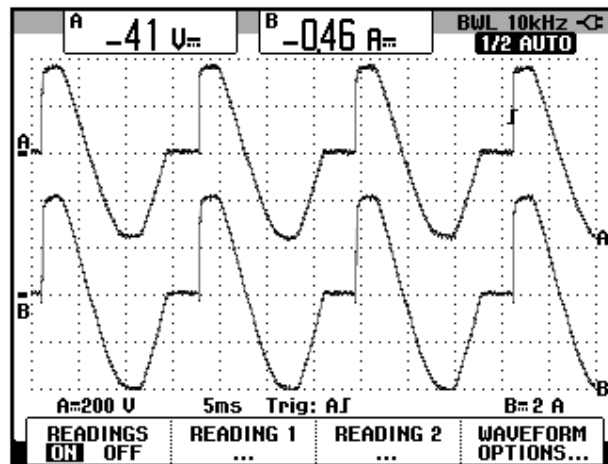


Figura 8.9: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

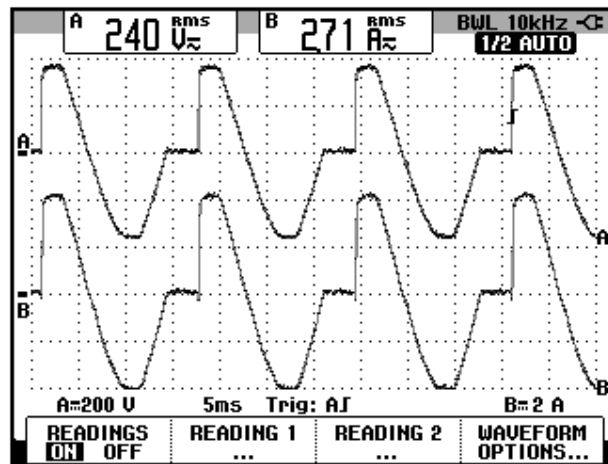


Figura 8.10: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

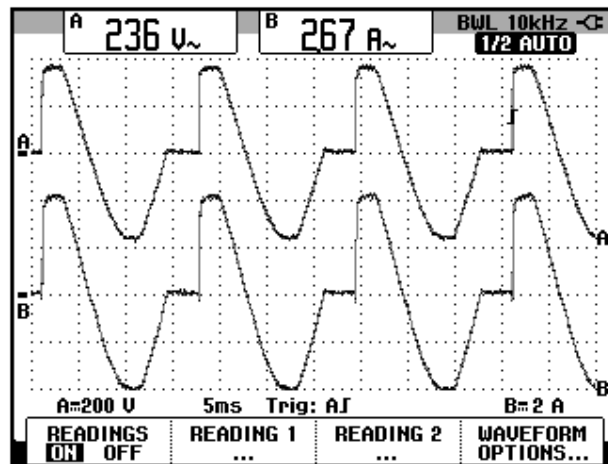


Figura 8.11: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

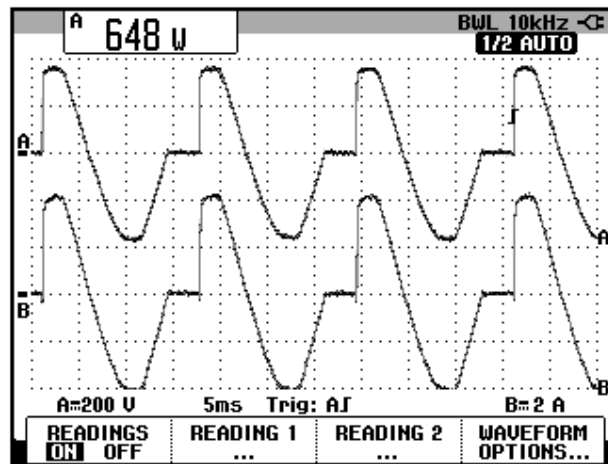


Figura 8.12: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out}(AC)$) en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

8.2.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

8.2.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el analizador de energía de la misma forma que se muestra en la sección 3.2.4.1. Recordar que el análisis de armónicos se realiza a la entrada del controlador AC-AC. En el controlador analizado, se realizará el análisis en el secundario del transformador monofásico.

8.2.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

El voltaje y la corriente de entrada al convertidor se muestra en la Fig. 8.13.

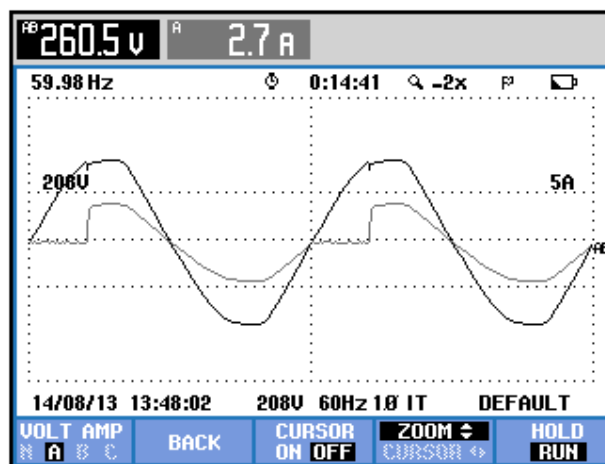


Figura 8.13 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional empleando el analizador de energía Fluke 434

8.2.4.3. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

Se puede observar en la Fig. 8.14 un listado de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase, tanto del voltaje como de la corriente de entrada al convertidor AC-AC.

TABLA ARMÓNICOS	
0:00:14	
Volt	AB
THD%f	4.1
H3%f	3.0
H5%f	2.2
H7%f	0.8
Amp	A
H3%f	19.5
H5%f	4.6
H7%f	3.9
14/08/13 13:52:09 208V 60Hz 1Ø IT DEFAULT	
U A	HARMONIC GRAPH
U&A	TREND
	HOLD RUN

Figura 8.14 THD y armónicos impares del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 8.15. El valor promedio de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 8.16. Los parámetros de la armónica fundamental de la corriente, se muestran en la Fig. 8.17. Los parámetros de la segunda armónica, se muestran en la Fig. 8.18. Los parámetros de la tercera armónica, se muestran en la Fig. 8.19. Los parámetros de la cuarta armónica, se muestran en la Fig. 8.20. En la Tabla 8.1, se resumen los resultados obtenidos.

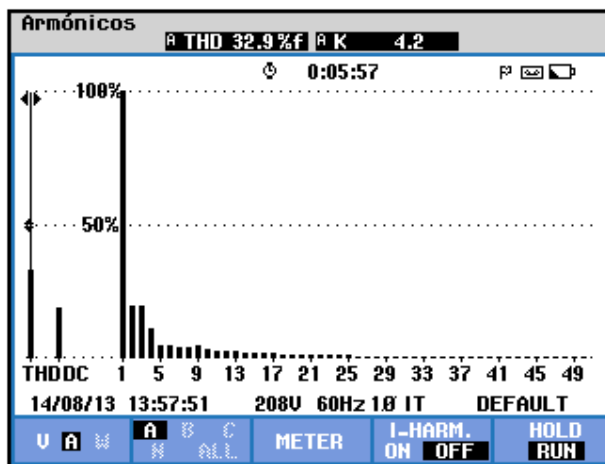


Figura 8.15 Medición de THD de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

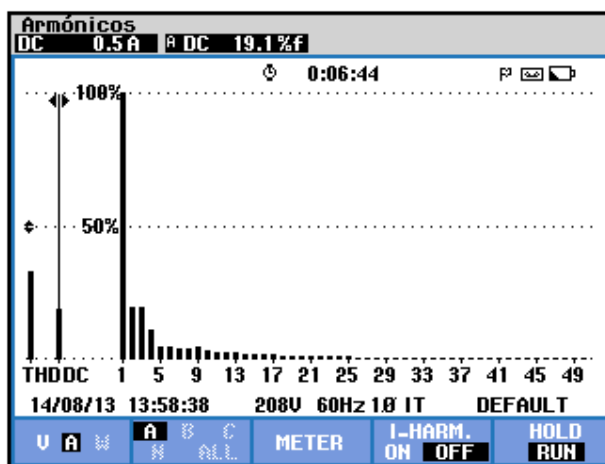


Figura 8.16 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

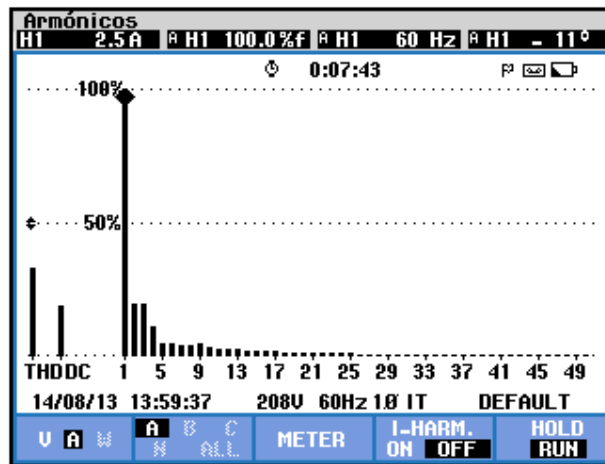


Figura 8.17 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

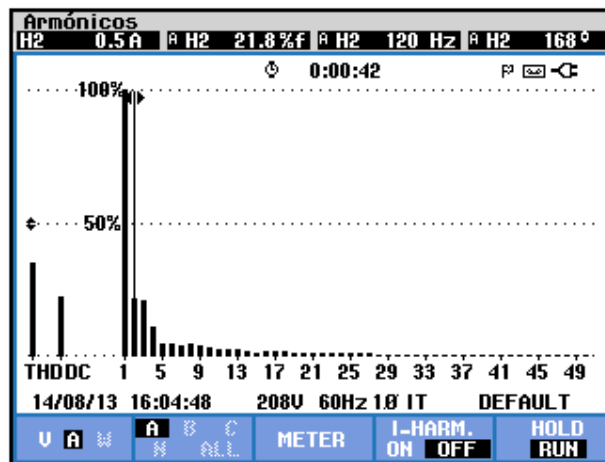


Figura 8.18 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

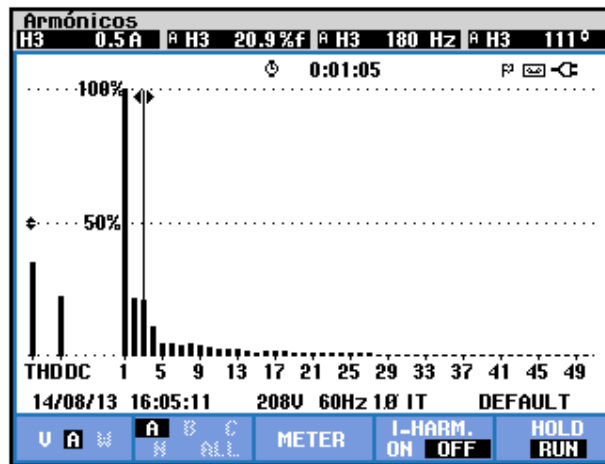


Figura 8.19 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

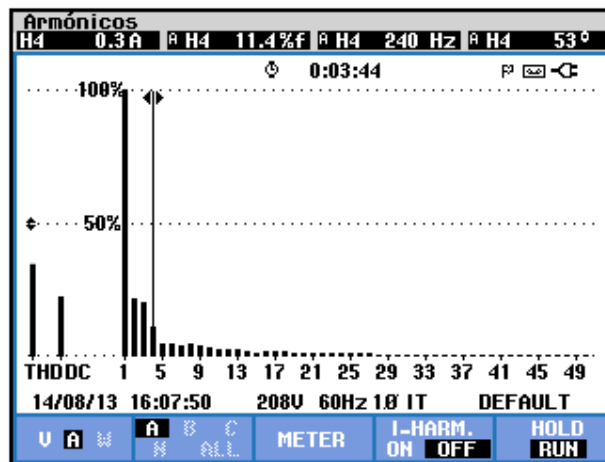


Figura 8.20 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

THD [%]	I_{DC} [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [$^\circ$]
32.9	0.5	1	2.5	-11
		2	0.5	168
		3	0.5	111
		4	0.3	53

Tabla 8.1 Resultados experimentales para los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

El desfase entre el voltaje y la corriente de entrada al controlador analizado, así como el valor eficaz de la armónica fundamental del voltaje y la corriente de entrada se muestra en la Fig. 8.21. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF** por fase. Estos parámetros se muestran en la Fig. 8.22:

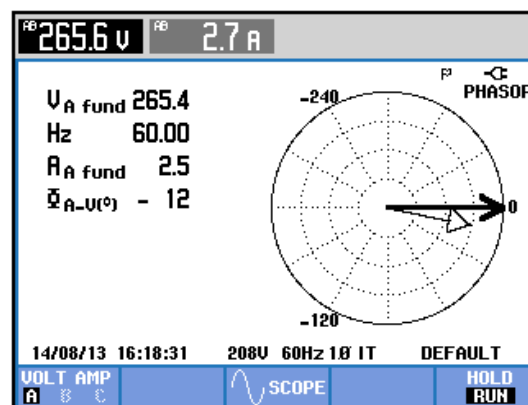


Figura 8.21 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

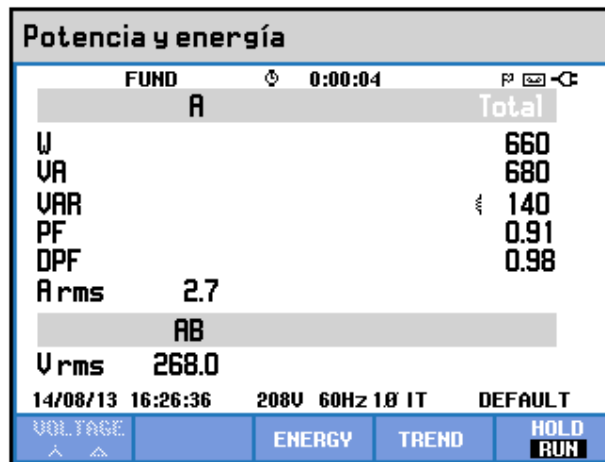


Figura 8.22 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF al controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

8.2.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 11 correspondiente a 110 mH. Mantener el ángulo de disparo en 75° .

En el oscilograma de la Fig. 8.23, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida.

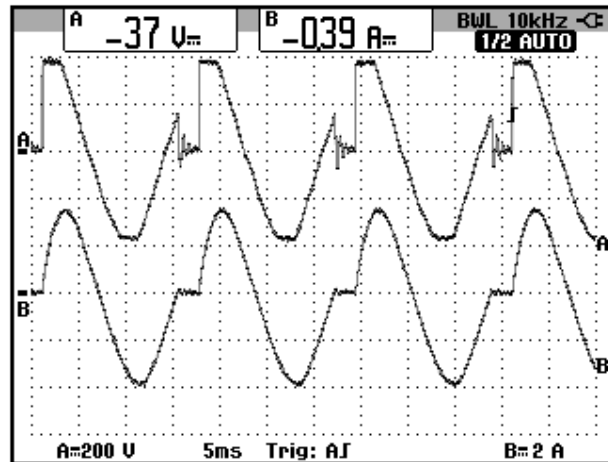


Figura 8.23 Oscilograma y mediciones promedio en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: vout, CH2: iout).

8.2.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

En el oscilograma de la Fig. 8.24, se muestra el voltaje de alimentación al controlador AC-AC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.25, se muestra el voltaje en las terminales S1 y S0 y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.26, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.27, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.28, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de D1. En el oscilograma de la Fig. 8.29, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1.

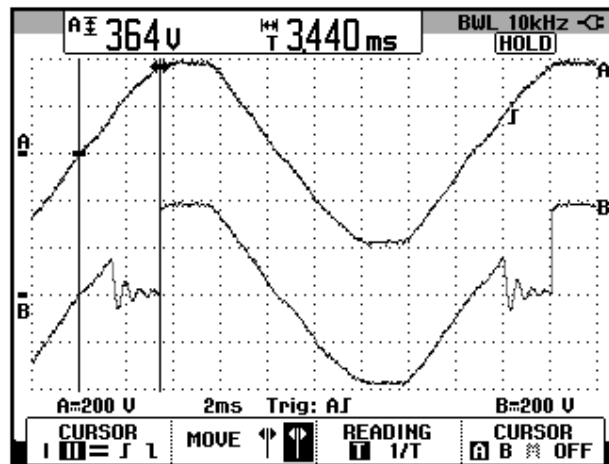


Figura 8.24 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vout).

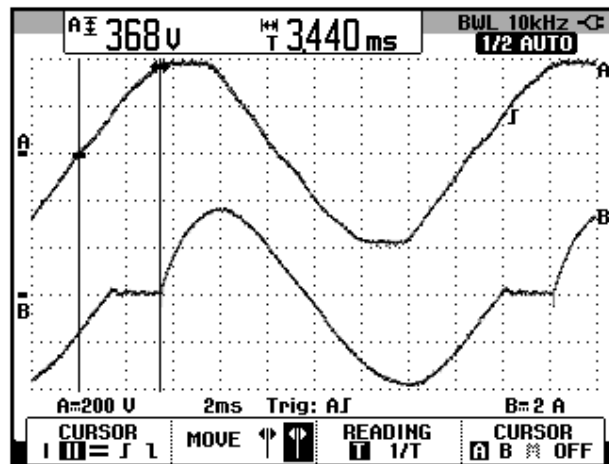


Figura 8.25 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout).

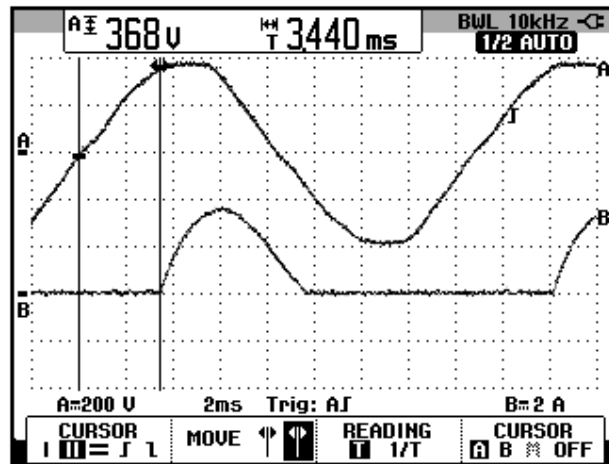


Figura 8.26 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).

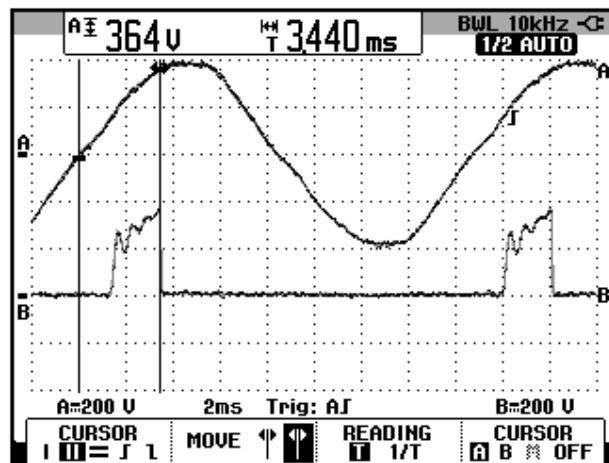


Figura 8.27 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

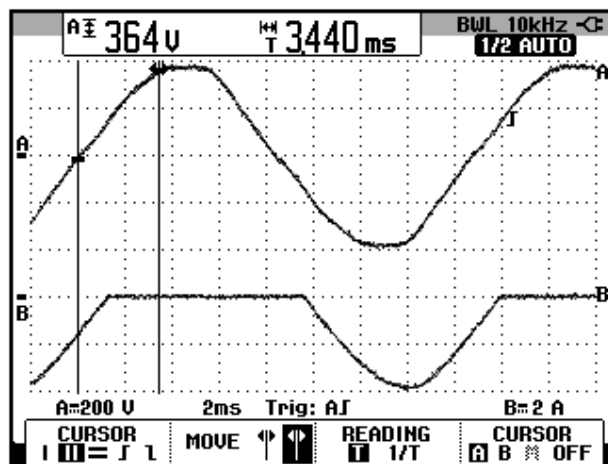


Figura 8.28 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1).

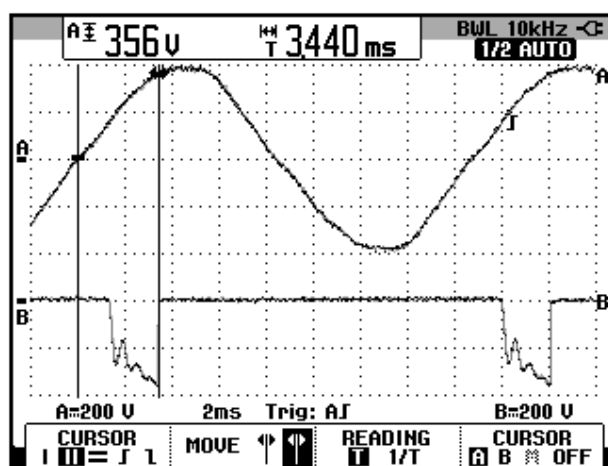


Figura 8.29 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1 en el controlador AC-AC monofásico unidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1).

8.3. Controlador AC-AC monofásico bidireccional

En esta sección se desarrolla el segundo experimento de la práctica.

8.3.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un controlador AC-AC monofásico bidireccional observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

8.3.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del controlador AC-AC monofásico bidireccional se muestra en la Fig. 8.5. Mantener las conexiones del secundario del transformador monofásico, las cuales se muestran en la Fig. 8.6.

Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 8.31.

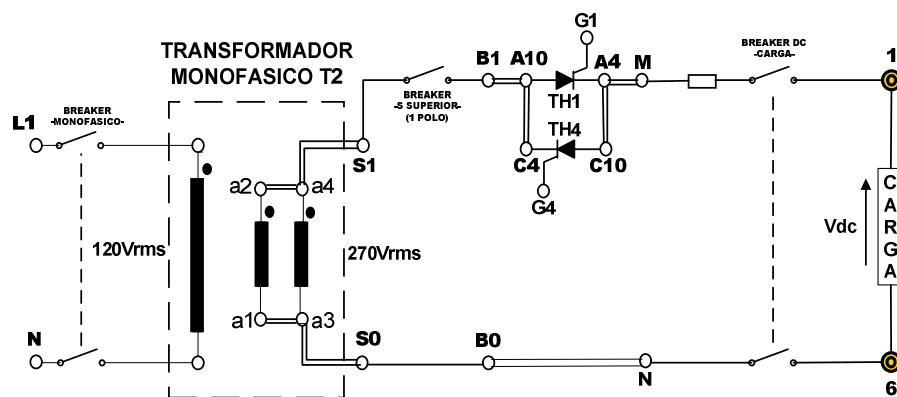


Figura 8.30 Circuito de potencia del controlador AC-AC monofásico bidireccional

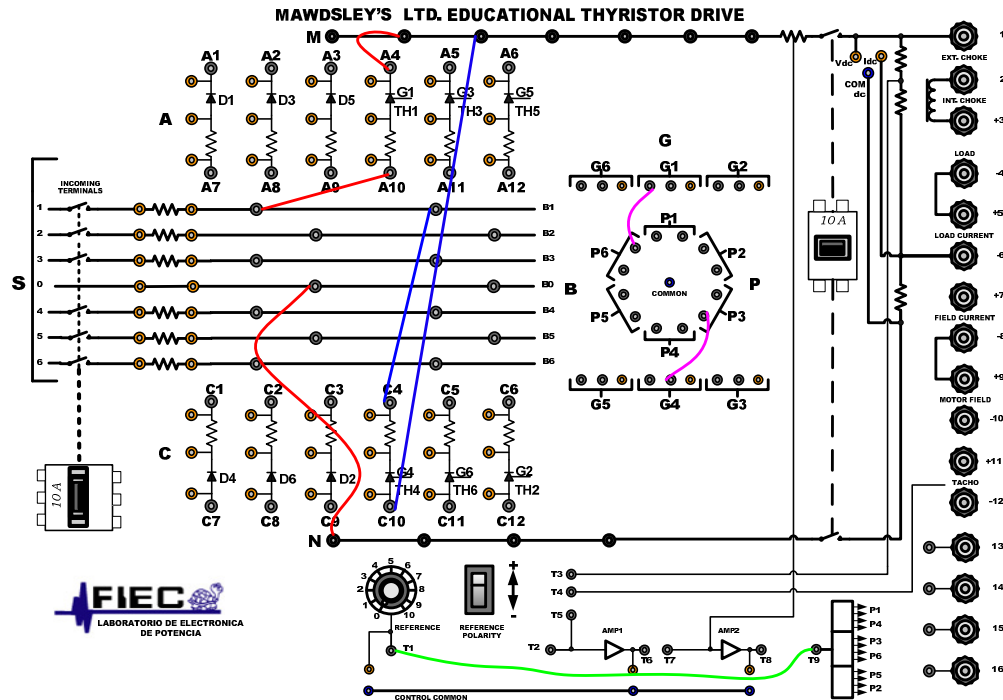


Figura 8.31: Conexiones del controlador AC-AC monofásico bidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's

8.3.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Ajustar la carga resistiva con $R=100\Omega$ y fijar el ángulo de disparo en $\alpha=75^\circ$. En el controlador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir del cruce por cero del voltaje en las terminales S1-S0, el cual corresponde al arreglo paralelo de las bobinas a2-a1 y a4-a3. En la Fig. 8.32, se muestra la medición del intervalo correspondiente a aproximadamente 75° , el cual es de 3.47ms. En el oscilograma de la Fig. 8.33, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.34, se muestra la medición eficaz

del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.35, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

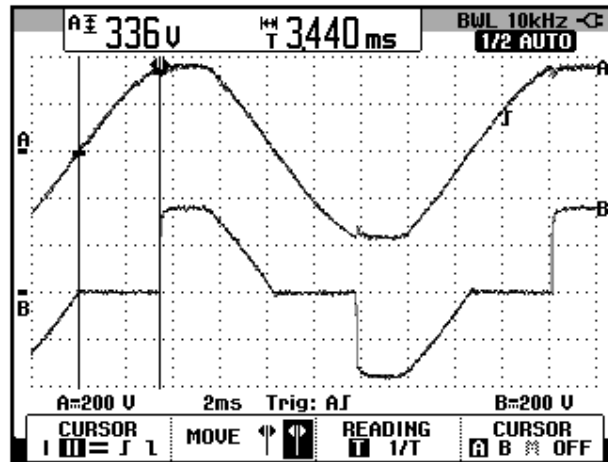


Figura 8.32: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=75^\circ$ en el controlador AC-AC monofásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout)

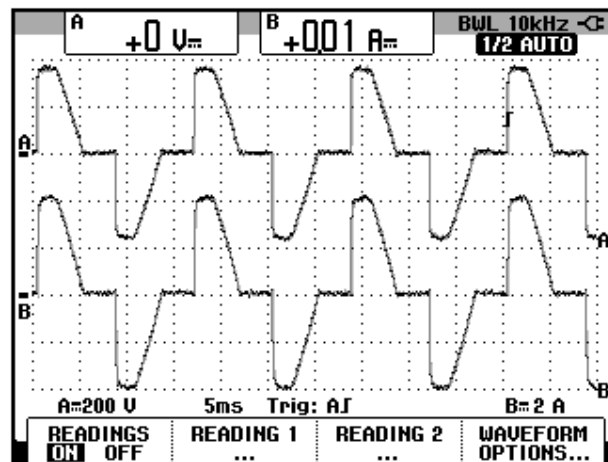


Figura 8.33: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

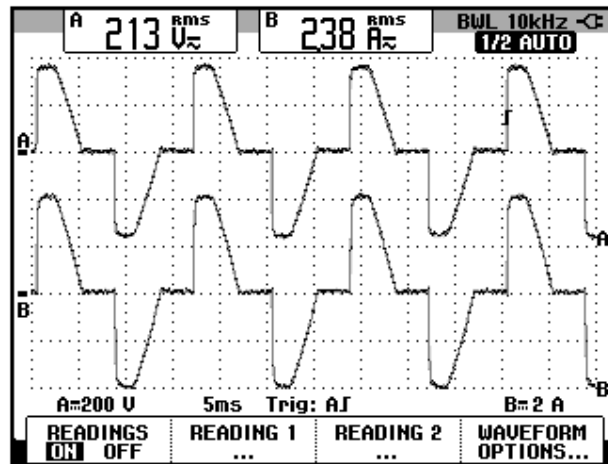


Figura 8.34: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

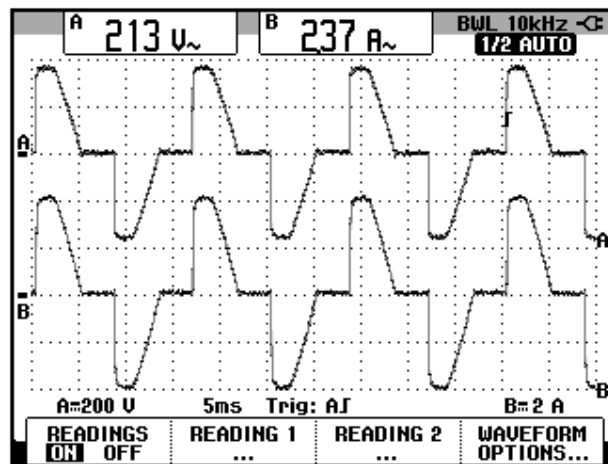


Figura 8.35: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=75^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 0 \text{ [W]}$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la

Fig. 8.36:

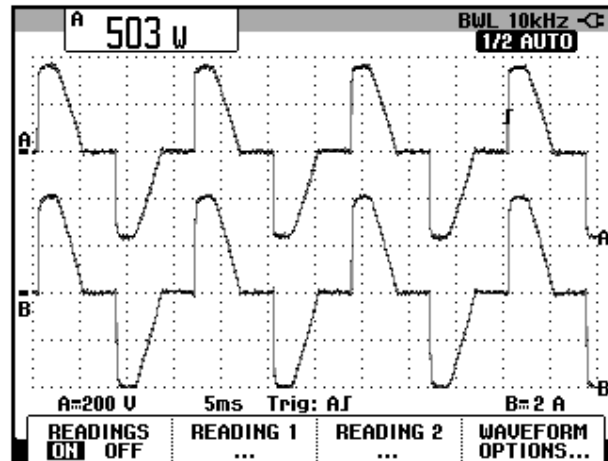


Figura 8.36: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out}).

8.3.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

8.3.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el analizador de energía de la misma forma que se muestra en la sección 2.2.4.1. Recordar que el análisis de armónicos se realiza a la entrada del controlador AC-AC. En el controlador analizado, se realizará el análisis en el secundario del transformador monofásico.

8.3.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada al controlador empleando el analizador de energía Fluke 434

El voltaje y la corriente de entrada al convertidor se muestra en la Fig. 8.37.

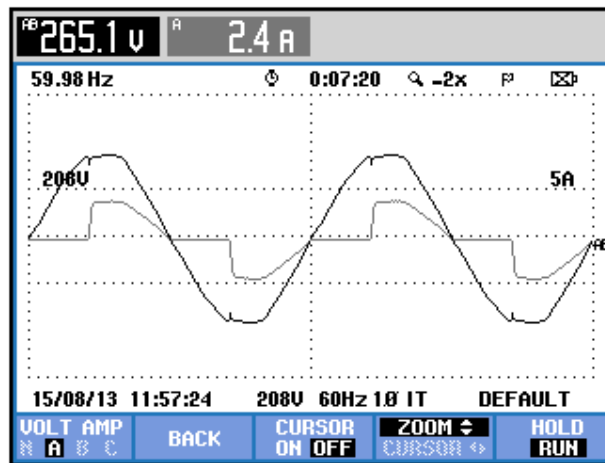


Figura 8.37 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional empleando el analizador de energía Fluke 434

Se puede observar en la Fig. 8.38 un listado de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase, tanto del voltaje como de la corriente de entrada al convertidor AC-AC. La medición de THD de la corriente de entrada al controlador, se muestra en la Fig. 8.39. El valor promedio de la corriente, se muestra en la Fig. 8.40. Los parámetros de la armónica fundamental de la corriente, se muestran en la Fig. 8.41. Los parámetros de la segunda armónica, se muestran en la Fig. 8.42. Los parámetros de la tercera armónica, se muestran en la Fig.

8.43. Los parámetros de la cuarta armónica, se muestran en la Fig. 8.44. En la Tabla 8.2, se resumen los resultados obtenidos.

TABLA ARMÓNICOS	
Volt	AB
THD%f	3.4
H3%f	2.1
H5%f	2.0
H7%f	1.0
Amp	A
H3%f	42.7
H5%f	14.2
H7%f	10.3
15/08/13 12:01:41 208V 60Hz 1Ø IT DEFAULT	
U A W	HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN
U&A	

Figura 8.38 THD y armónicos impares del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

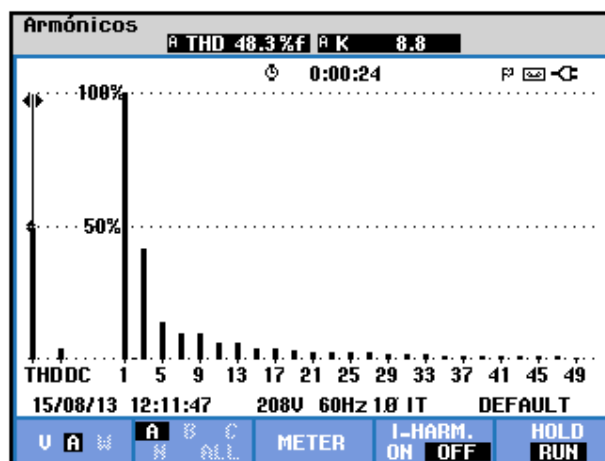


Figura 8.39 Medición de THD de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

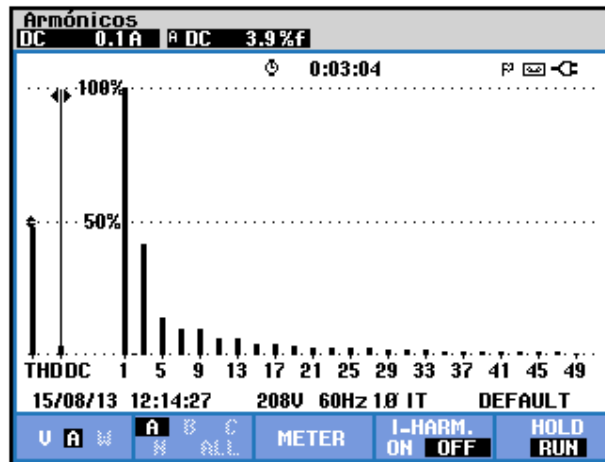


Figura 8.40 Valor promedio de la corriente de entrada de la fase A al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

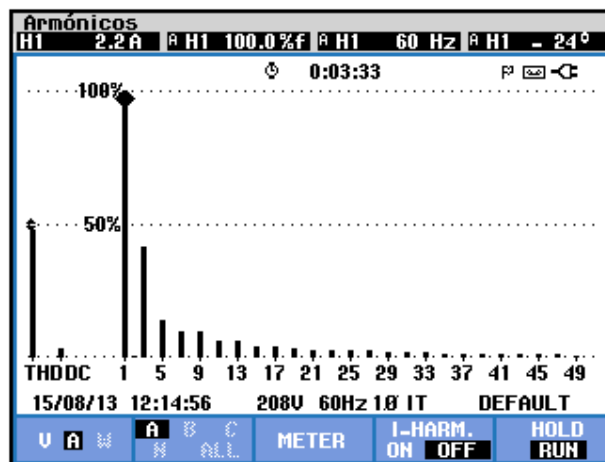


Figura 8.41 Parámetros de la componente fundamental de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

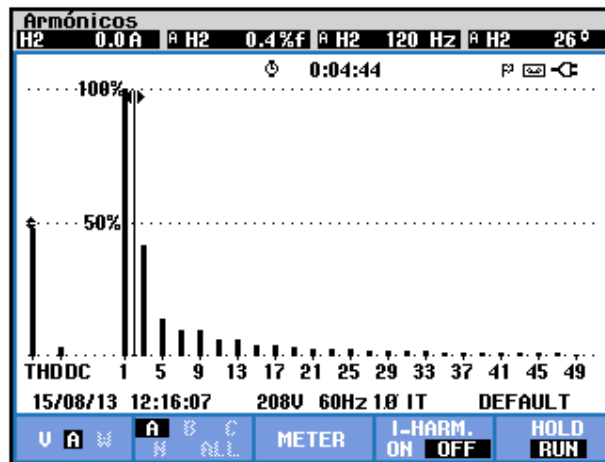


Figura 8.42 Parámetros de la segunda armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

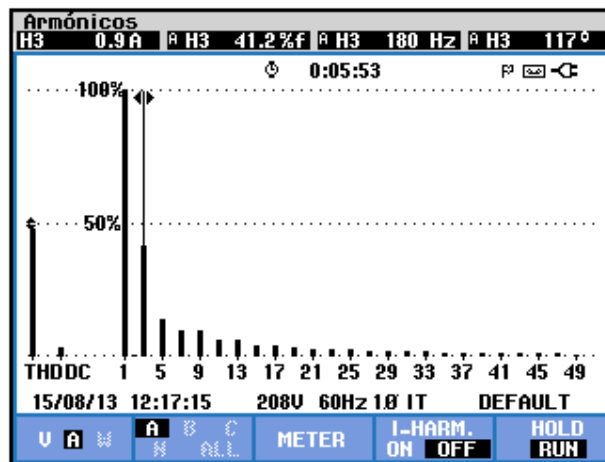


Figura 8.43 Parámetros de la tercera armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

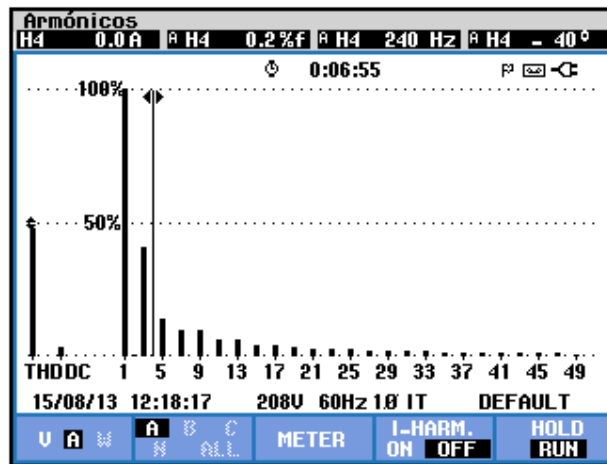


Figura 8.44 Parámetros de la cuarta armónica de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

THD [%]	I_{DC} [V]	n	C_n [V_{RMS}]	φ_n [$^\circ$]
48.3	0.1	1	2.2	-24
		2	0	26
		3	0.9	117
		4	0	-40

Tabla 8.2 Resultados experimentales para los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^\circ$

El desfase entre el voltaje y la corriente de entrada al controlador analizado, así como el valor eficaz de la armónica fundamental del voltaje y la corriente de entrada se muestra en la Fig. 8.45. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF** por fase. Estos parámetros se muestran en la Fig. 8.46.

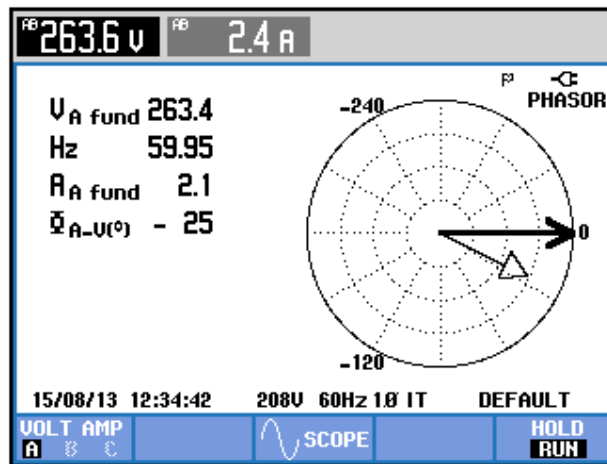


Figura 8.45 Mediciones fasoriales y eficaces entre las componentes fundamentales del voltaje y la corriente de entrada al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^{\circ}$

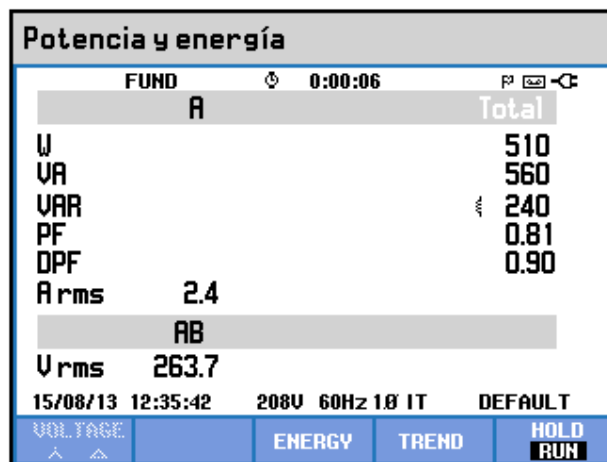


Figura 8.46 Comprobación del factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF al controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha=75^{\circ}$

8.3.5. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Fijar la resistencia T del banco de resistores MV1100 en 100Ω y emplear el inductor R del banco de inductores MV1101 en el paso 11 correspondiente a 110 mH.

En el oscilograma de la Fig. 8.47, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.48, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida.

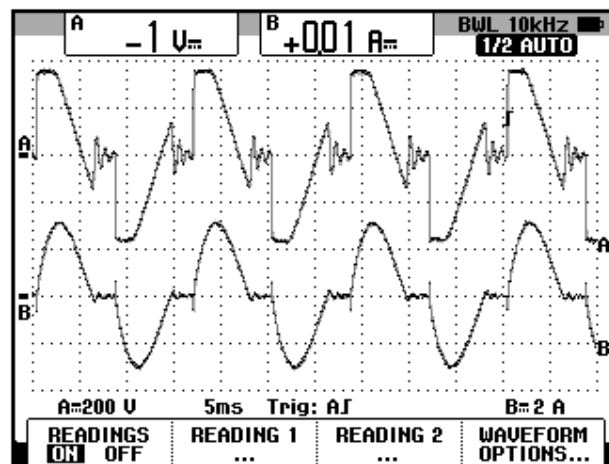


Figura 8.47 Oscilograma y mediciones promedio en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

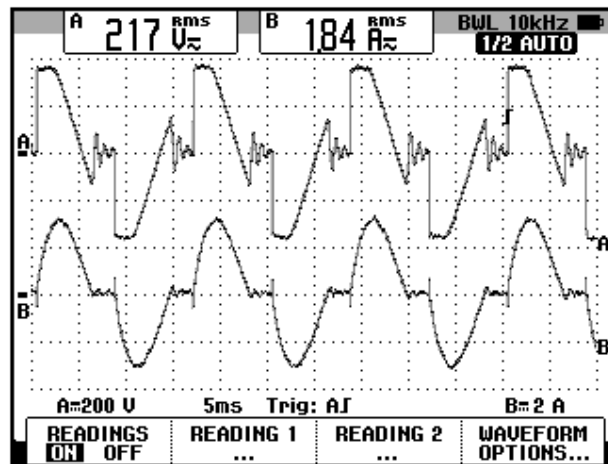


Figura 8.48 Oscilograma y mediciones eficaces en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout).

8.3.6. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

En el oscilograma de la Fig. 8.49, se muestra el voltaje de alimentación al controlador AC-AC analizado y el voltaje de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.50, se muestra el voltaje en las terminales S1 y S0 y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.51, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.52, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.53, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 8.54, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4.

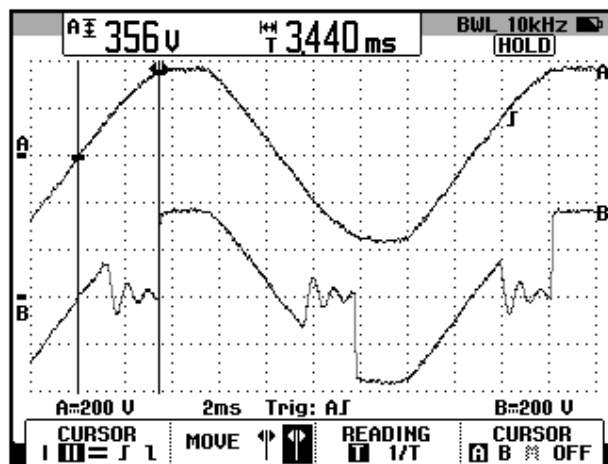


Figura 8.49 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha = 75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vout).

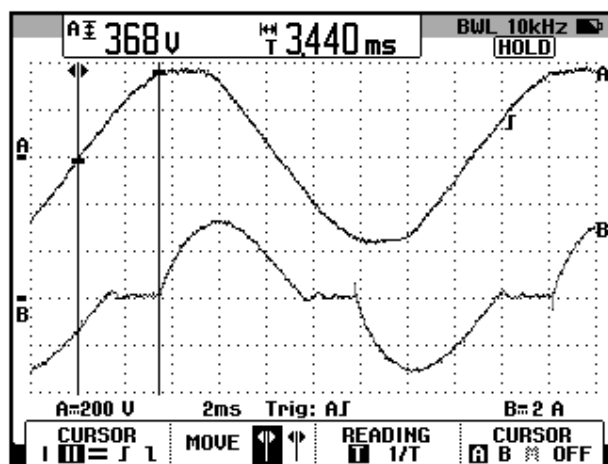


Figura 8.50 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga R y $\alpha = 75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout).

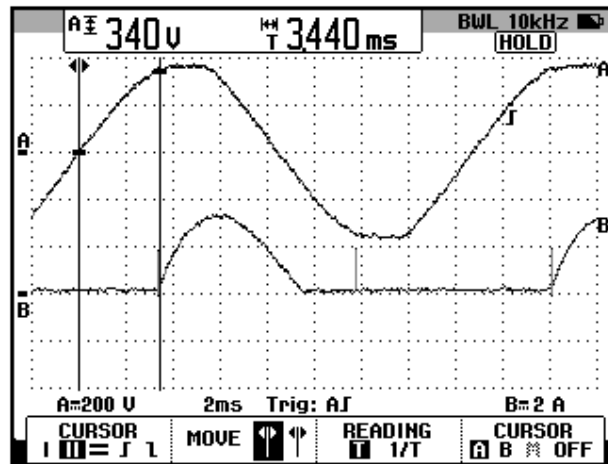


Figura 8.51 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).

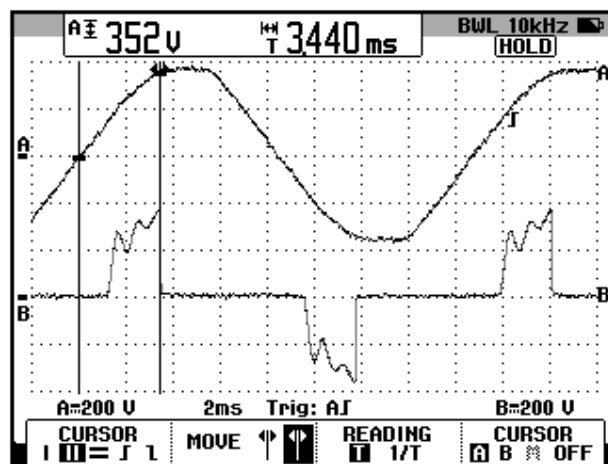


Figura 8.52 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

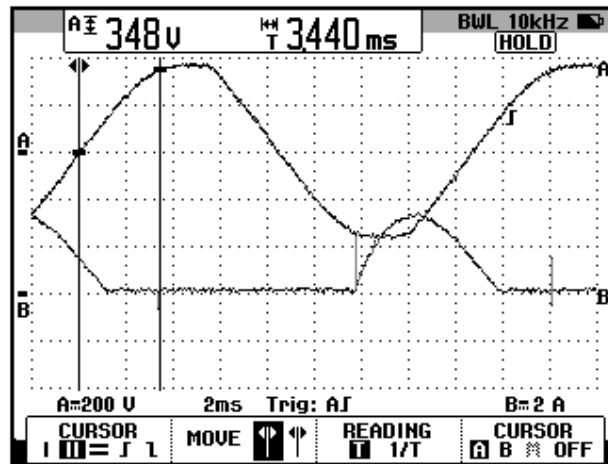


Figura 8.53 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith4).

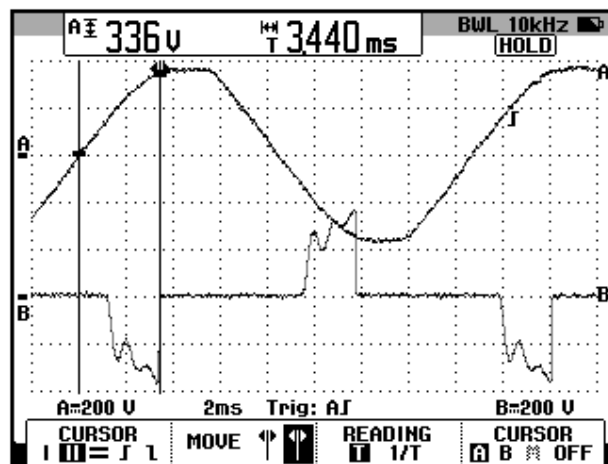


Figura 8.54 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4 en el controlador AC-AC monofásico bidireccional con carga RL y $\alpha=75^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth4)

8.4. Controlador AC-AC trifásico unidireccional

En esta sección se desarrolla el tercer experimento de la práctica.

8.4.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un controlador AC-AC trifásico unidireccional observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

8.4.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del controlador AC-AC trifásico unidireccional se muestra en la Fig. 8.55. La conexión de la carga trifásica se explica en la sección 8.4.3. Las conexiones del secundario del transformador trifásico, se muestran en la Fig. 8.56. Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 8.57.

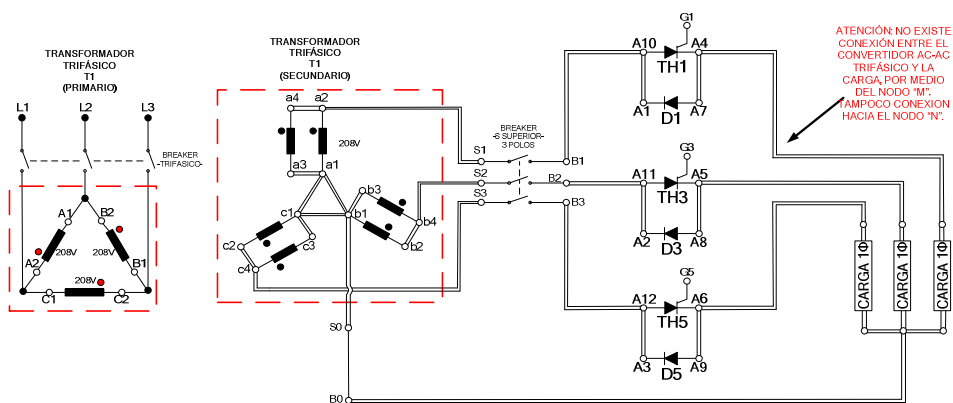


Figura 8.55 Circuito de potencia del controlador AC-AC trifásico unidireccional

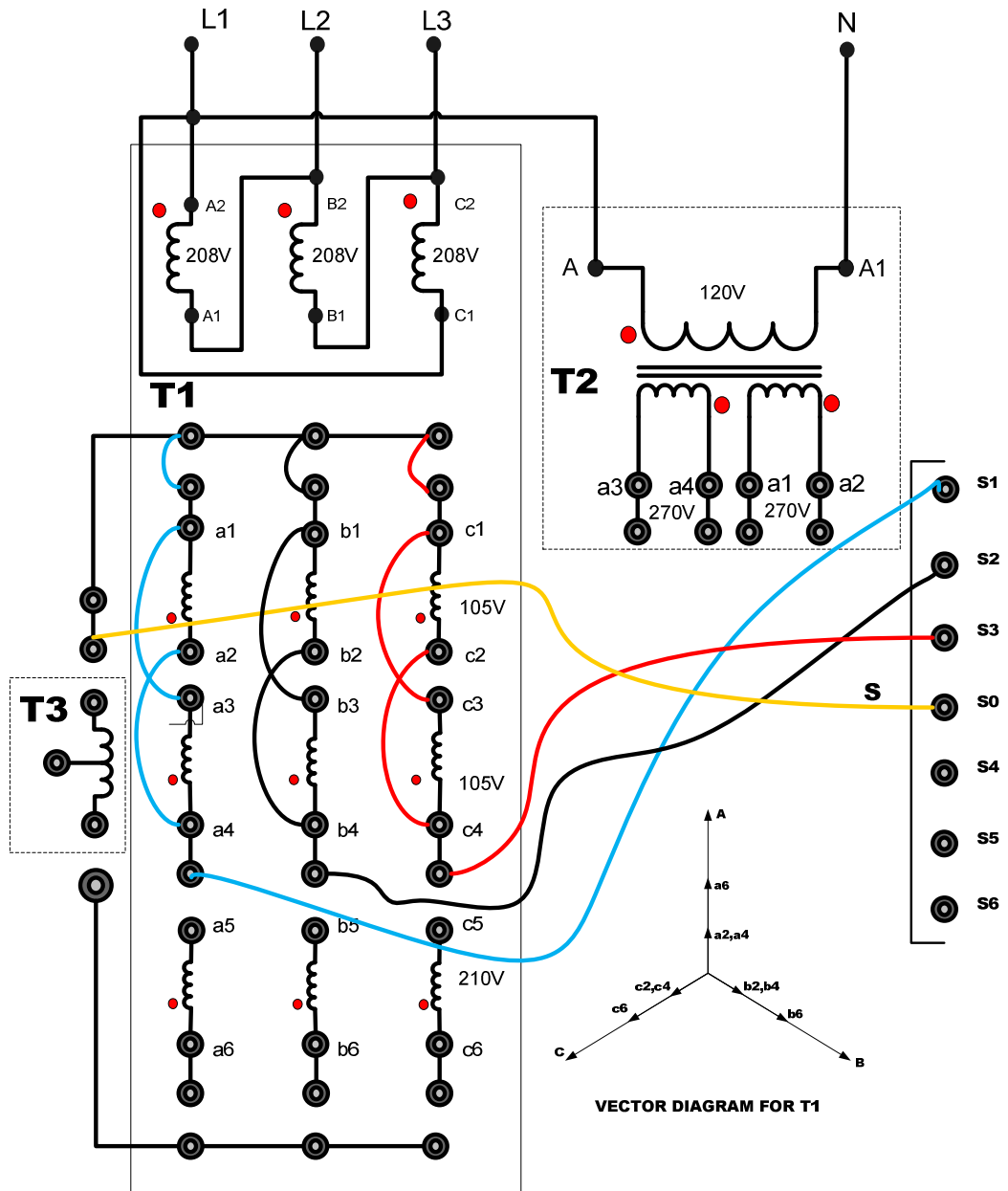


Figura 8.56 Conexiones del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional y bidireccional

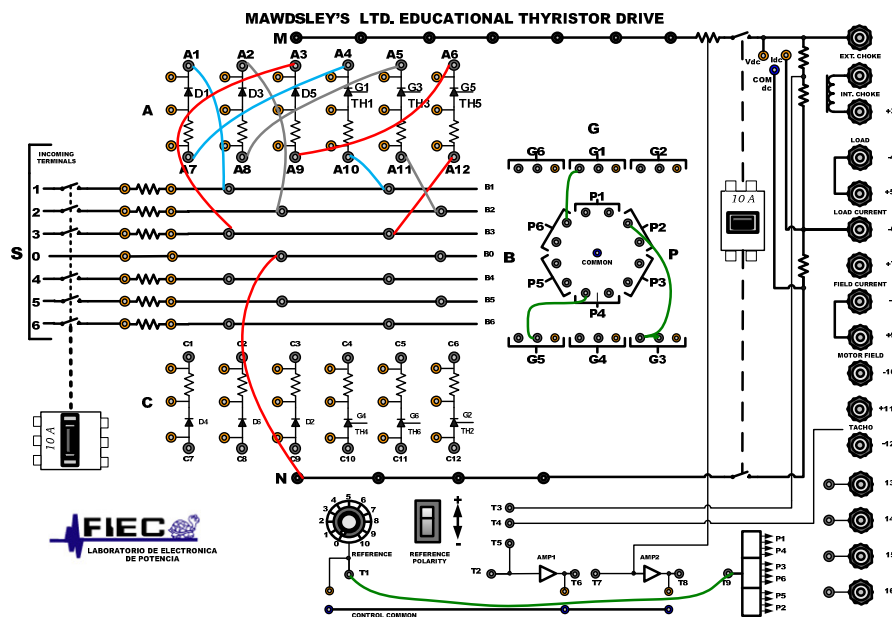


Figura 8.57: Conexiones del controlador AC-AC trifásico unidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's

8.4.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Conectar el banco trifásico resistivo en **Y** con neutro y $R=100\Omega$ por fase como se muestra en la Fig. 8.3. Tomar en consideración que no se emplean las terminales **M** ni **N** del drive Mawdsley's. Fijar el ángulo de disparo en $\alpha=80^\circ$; este ángulo de disparo corresponde a 3.70ms. En el controlador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir del cruce por cero del voltaje en las terminales S1-S0, el cual corresponde al arreglo paralelo de las bobinas a2-a1 y a4-a3. En la Fig. 8.58, se muestra la medición del intervalo correspondiente a 80° aproximadamente, la cual es de 3.68ms. En el oscilograma de la Fig. 8.59, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de salida

en la fase T del banco resistivo MV1100. Ver Fig. 8.3 para identificar la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.60, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida. En el oscilograma de la Fig. 8.61, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida.

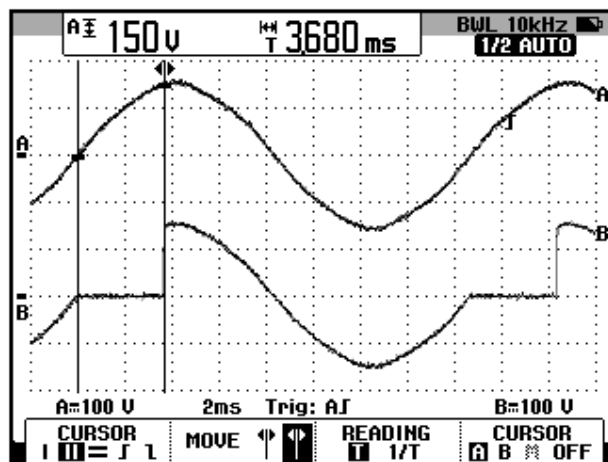


Figura 8.58: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=80^\circ$ en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout-a4)

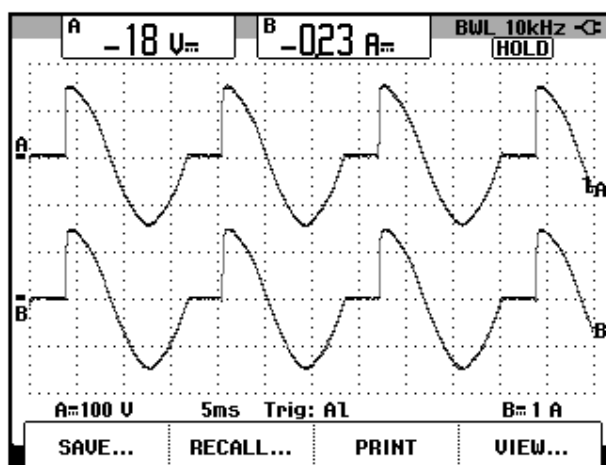


Figura 8.59: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).

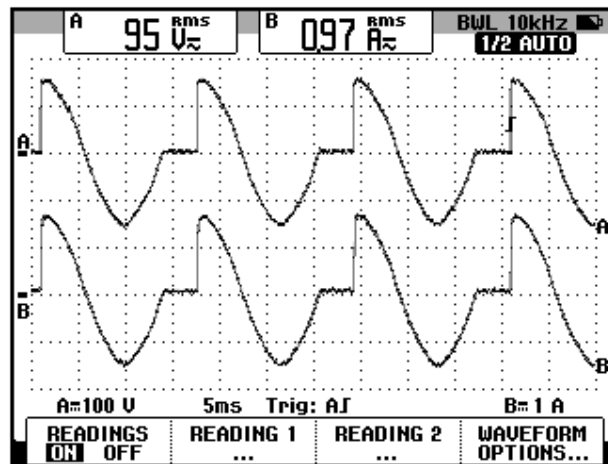


Figura 8.60: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).

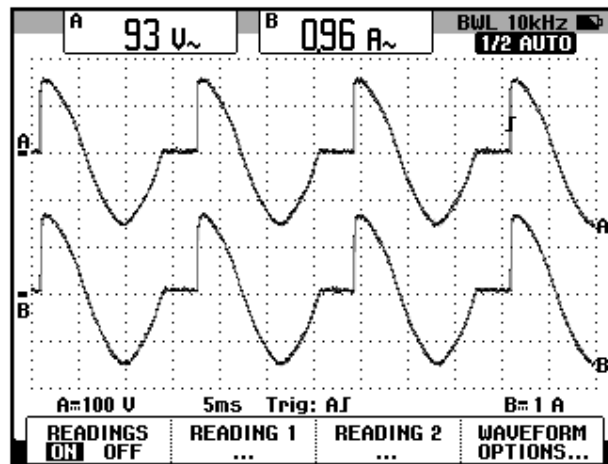


Figura 8.61: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout, CH2: Iout-T).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=80^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} = 4.14 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig.

8.62:

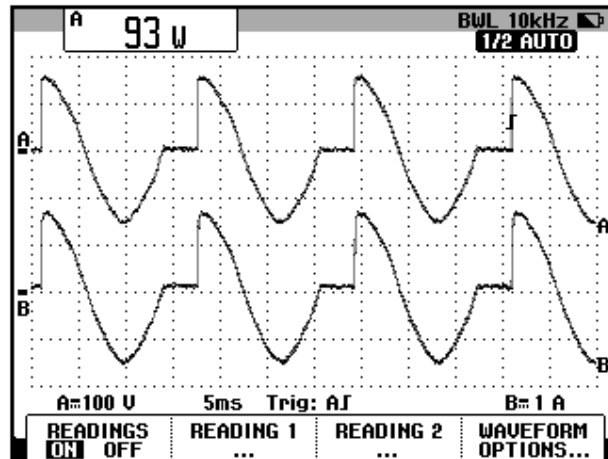


Figura 8.62: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: V_{out} , CH2: I_{out-T}).

8.4.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía

Fluke 434

8.4.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el analizador de energía de la misma forma que se describe en la sección 6.3.4.1.

8.4.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

En la Fig. 8.63, se muestran las corrientes del secundario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig.

8.64 se muestra la matriz de voltajes del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 8.65 se muestra el voltaje y la corriente de la fase A del transformador trifásico PTREC. 40. Esta imagen permite apreciar la forma de onda de una fase de la corriente del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 8.66 se muestra el voltaje y la corriente del neutro del transformador trifásico PTREC. 40. Se puede observar en la Fig. 8.67 un listado de los valores de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada fase.

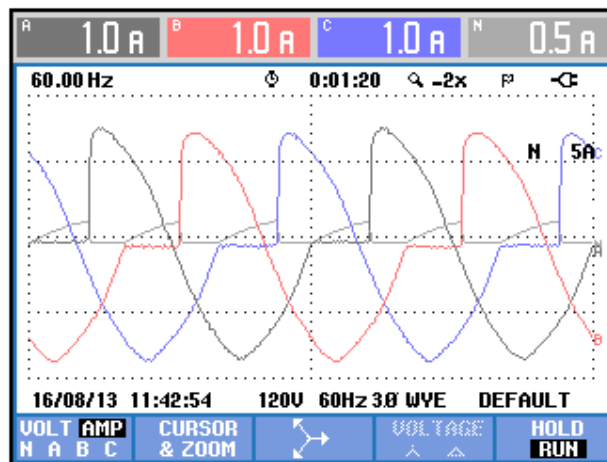


Figura 8.63 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

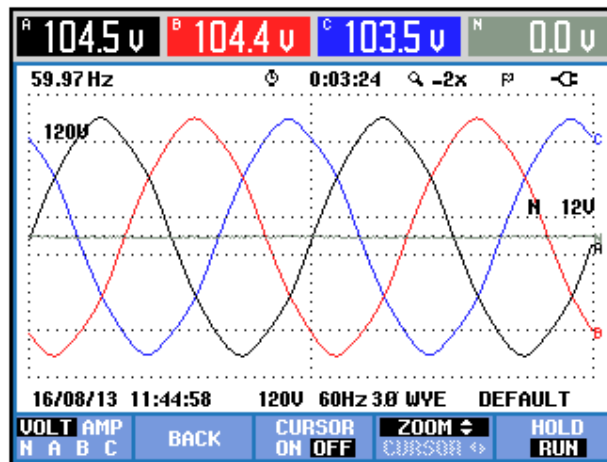


Figura 8.64 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

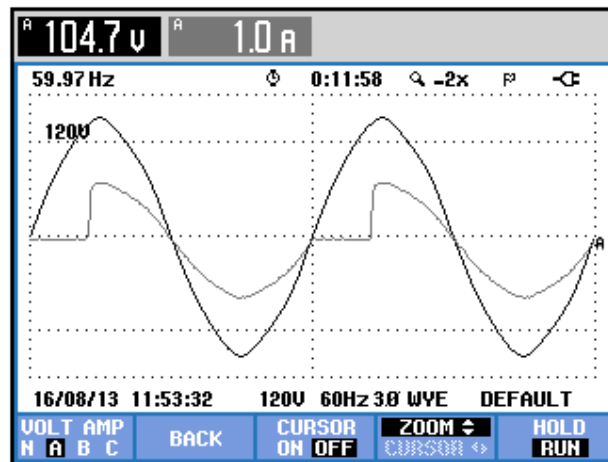


Figura 8.65 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

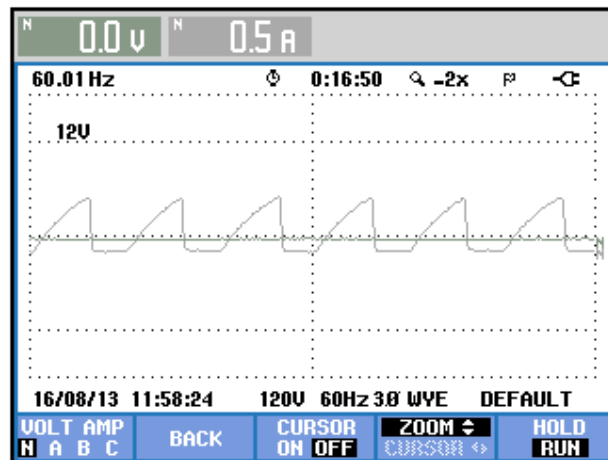


Figura 8.66 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente del neutro del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

TABLA ARMÓNICOS				
	A	B	C	N
Volt				
THD%f	2.3	2.2	2.2	57.5
H3%f	0.3	0.2	0.1	43.4
H5%f	2.2	2.2	2.1	11.3
H7%f	0.6	0.5	0.6	10.9
Amp				
H3%f	16.8	16.5	17.7	1849
H5%f	8.9	9.5	8.8	87.8
H7%f	5.9	4.9	6.0	110.1

Figura 8.67 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

A continuación, se mostrarán sólo los resultados de la fase A debido a la similitud de los resultados de una misma armónica. La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 8.68. La medición DC de la corriente de la fase A, se muestra

en la Fig. 8.69. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 8.70. Los parámetros de la segunda armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.71. Los parámetros de la tercera armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.72. Los parámetros de la cuarta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.73. En la Tabla 8.3, se resumen los resultados obtenidos.

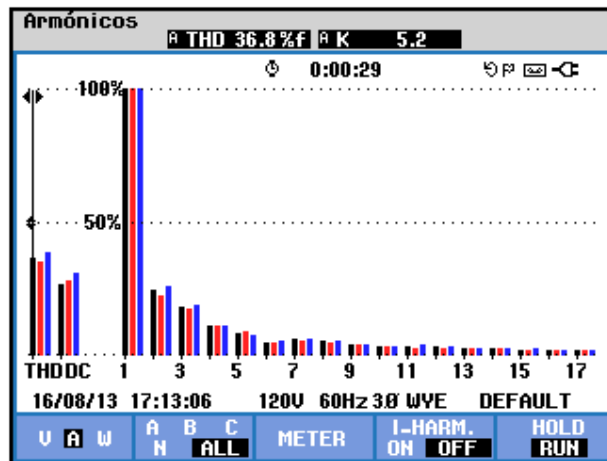


Figura 8.68 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

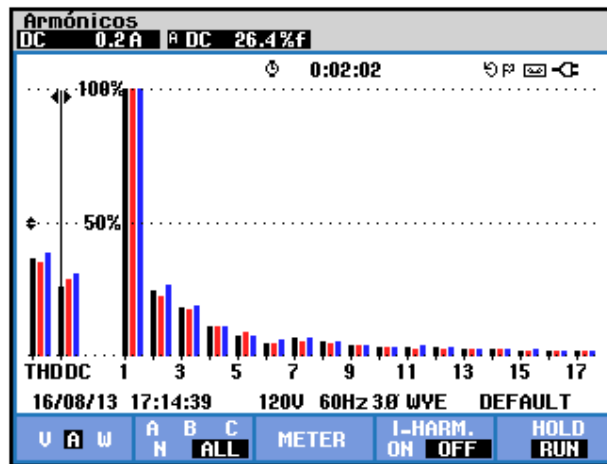


Figura 8.69 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

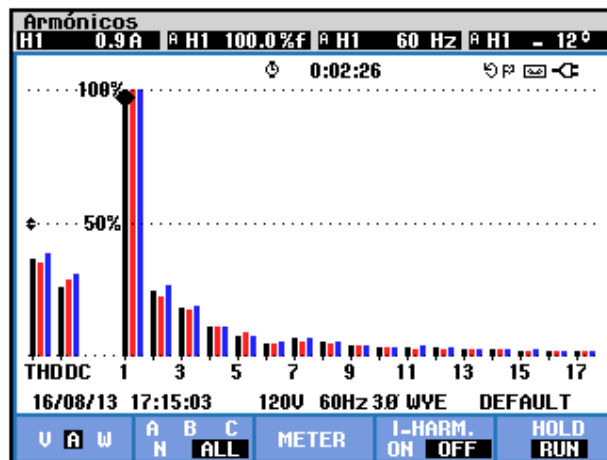


Figura 8.70 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

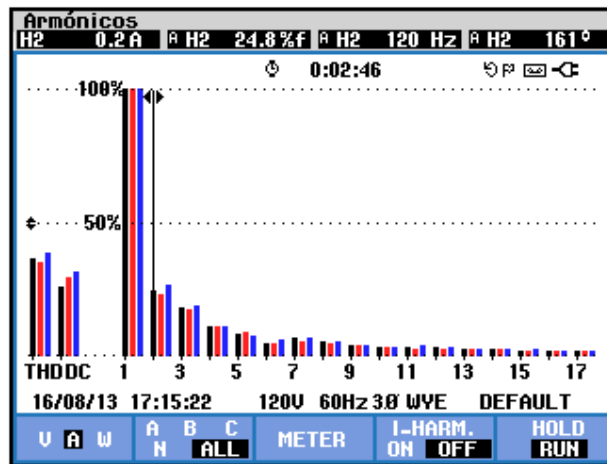


Figura 8.71 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

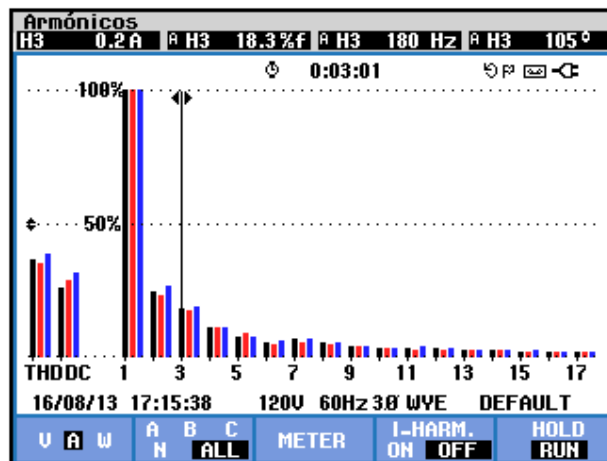


Figura 8.72 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

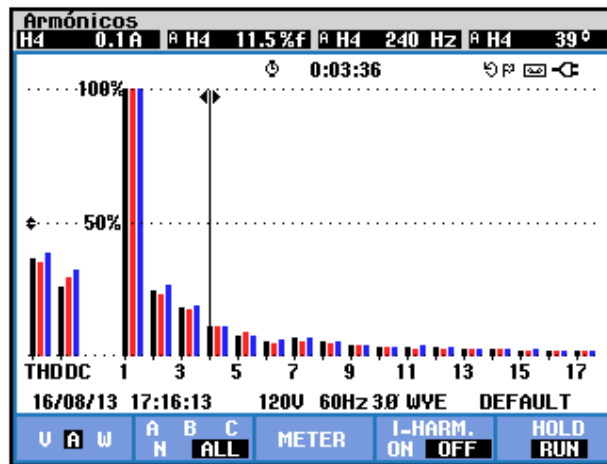


Figura 8.73 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

$THD[\%]$	$I_{DC} [V]$	n	$C_n [V_{RMS}]$	$\varphi_n [^\circ]$
36.8	0.2	1	0.9	-12
		2	0.2	161
		3	0.2	105
		4	0.1	39

Tabla 8.3 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

Los parámetros de los voltajes del secundario del transformador trifásico se muestran en la Fig. 8.74. Los parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico se muestran en la 8.75. El desfase entre la componente fundamental del

voltaje de línea neutro de la fase A y la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.76. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase B y la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.77. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase C y la corriente del secundario de la fase C del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.78. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**. Estos parámetros se muestran en la Fig. 8.79.

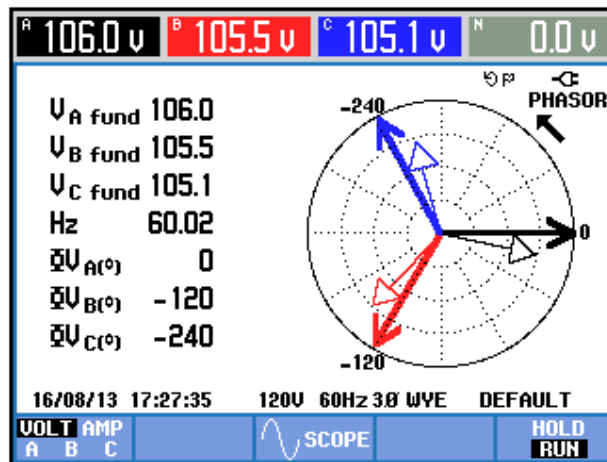


Figura 8.74 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^{\circ}$

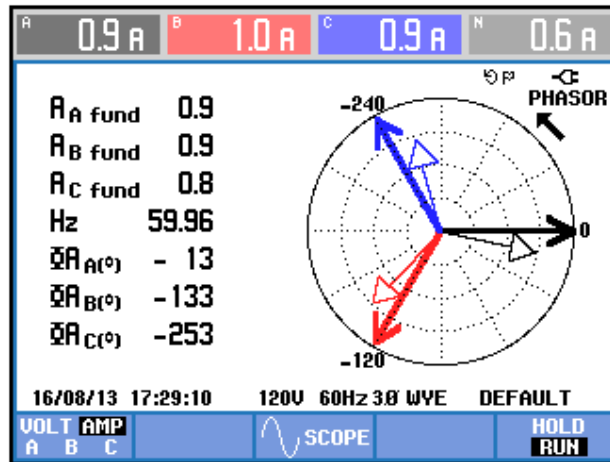


Figura 8.75 Parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

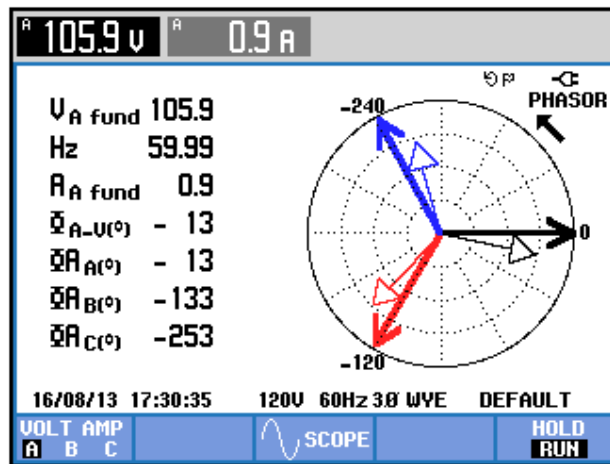


Figura 8.76 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

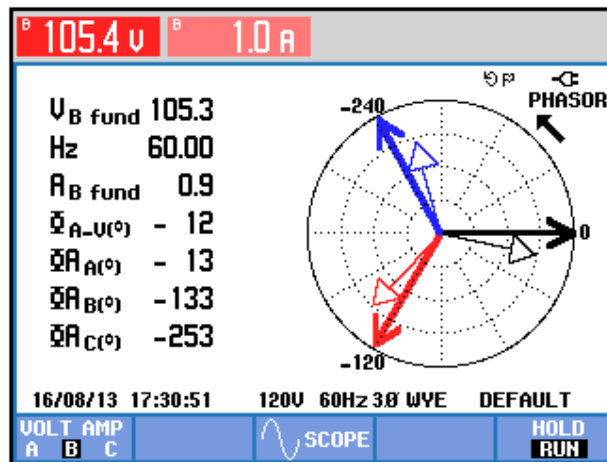


Figura 8.77 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^{\circ}$

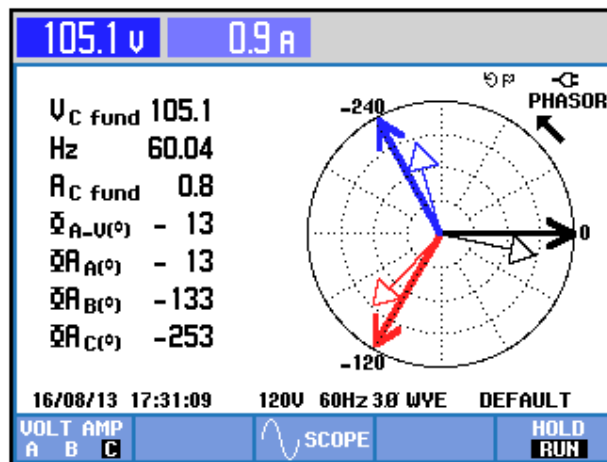


Figura 8.78 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^{\circ}$

Potencia y energía				
FUND	0:00:07			
	A	B	C	Total
W	90	90	80	260
VA	90	90	90	270
VAR	20	20	20	60
PF	0.89	0.88	0.86	0.88
DPF	0.98	0.98	0.97	0.98
A rms	0.9	1.0	0.9	
	A	B	C	
V rms	105.8	105.5	104.9	
16/08/13 17:32:30 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Figura 8.79 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$

8.4.5. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Conectar el banco trifásico resistivo-inductivo en **Y** con neutro como se muestra en la Fig. 8.4. El valor de la resistencia por fase del banco resistivo MV1100 es de 100Ω . En el banco inductivo MV1101, emplear el paso 11. Tomar en consideración que no se emplean las terminales **M** ni **N** del drive Mawdsley's. Mantener el ángulo de disparo en $\alpha=80^\circ$; este ángulo de disparo corresponde a 3.70ms.

En el oscilograma de la Fig. 8.80, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.81, se muestra el voltaje en las terminales S1 y S0 y la corriente de salida en la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.82, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1. En el

oscilograma de la Fig. 8.83, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.84, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de D1. En el oscilograma de la Fig. 8.85, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1.

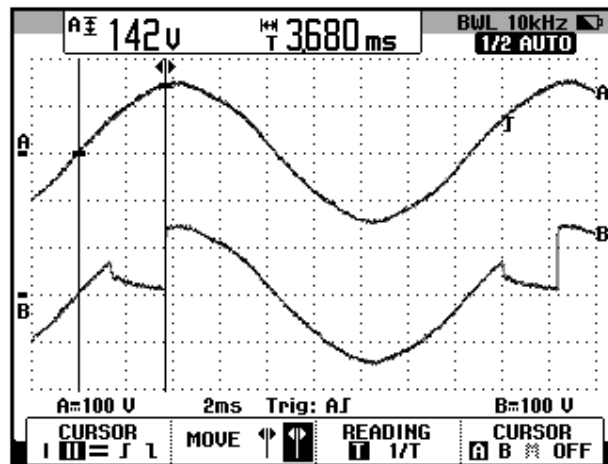


Figura 8.80 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Va4-b0(T)).

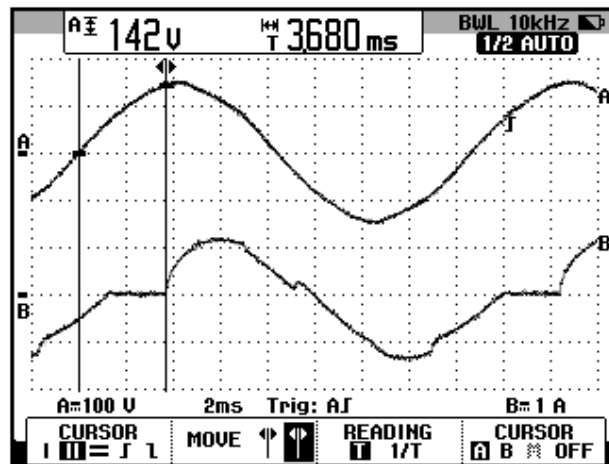


Figura 8.81 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout (T)).

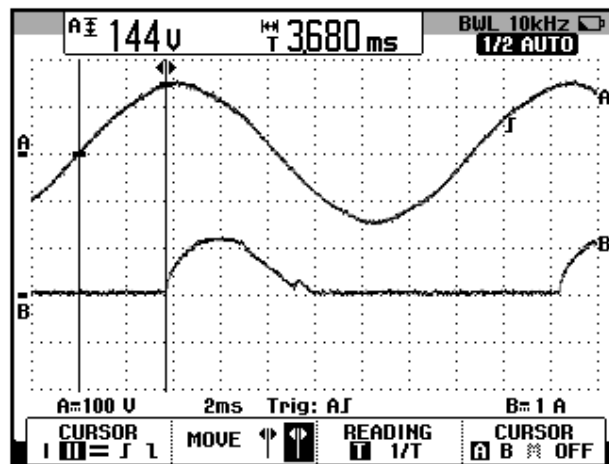


Figura 8.82 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).

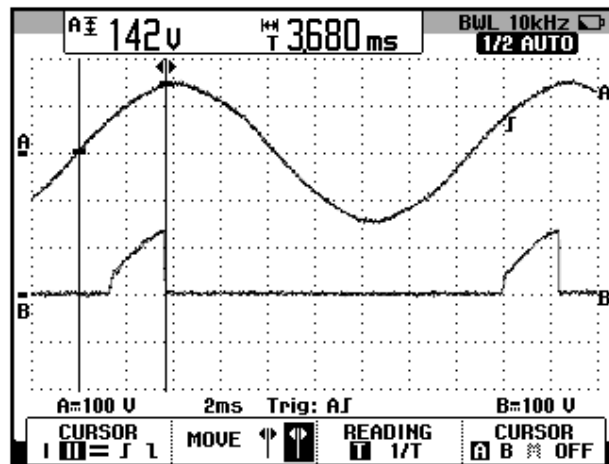


Figura 8.83 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

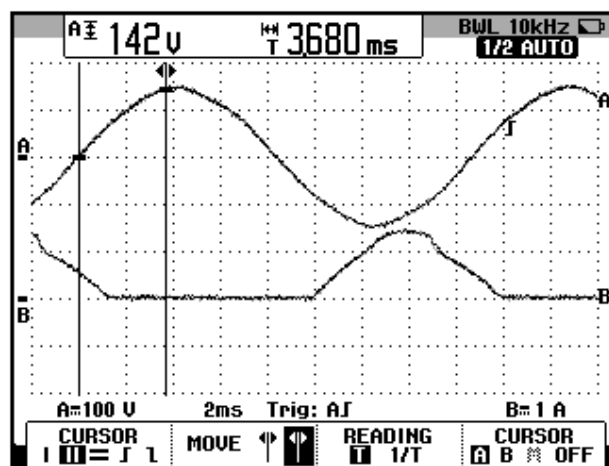


Figura 8.84 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de D1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Id1).

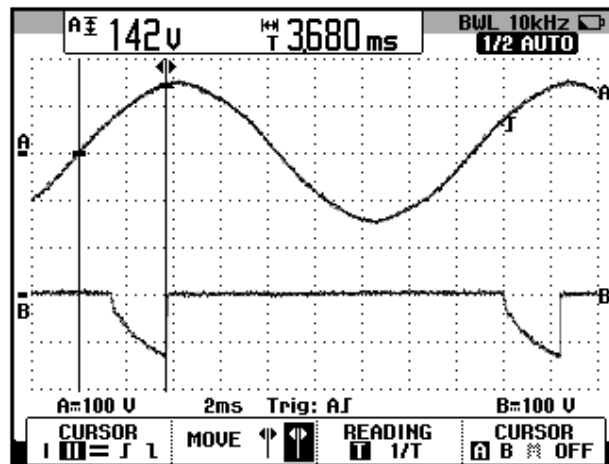


Figura 8.85 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D1 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vd1)

En el oscilograma de la Fig. 8.86, se muestra el voltaje línea-neutro S1-S0 y el voltaje S2-S0. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S0 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S2-S0 corresponde a aproximadamente 120° . En el oscilograma de la Fig. 8.87, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en la fase S. En el oscilograma de la Fig. 8.88, se muestra el voltaje en las terminales S2 y S0 y la corriente de salida (S). En el oscilograma de la Fig. 8.89, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 8.90, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 8.91, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y la corriente a través de D3. En el oscilograma de la Fig. 8.92, se

muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D3.

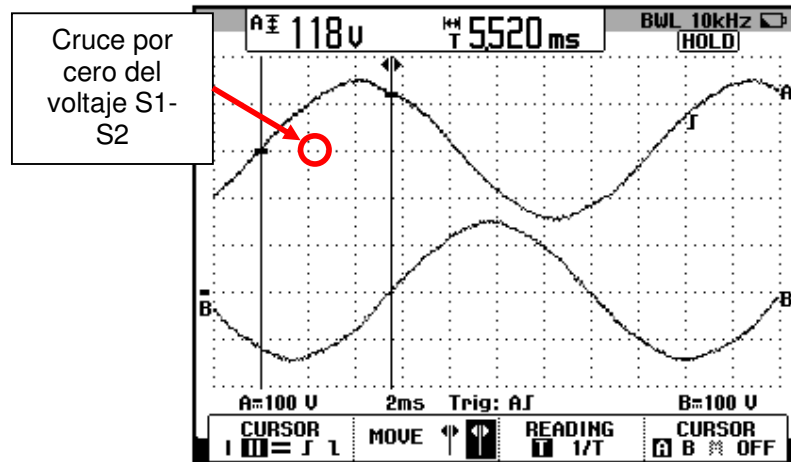


Figura 8.86: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S2-S0 en el convertidor AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs2-s0)

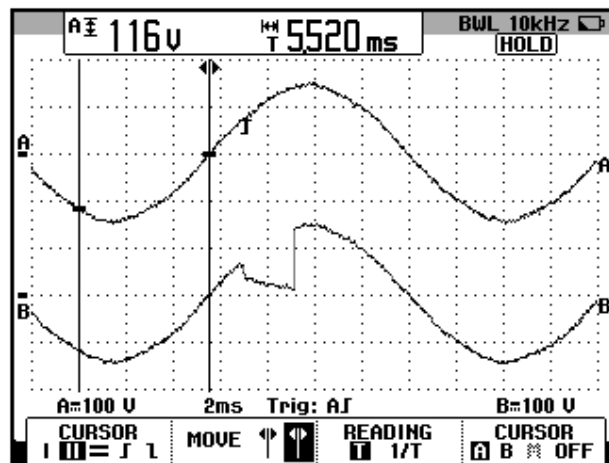


Figura 8.87 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Va5-b0(S)).

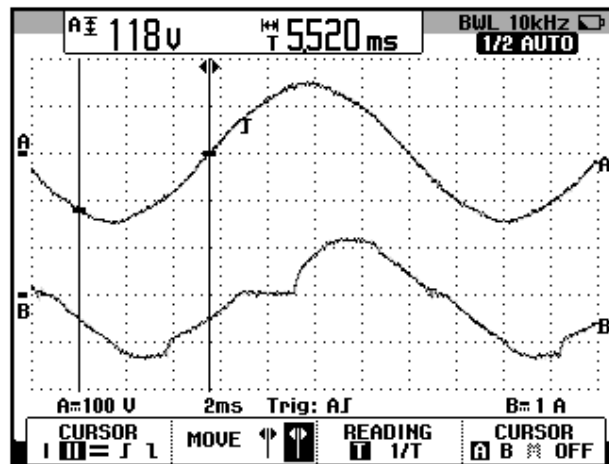


Figura 8.88 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Iout(S)).

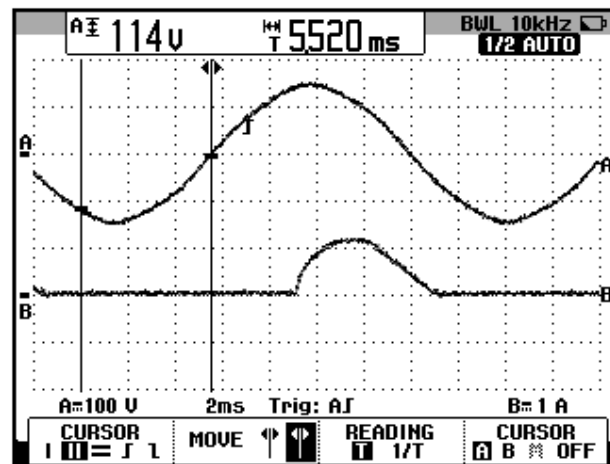


Figura 8.89 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith3).

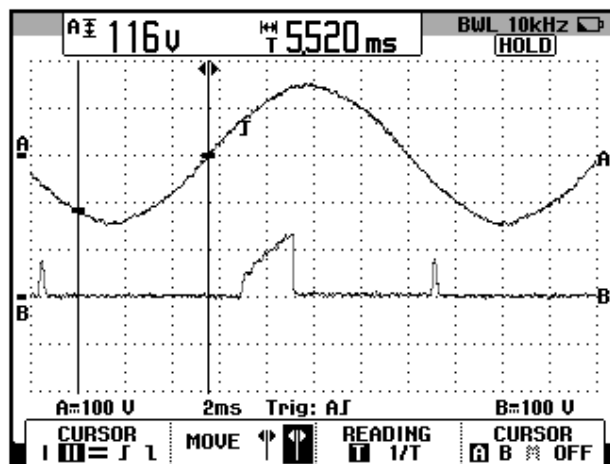


Figura 8.90 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth3).

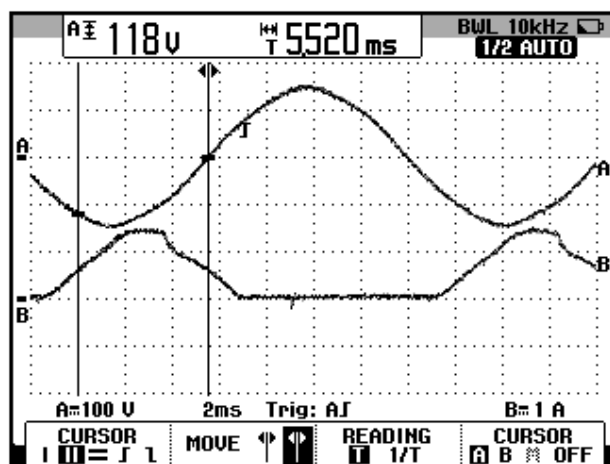


Figura 8.91 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de D3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Id3).

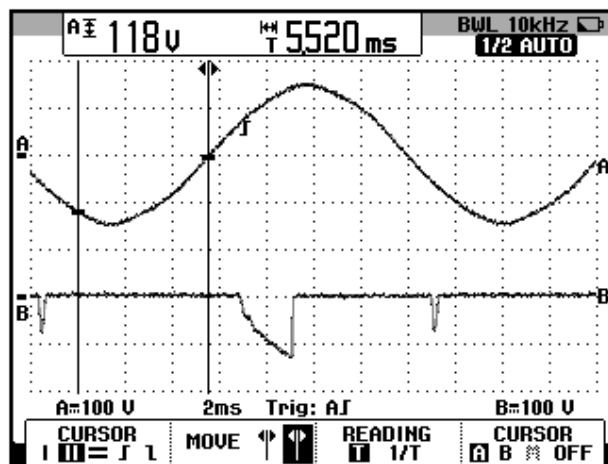


Figura 8.92 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vd3)

En el oscilograma de la Fig. 8.93, se muestra el voltaje línea-neutro S1-S0 y el voltaje S3-S0. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S0 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S0 corresponde a aproximadamente 240° . En el oscilograma de la Fig. 8.94, se muestra el voltaje de alimentación en las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en la fase R. En el oscilograma de la Fig. 8.95, se muestra el voltaje en las terminales S3 y S0 y la corriente de salida (R). En el oscilograma de la Fig. 8.96, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 8.97, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5. En el oscilograma de la Fig. 8.98, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y la corriente a través de D5. En el oscilograma

de la Fig. 8.99, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D5.

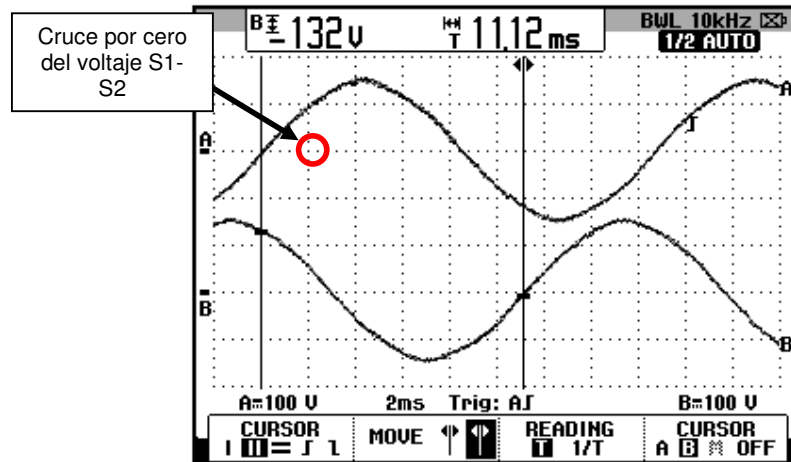


Figura 8.93: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S3-S0 en el convertidor AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs3-s0)

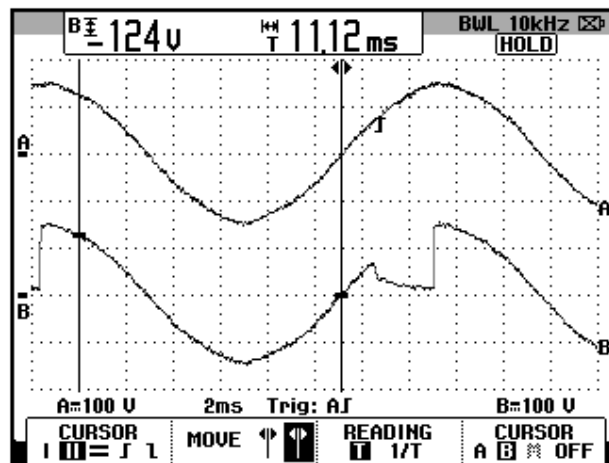


Figura 8.94 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Va6-b0(R)).

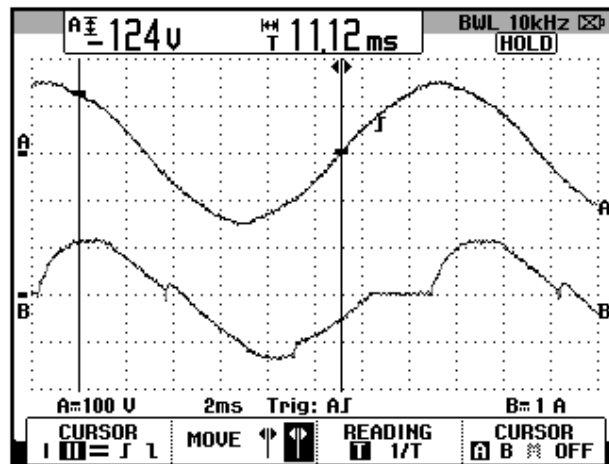


Figura 8.95 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Iout(S)).

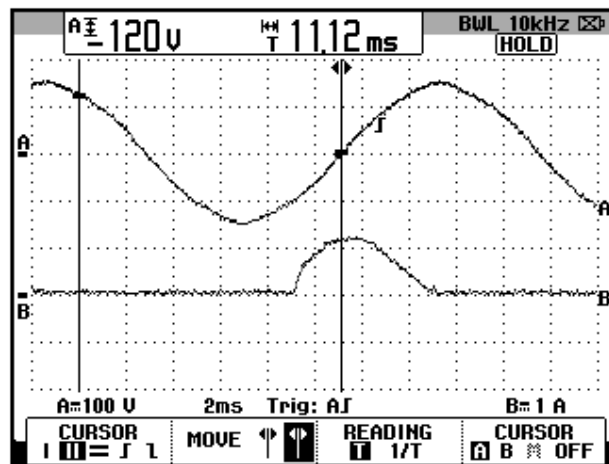


Figura 8.96 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith3).

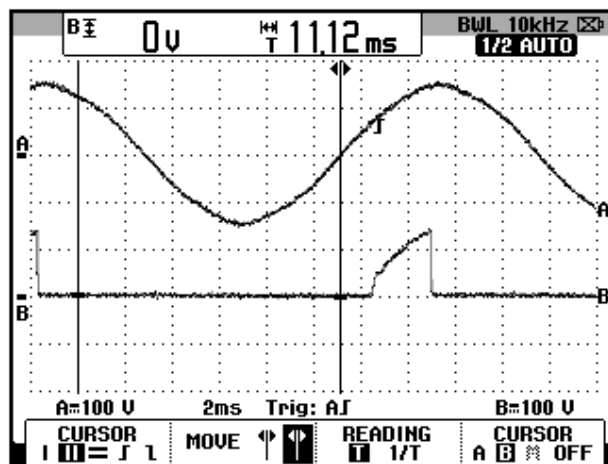


Figura 8.97 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth5).

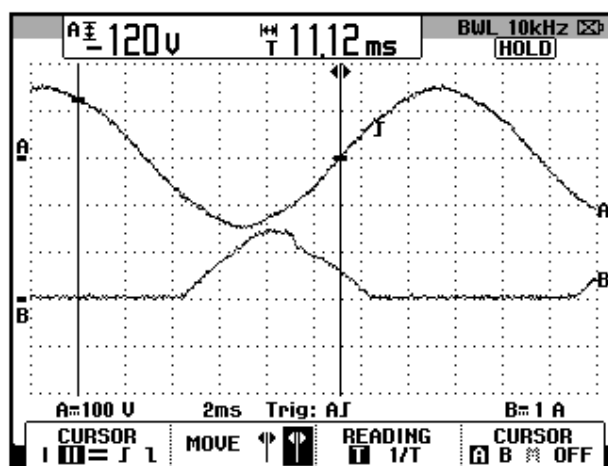


Figura 8.98 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de D5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Id5).

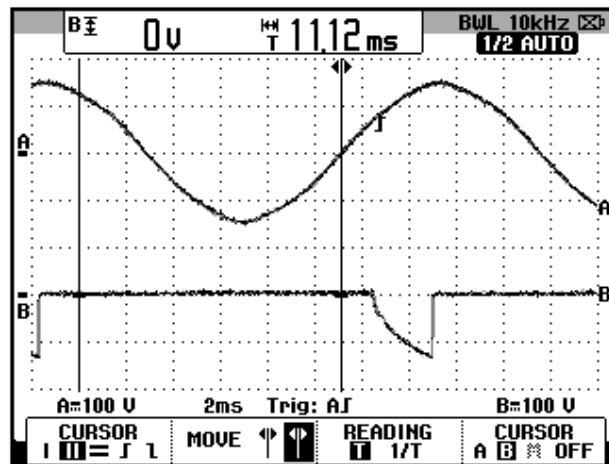


Figura 8.99 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de D5 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vd5)

8.5. Controlador AC-AC trifásico bidireccional

En esta sección se desarrolla el cuarto experimento de la práctica.

8.5.1. Objetivos

Analizar el comportamiento de un controlador AC-AC trifásico bidireccional observando la forma de onda de las señales de voltaje y corriente para diferentes variantes de carga.

8.5.2. Conexiones eléctricas del panel superior e inferior del drive

El diagrama esquemático del controlador AC-AC trifásico bidireccional se muestra en la Fig. 8.100. La conexión de la carga trifásica se explica en la sección 8.5.3.

Las conexiones del secundario del transformador trifásico, se muestran en la Fig. 8.56, la cual se encuentra en la sección 8.4 correspondiente al Controlador AC-AC unidireccional.

Las conexiones del circuito de potencia y de control en el panel frontal superior, se muestran en la Fig. 8.101.

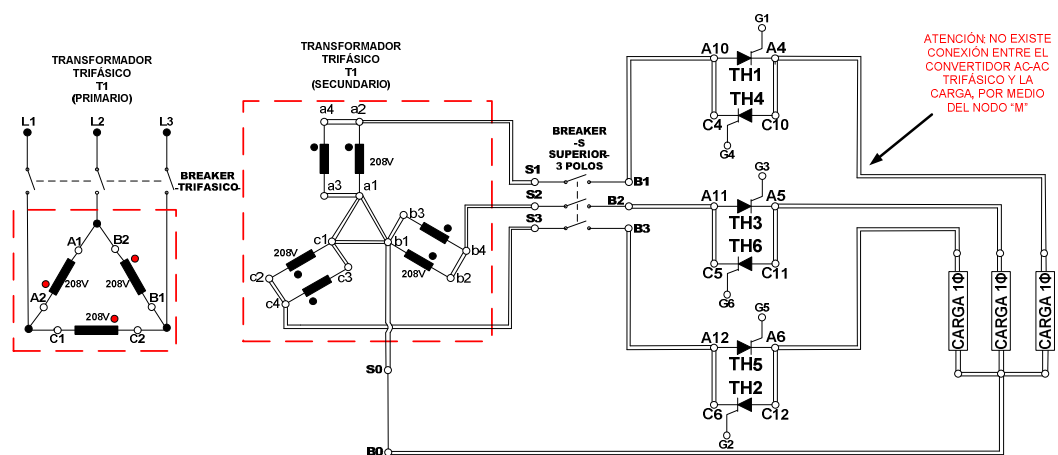


Figura 8.100: Circuito de potencia del controlador AC-AC trifásico bidireccional

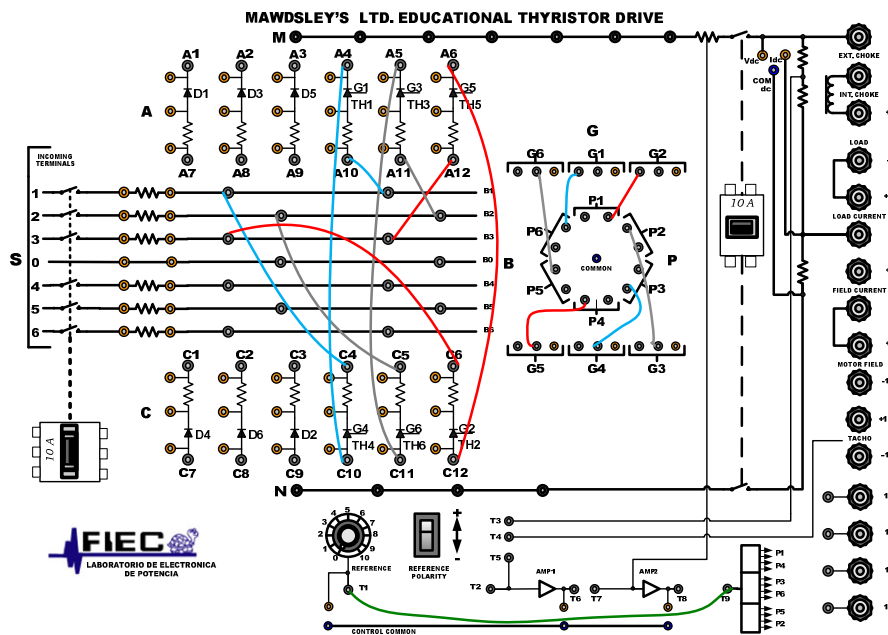


Figura 8.101: Conexiones del controlador AC-AC trifásico bidireccional en el panel frontal del Drive Mawdsley's

8.5.3. Obtención de figuras de mérito empleando la carga resistiva y el osciloscopio Fluke 192B

Conectar el banco trifásico resistivo en **Y** con neutro y $R=100\Omega$ por fase como se muestra en la Fig. 8.3. Tomar en consideración que no se emplean las terminales **M** ni **N** del drive Mawdsley's. Fijar el ángulo de disparo en $\alpha=110^\circ$; este ángulo de disparo corresponde a 5.09ms. En el controlador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir del cruce por cero del voltaje en las terminales S1-S0, el cual corresponde al arreglo paralelo de las bobinas a2-a1 y a4-a3. En la Fig. 8.102, se muestra la medición del intervalo correspondiente a 110° aproximadamente, la cual es de 5.12ms. En el oscilograma de la Fig. 8.103, se muestra la medición promedio del voltaje y la corriente de

salida en la fase T del banco resistivo MV1100. Ver Fig. 8.3 para identificar la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.104, se muestra la medición eficaz del voltaje y la corriente de salida en la fase T del banco resistivo MV1100. En el oscilograma de la Fig. 8.105, se muestra la medición AC del voltaje y la corriente de salida en la fase T del banco resistivo MV1100.

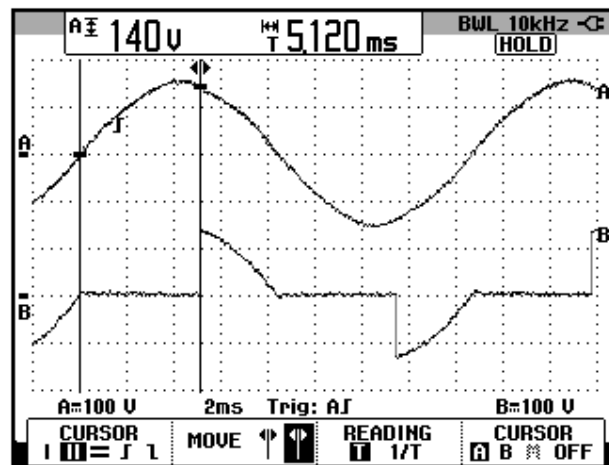


Figura 8.102: Oscilograma que muestra el ajuste del ángulo de disparo $\alpha=110^\circ$ en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R (CH1: Vs1-s0; CH2: Vout-a4-b0)

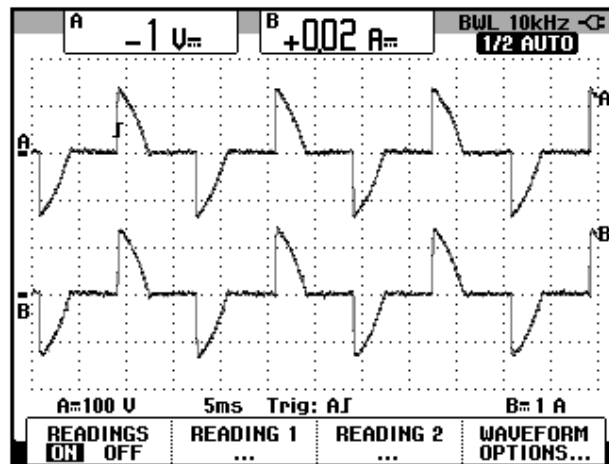


Figura 8.103: Oscilograma y mediciones promedio de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).

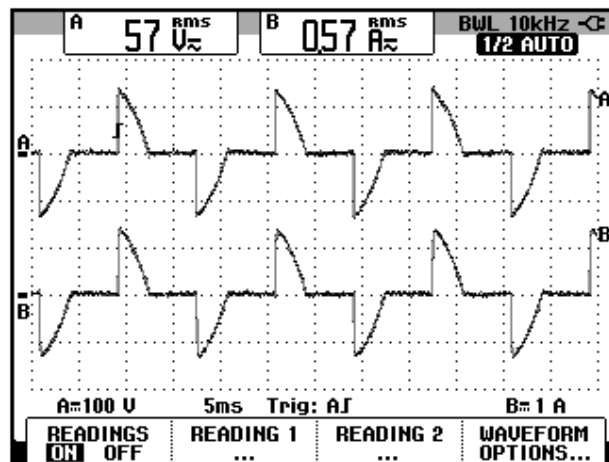


Figura 8.104: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=80^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).

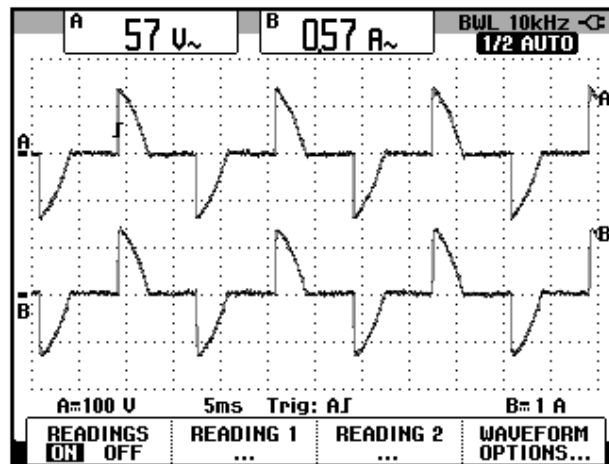


Figura 8.105: Oscilograma y mediciones AC de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).

El valor experimental de $P_{OUT(DC)}$, para $\alpha=80^\circ$:

$$P_{OUT(DC)} \approx 0 [W]$$

El valor experimental de $P_{OUT(AC)}$ se muestra en el oscilograma de la Fig.

8.106:

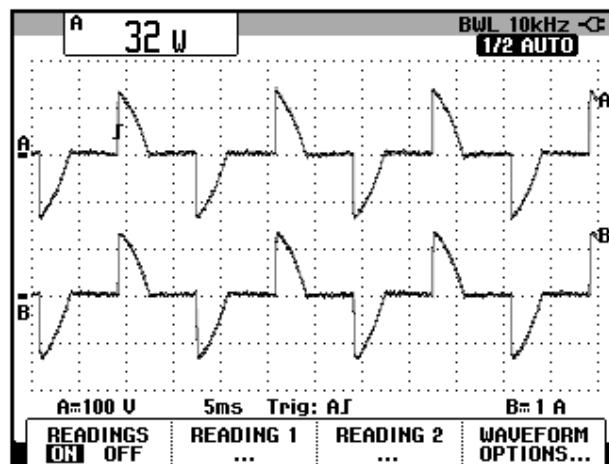


Figura 8.106: Oscilograma que muestra la medición de potencia de salida AC ($P_{out(AC)}$) en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vout-a4-b0, CH2: Iout-T).

8.5.4. Análisis de armónicos de la corriente de entrada al convertidor con carga resistiva empleando el analizador de energía Fluke 434

8.5.4.1. Configuración del analizador de energía Fluke 434

Configurar el analizador de energía de la misma forma que se describe en la sección 6.3.4.1.

8.5.4.2. Obtención de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434

En la Fig. 8.107, se muestran las corrientes del secundario del transformador trifásico PTREC. 40. En el oscilograma de la Fig. 8.108 se muestra la matriz de voltajes del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 8.109 se muestra el voltaje y la corriente de la fase A del transformador trifásico PTREC. 40. Esta imagen permite apreciar la forma de onda de una fase de la corriente del secundario del transformador trifásico. En el oscilograma de la Fig. 8.110 se muestra el voltaje y la corriente del neutro del transformador trifásico PTREC. 40.

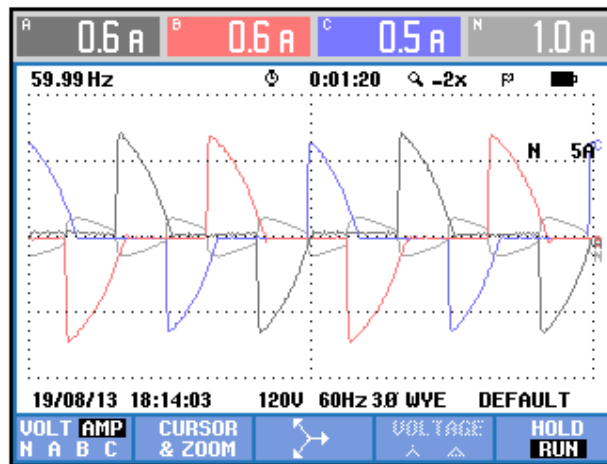


Figura 8.107 Oscilograma y mediciones eficaces de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

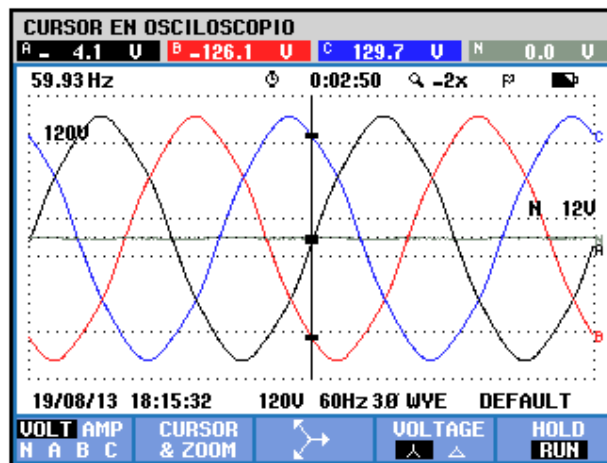


Figura 8.108 Oscilograma y mediciones eficaces de los voltajes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

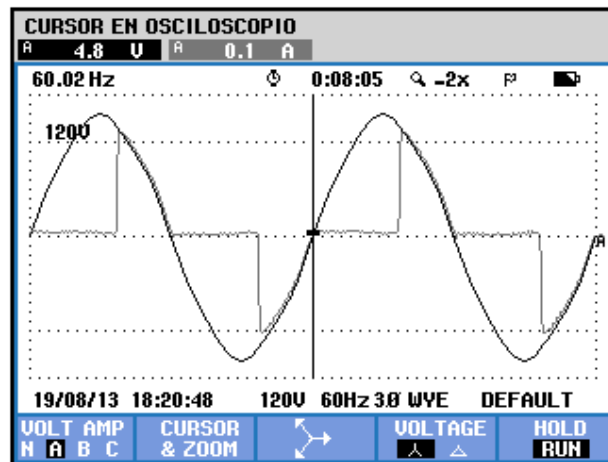


Figura 8.109 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

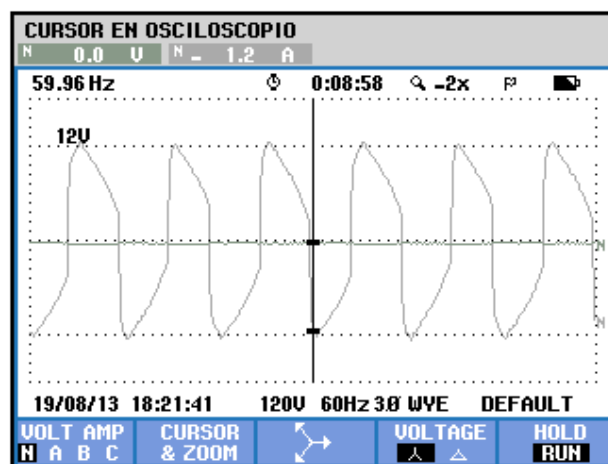


Figura 8.110 Oscilograma y mediciones eficaces del voltaje y la corriente del neutro del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

Se puede observar en la Fig. 8.111 un listado de los valores de las componentes armónicas impares junto con el THD de cada

fase. A continuación, se mostrarán sólo los resultados de la fase A debido a la similitud de los resultados de una misma armónica. La medición de THD de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 8.112. La medición DC de la corriente de la fase A, se muestra en la Fig. 8.113. Los parámetros de la armónica fundamental de la fase A, se muestran en la Fig. 8.114. Los parámetros de la segunda armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.115. Los parámetros de la tercera armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.116. Los parámetros de la cuarta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.117. Los parámetros de la quinta armónica de la fase A, se muestran en la Fig. 8.118. En la Tabla 8.4, se resumen los resultados obtenidos.

TABLA ARMÓNICOS				
0:00:34				
Volt	A	B	C	N
THD%f	2.5	2.5	2.5	155.7
H3%f	0.3	0.1	0.2	139.7
H5%f	2.4	2.4	2.4	12.9
H7%f	0.5	0.4	0.5	19.8
Amp	A	B	C	N
H3%f	69.0	64.3	71.0	1095
H5%f	29.4	22.8	32.0	79.0
H7%f	18.0	19.3	17.2	100.4
19/08/13 18:23:06 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
U A W	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN

Figura 8.111 THD y armónicos impares de la corriente del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

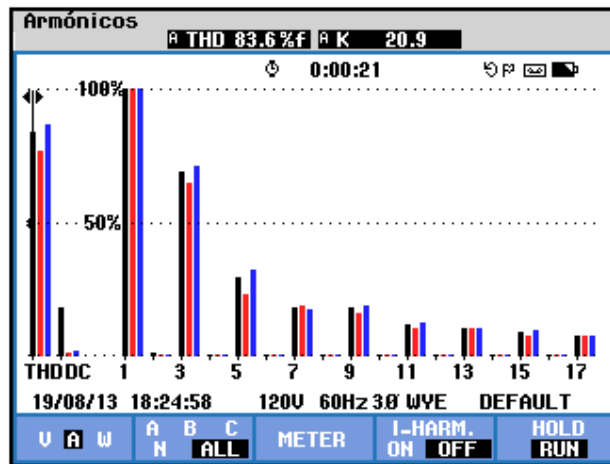


Figura 8.112 Medición de THD de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

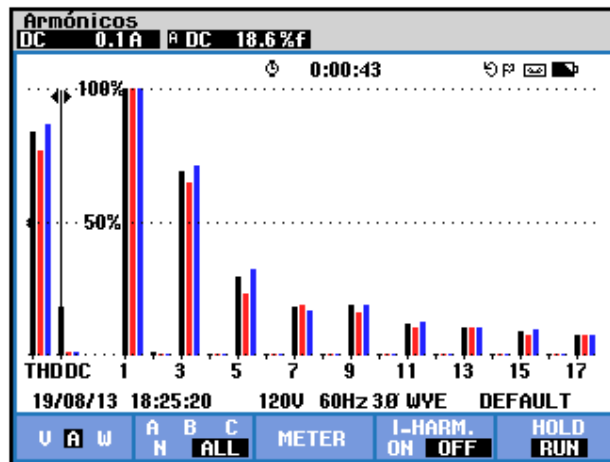


Figura 8.113 Medición DC de la corriente de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

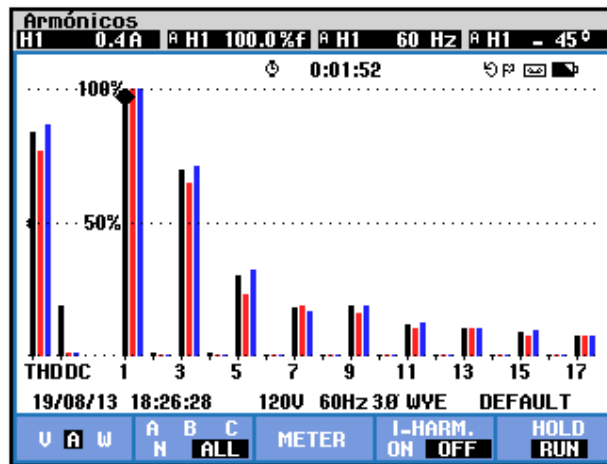


Figura 8.114 Medición de la armónica fundamental de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

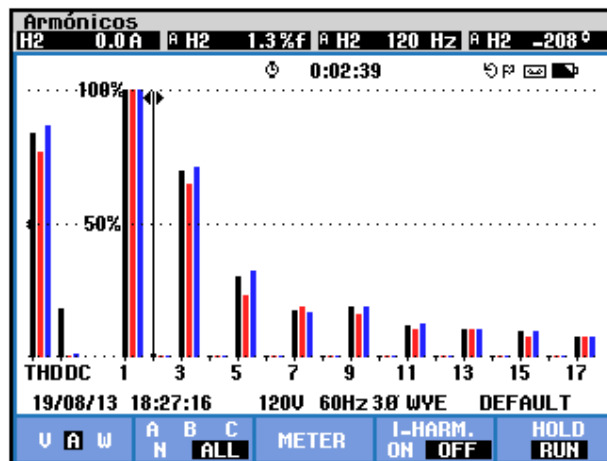


Figura 8.115 Medición de la segunda armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

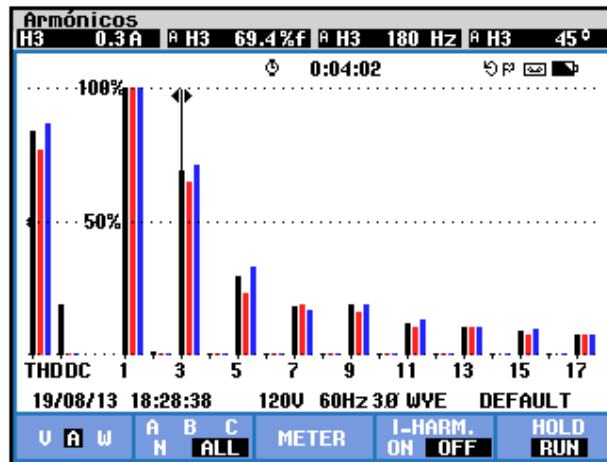


Figura 8.116 Medición de la tercera armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

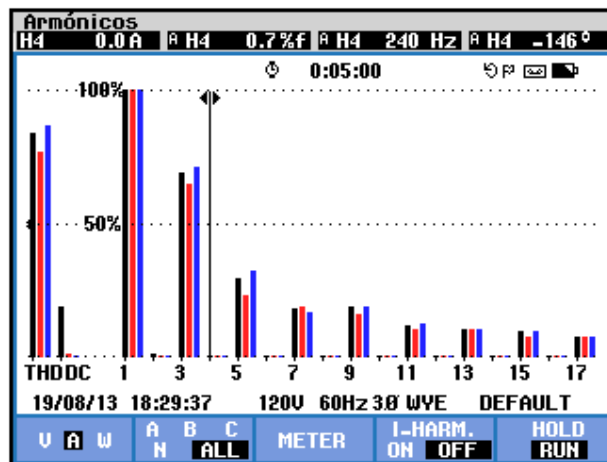


Figura 8.117 Medición de la cuarta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

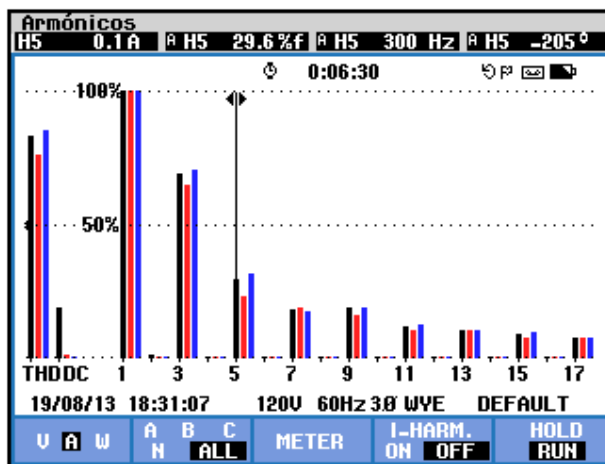


Figura 8.118 Medición de la quinta armónica de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

$THD[\%]$	$I_{DC} [V]$	n	$C_n [V_{RMS}]$	$\varphi_n [^\circ]$
0.83	0.1	1	0.4	-45
		2	0	-208
		3	0.3	45
		4	0	-146
		5	0.1	-205

Tabla 8.4 Resultados experimentales de THD y los parámetros de las cuatro primeras armónicas de la corriente del secundario de la fase A del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

Los parámetros de los voltajes del secundario del transformador trifásico se muestran en la Fig. 8.119. Los parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico se muestran

en la 8.120. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase A y la corriente de entrada a la fase A del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.121. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase B y la corriente de entrada a la fase B del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.122. El desfase entre la componente fundamental del voltaje de línea neutro de la fase C y la corriente del secundario de la fase C del transformador trifásico se muestra en la Fig. 8.123. En el submenú **POTENCIA Y ENERGÍA** se puede visualizar el factor de potencia **PF** y el factor de desplazamiento **DPF**. Estos parámetros se muestran en la Fig. 8.124.

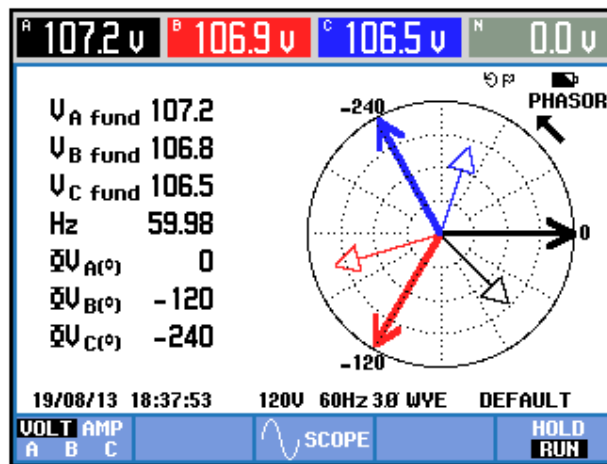


Figura 8.119 Parámetros de los voltajes del secundario transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^{\circ}$

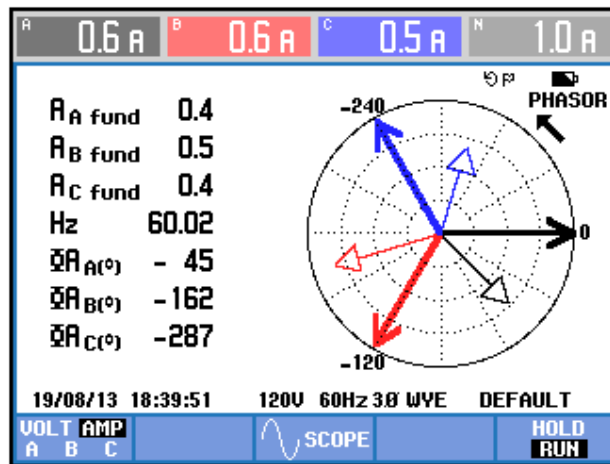


Figura 8.120 Parámetros de las corrientes del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

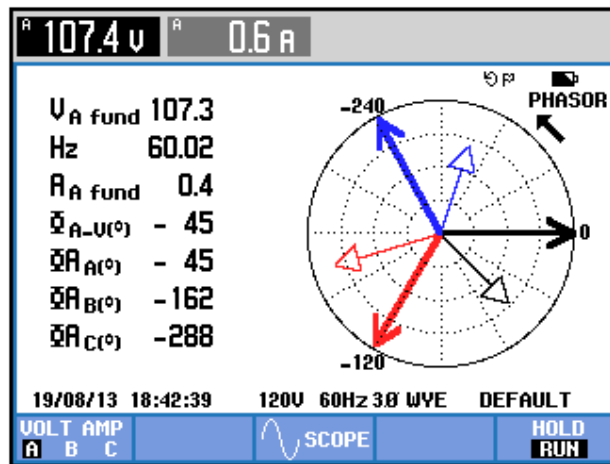


Figura 8.121 Parámetros eléctricos de la fase A del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

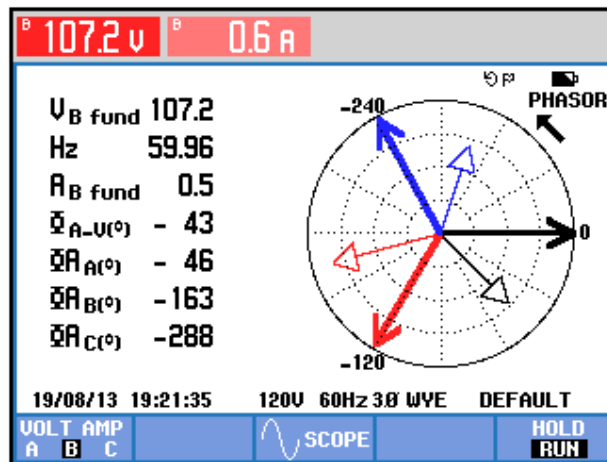


Figura 8.122 Parámetros eléctricos de la fase B del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

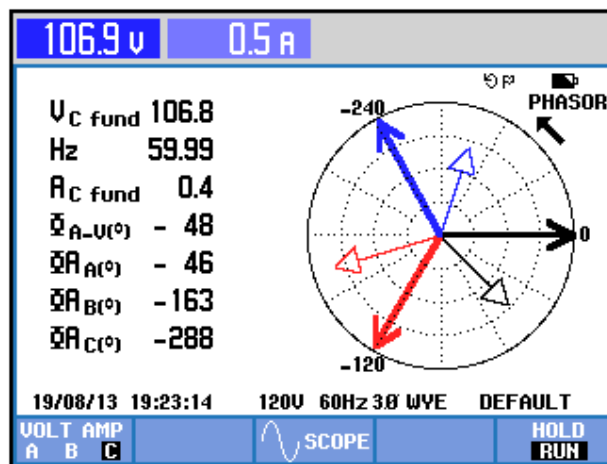


Figura 8.123 Parámetros eléctricos de la fase C del secundario del transformador trifásico en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

Potencia y energía				
FUND 0:00:07				
	A	B	C	Total
W	30	40	30	100
VA	50	50	40	140
VAR	30	30	30	100
PF	0.52	0.58	0.50	0.54
DPF	0.70	0.74	0.68	0.71
Arms	0.6	0.6	0.5	
	A	B	C	
V _{rms}	107.5	107.3	106.8	
19/08/13 19:24:04 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE		ENERGY		TREND
HOLD		RUN		

Figura 8.124 Factor de potencia PF y del factor de desplazamiento DPF en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga R y $\alpha=110^\circ$

8.5.5. Formas de onda empleando la carga resistiva inductiva y el osciloscopio Fluke 192B

Conectar el banco trifásico resistivo-inductivo en **Y** con neutro como se muestra en la Fig. 8.4. El valor de la resistencia por fase del banco resistivo MV1100 es de 100Ω . En el banco inductivo MV1101, emplear el paso 11. Tomar en consideración que no se emplean las terminales **M** ni **N** del drive Mawdsley's. Mantener el ángulo de disparo en $\alpha=110^\circ$; este ángulo de disparo corresponde a 5.09ms.

En el oscilograma de la Fig. 8.125, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.126, se muestra el voltaje en las terminales S1 y S0 y la corriente de salida en la fase T. En el oscilograma de la Fig. 8.127, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de

TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.128, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1. En el oscilograma de la Fig. 8.129, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P6. En el oscilograma de la Fig. 8.130, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 8.131, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4. En el oscilograma de la Fig. 8.132, se muestra el voltaje en las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P3.

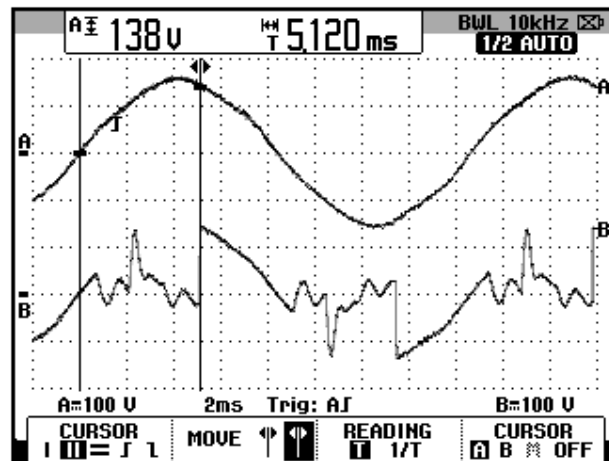


Figura 8.125 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje de salida en la fase T del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Va4-b0(T)).

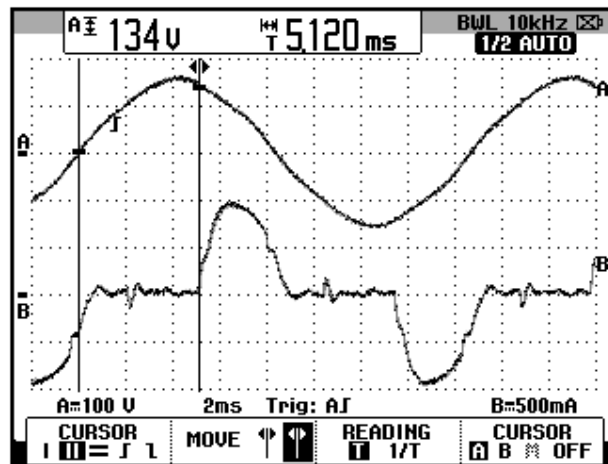


Figura 8.126 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Iout (T)).

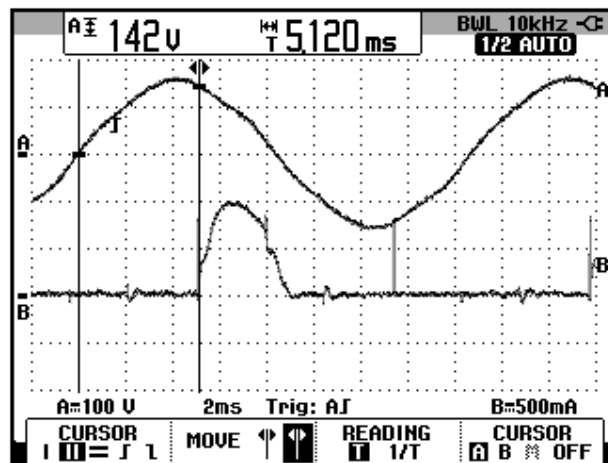


Figura 8.127 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith1).

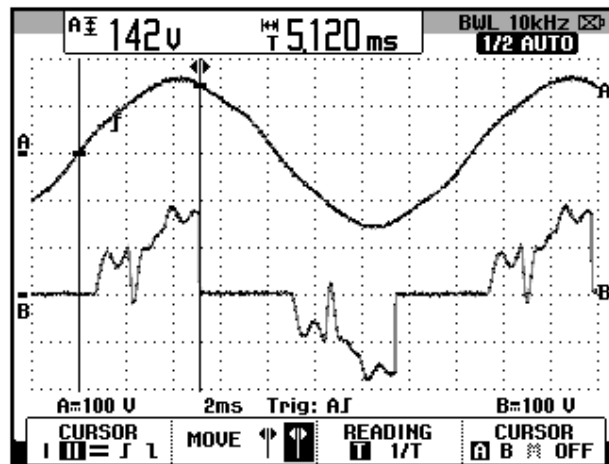


Figura 8.128 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth1).

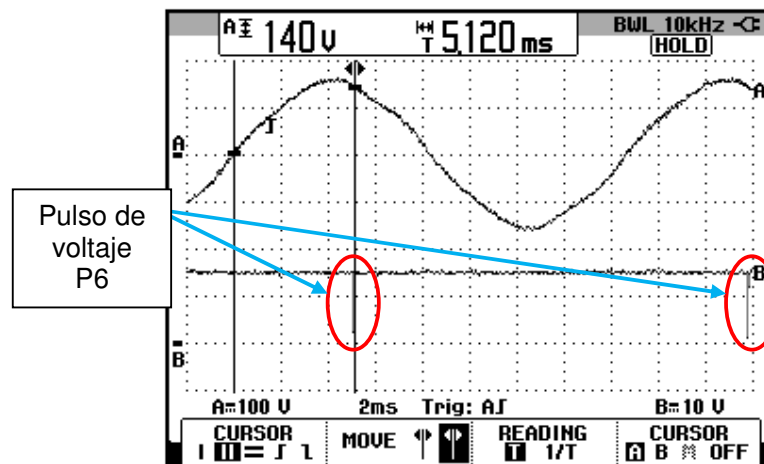


Figura 8.129 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp6).

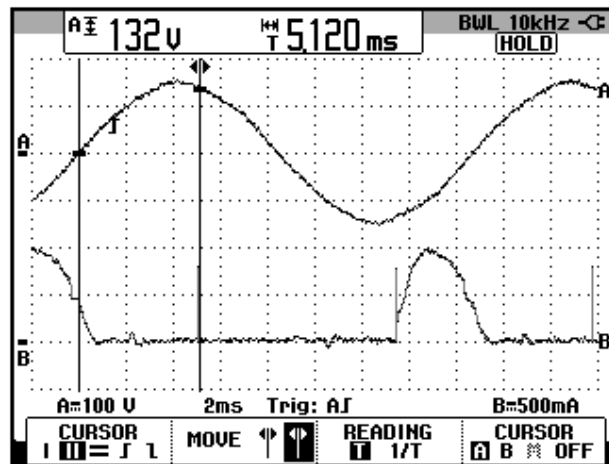


Figura 8.130 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y la corriente a través de TH4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Ith4).

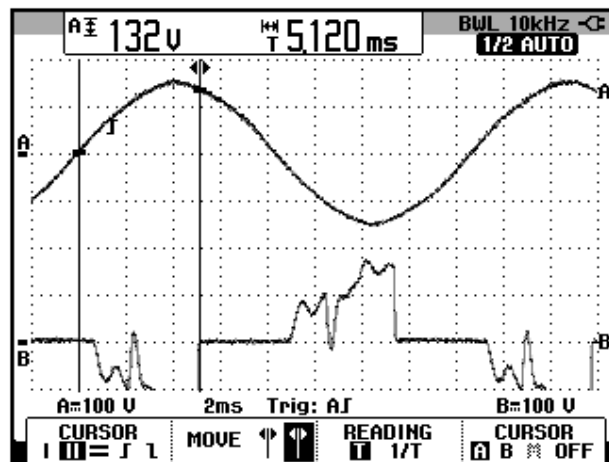


Figura 8.131 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vth4)

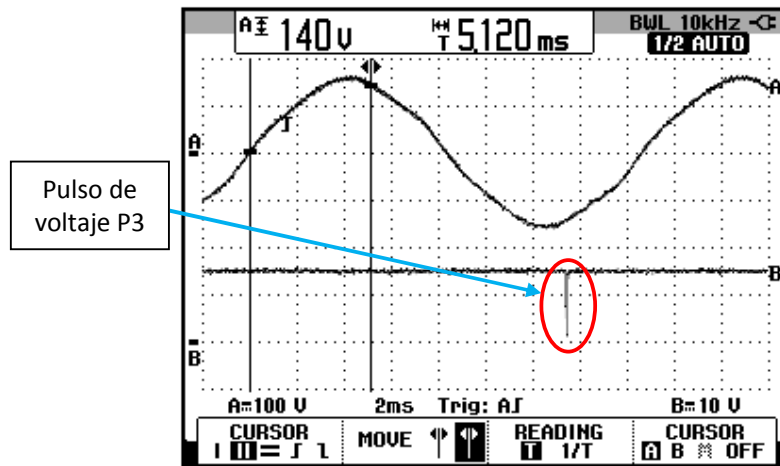


Figura 8.132 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S1-S0 y el pulso de voltaje P3 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp3).

En el oscilograma de la Fig. 8.133, se muestra el voltaje línea-neutro S1-S0 y el voltaje S2-S0. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S0 y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S2-S0 corresponde a aproximadamente 120° . En el oscilograma de la Fig. 8.134, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en la fase S. En el oscilograma de la Fig. 8.135, se muestra el voltaje en las terminales S2 y S0 y la corriente de salida (S). En el oscilograma de la Fig. 8.136, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 8.137, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3. En el oscilograma de la Fig. 8.138, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P2. En el oscilograma de la Fig. 8.139, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y la corriente a

través de TH6. En el oscilograma de la Fig. 8.140, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6. En el oscilograma de la Fig. 8.141, se muestra el voltaje en las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P5.

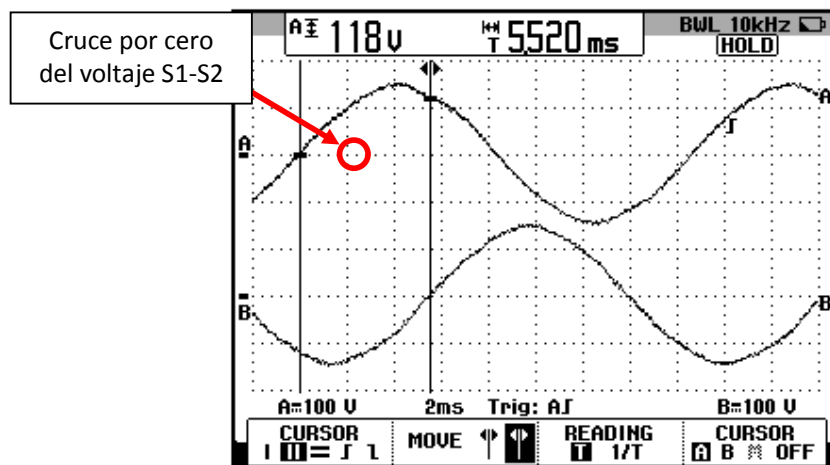


Figura 8.133: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S2-S0 en el convertidor AC-AC trifásico Bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs2-s0)

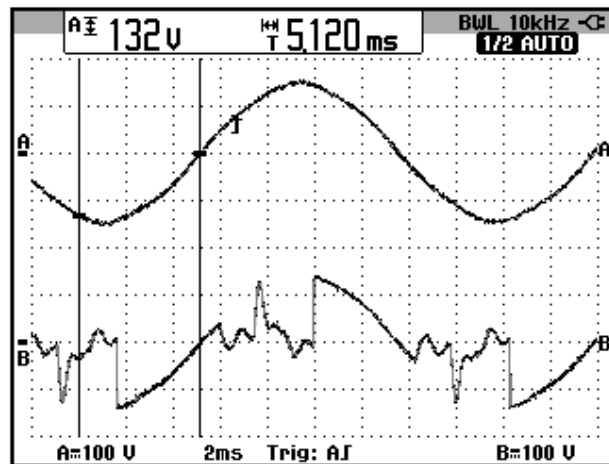


Figura 8.134 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje de salida en la fase S del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Va5-b0(S)).

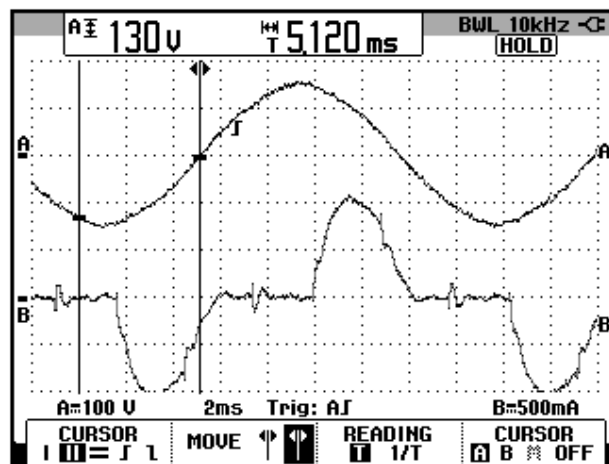


Figura 8.135 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Iout(S)).

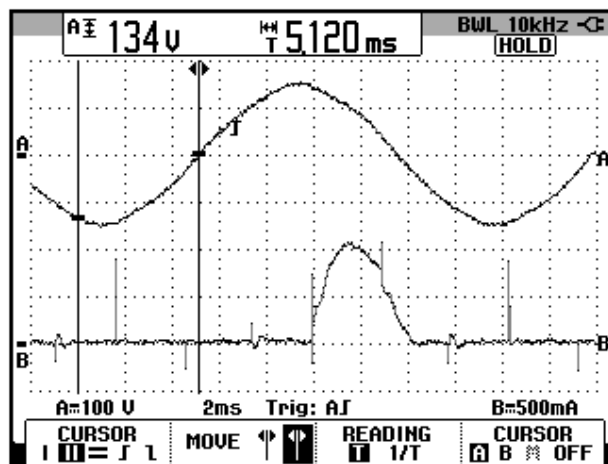


Figura 8.136 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith3).

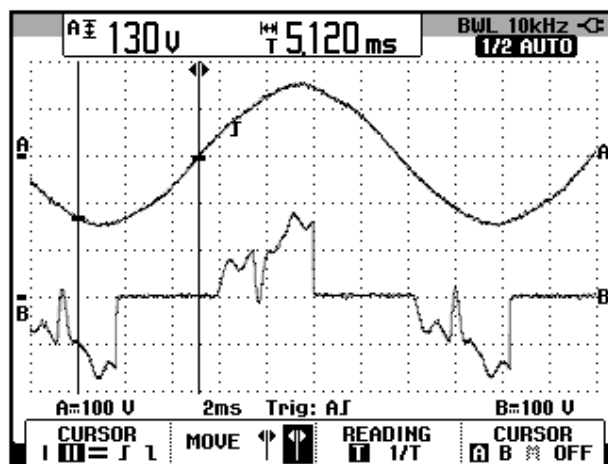


Figura 8.137 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH3 en el controlador AC-AC trifásico unidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth3).

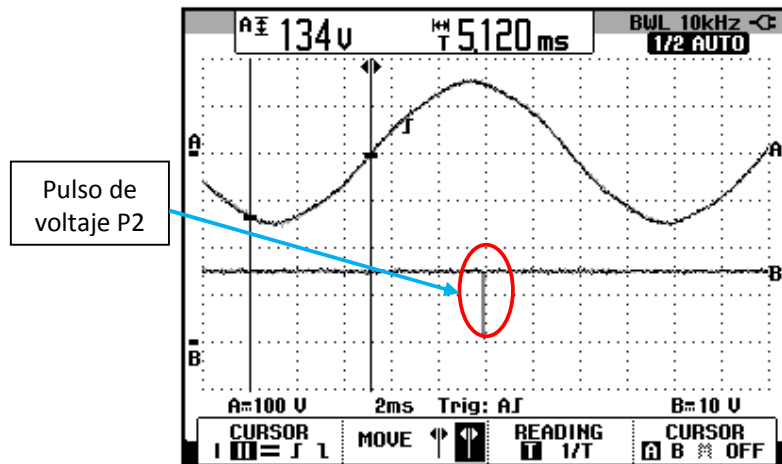


Figura 8.138 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp2).

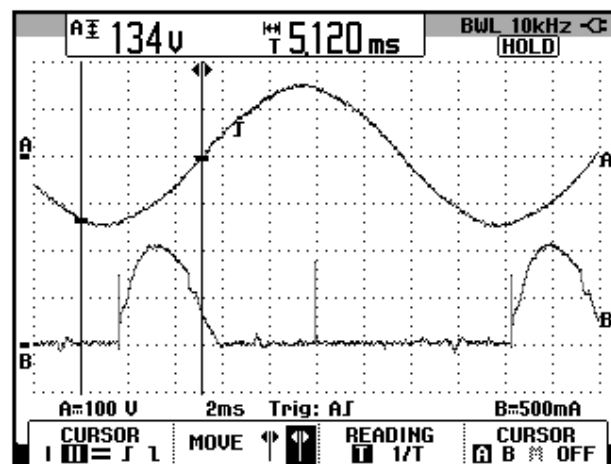


Figura 8.139 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y la corriente a través de TH6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Ith6).

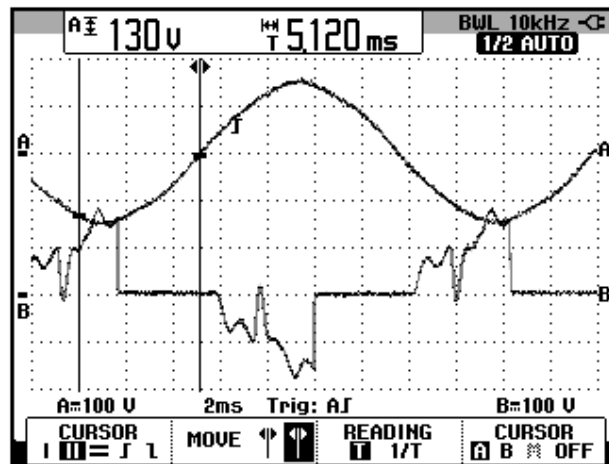


Figura 8.140 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH6 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs2-s0, CH2: Vth6)

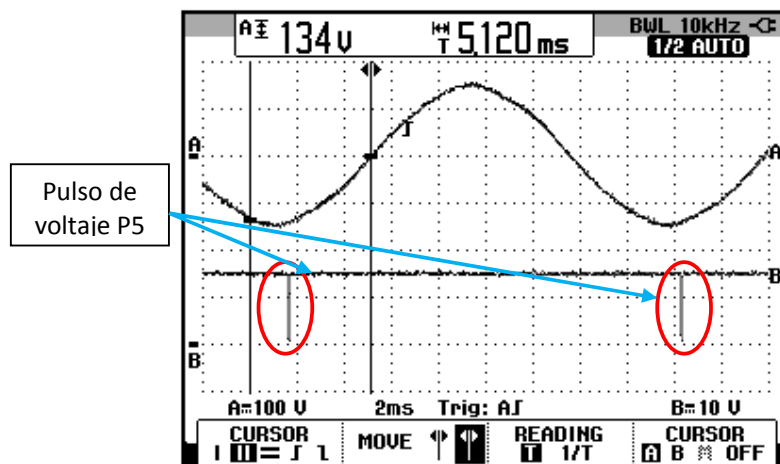


Figura 8.141 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S2-S0 y el pulso de voltaje P5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0, CH2: Vp5).

En el oscilograma de la Fig. 8.142, se muestra el voltaje línea-neutro S1-S0 y el voltaje S3-S0. El ángulo de desfase entre el voltaje S1-S0

y la nueva referencia para los oscilogramas, es decir el voltaje S3-S0 corresponde a aproximadamente 240° . En el oscilograma de la Fig. 8.143, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en la fase R. En el oscilograma de la Fig. 8.144, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y la corriente de salida (R). En el oscilograma de la Fig. 8.145, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH5. En el oscilograma de la Fig. 8.146, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5. En el oscilograma de la Fig. 8.147, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P4. En el oscilograma de la Fig. 8.148, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH2. En el oscilograma de la Fig. 8.149, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH2. En el oscilograma de la Fig. 8.150, se muestra el voltaje en las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P1.

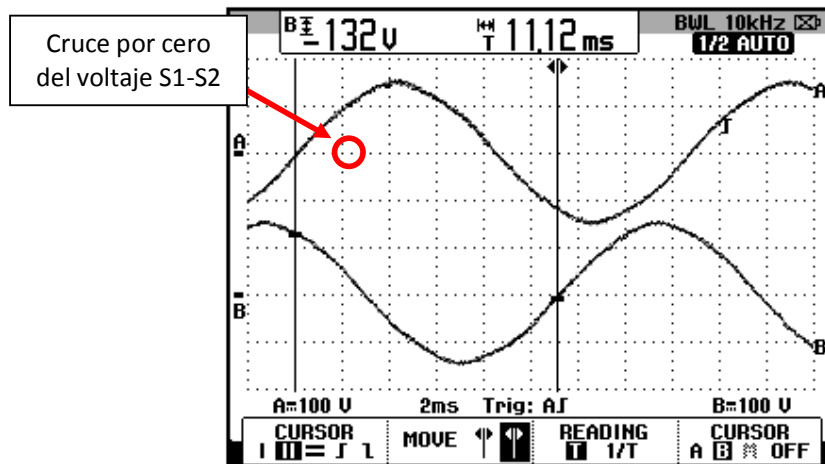


Figura 8.142: Oscilograma que muestra el desfase entre el voltaje S1-S0 y el voltaje en S3-S0 en el convertidor AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs1-s0; CH2: Vs3-s0)

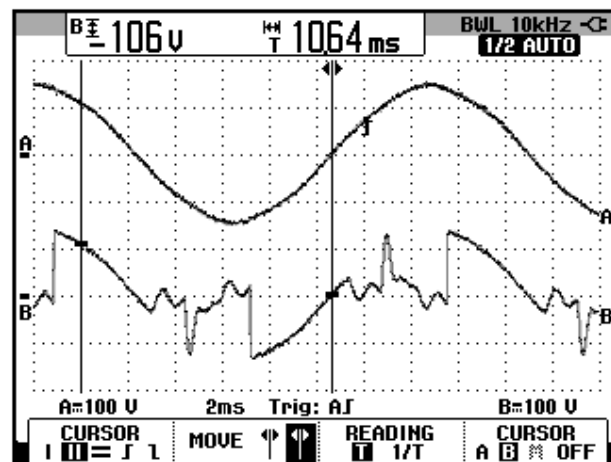


Figura 8.143 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje de salida en la fase R del banco resistivo-inductivo en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Va5-b0(R)).

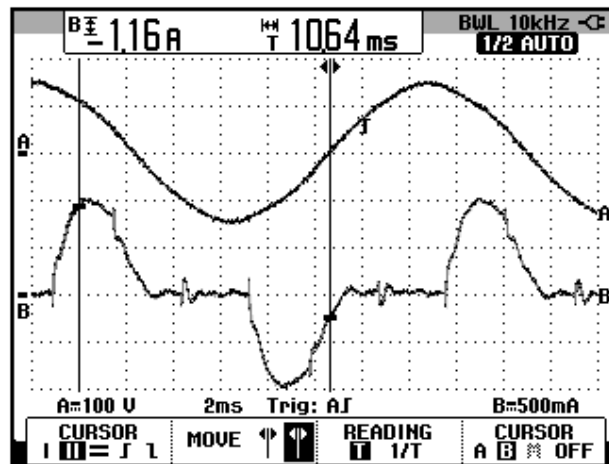


Figura 8.144 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Iout(R)).

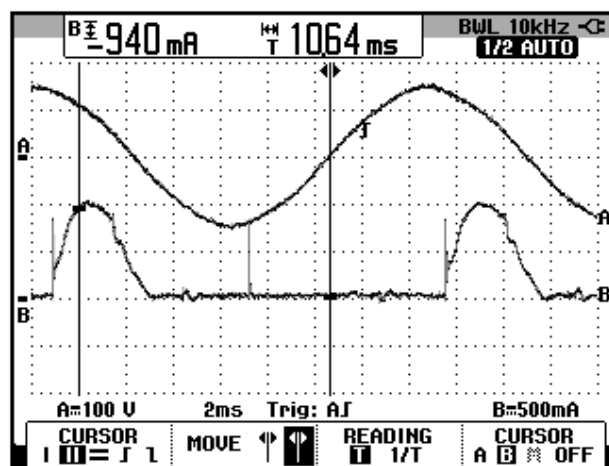


Figura 8.145 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith5).

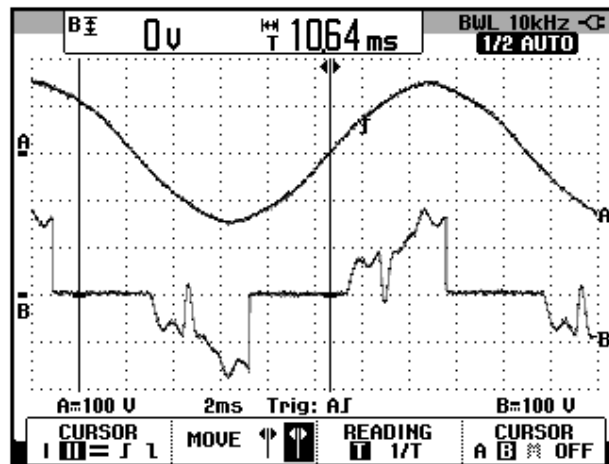


Figura 8.146 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH5 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth5).

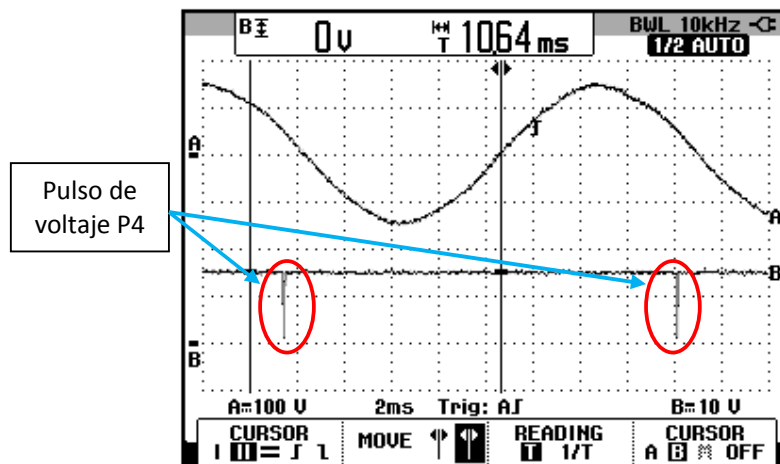


Figura 8.147 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P4 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vp4).

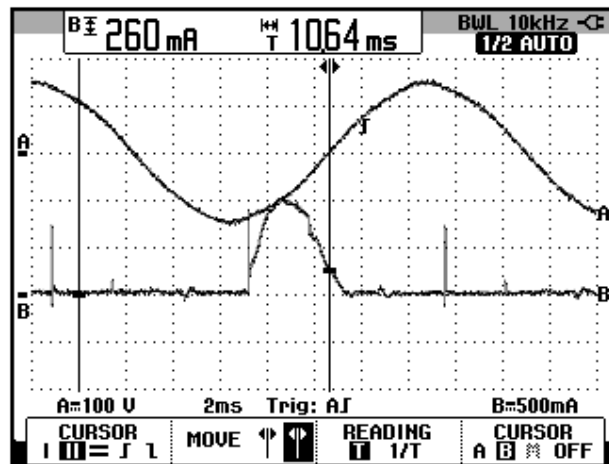


Figura 8.148 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y la corriente a través de TH2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Ith2).

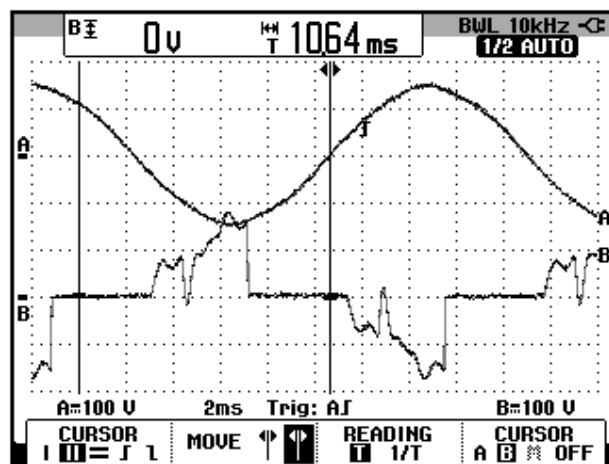


Figura 8.149 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el voltaje ánodo-cátodo a través de TH2 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vth2)

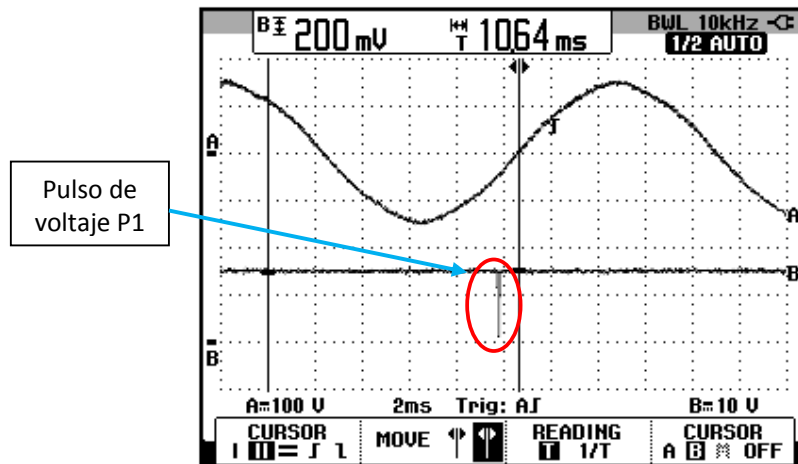


Figura 8.150 Oscilograma que muestra el voltaje de las terminales S3-S0 y el pulso de voltaje P1 en el controlador AC-AC trifásico bidireccional con carga RL y $\alpha=110^\circ$ (CH1: Vs3-s0, CH2: Vp1).

8.5.6. Arranque suave del motor de inducción MV1009 y visualización empleando el osciloscopio Fluke 192B

Realizar las conexiones mostradas en la Fig. 8.151. En resumen, el motor MV1009 debe ser conectado en estrella con neutro. Para identificar las terminales A4, A5, A6 y B0 del controlador AC-AC trifásico, observar la Fig. 8.101, que muestra las conexiones del controlador analizado en el panel superior del drive Mawdsley's.

NOTA: Es importante conectar el neutro del motor hacia la terminal B0.

La generación de pulsos del drive Mawdsley's, obliga a que el motor esté conectado en Y. En arrancadores suaves comerciales, es muy común encontrar que no disponen de neutro dado que la conexión del motor es en delta, para ello emplean otro tipo de generación de pulsos de disparo.

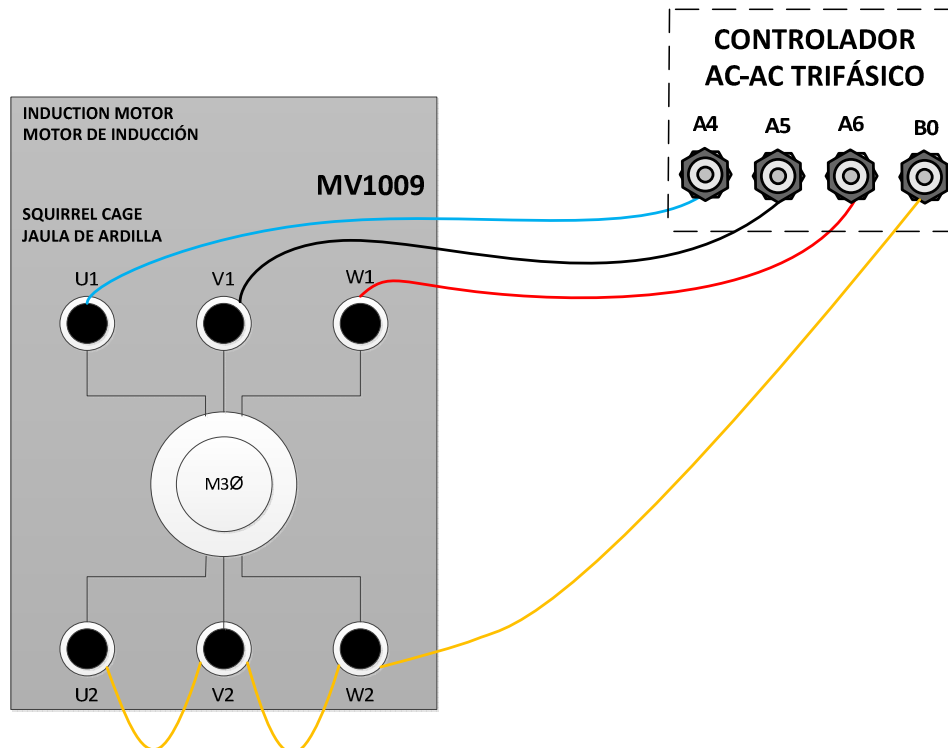


Figura 8.151 Conexión entre el controlador AC-AC trifásico localizado en el panel superior del drive Mawdsley's y el motor AC MV1009

En primer lugar, realizar el procedimiento de energización del circuito de fuerza, indicado en la sección 8.1.2.3.

En el controlador analizado, el ángulo de disparo es medido a partir de 0° después del cruce por cero de un voltaje *línea-neutro* del transformador trifásico, para este caso se empleara el voltaje entre S1 y S0.

A continuación, proceder con el arranque del motor de inducción. Para ello, comprobar que el potenciómetro REFERENCE se encuentre en la posición mínima para evitar un arranque directo, a continuación variarlo

paulatinamente hasta que el motor MV1009 empiece a girar; el intervalo de tiempo correspondiente al ángulo de disparo mínimo para arrancar el motor se muestra en la Fig. 8.152. El voltaje de salida es medido entre las terminales A4 y B0.

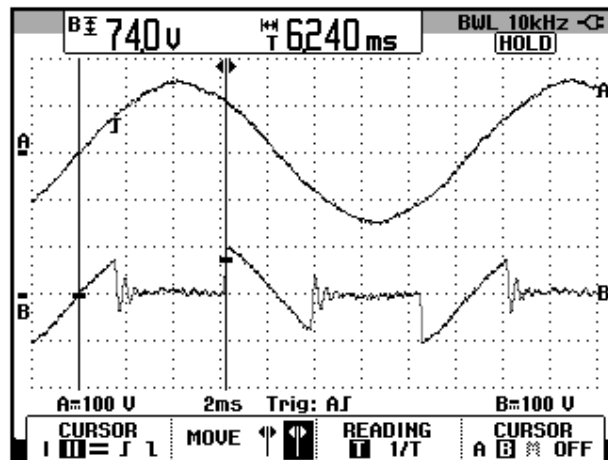


Figura 8.152: Oscilograma que muestra una fase del voltaje de salida y el intervalo de tiempo mínimo para realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Va4-b0)

Este intervalo de tiempo corresponde aproximadamente a 134.8° . El voltaje S1-S0 y la corriente de salida para este ángulo de disparo se muestran en la Fig. 8.153. A continuación ajustar el menú CURSOR hasta que se obtenga una medición ligeramente menor 5.920ms, como se muestra en la Fig. 8.154. Variar el potenciómetro **REFERENCE** hasta que el intervalo de tiempo fijado coincida con el arranque de la corriente. Esto se muestra en la Fig. 8.155. Observar que luego de unos instantes el motor aumenta su velocidad y la corriente del motor tiende a disminuir, sin haber modificado el ángulo

de disparo, como se muestra en la Fig. 8.156. Completar el arranque del motor de inducción MV1009, empleando el potenciómetro **REFERENCE**, hasta que el intervalo de tiempo correspondiente al ángulo de disparo sea de 3.52ms. Este ajuste se muestra en la Fig. 8.157. Notar que el ángulo de disparo ya no puede ser disminuido; corresponde aproximadamente a 76°. En el oscilograma de la Fig. 8.158, se muestra la medición eficaz del voltaje y de la corriente de salida.

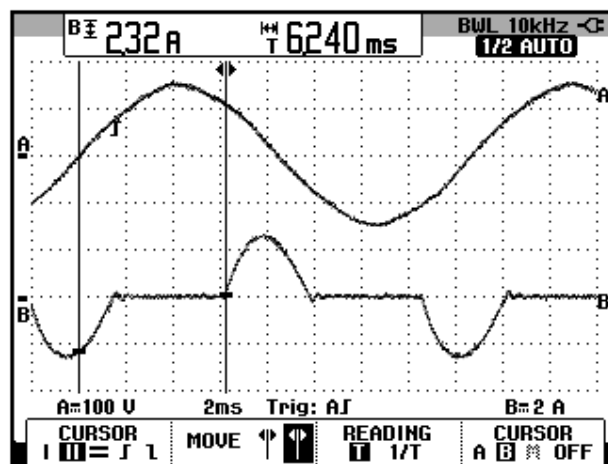


Figura 8.153: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el intervalo de tiempo mínimo para realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: Iu1)

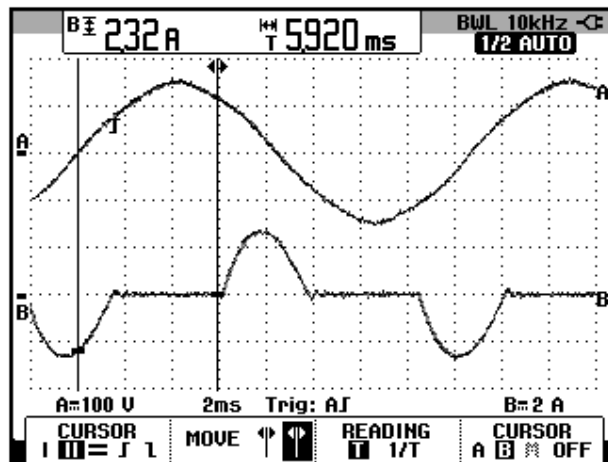


Figura 8.154: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el ajuste horizontal del menú cursor previo a la obtención de la máxima corriente del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1)

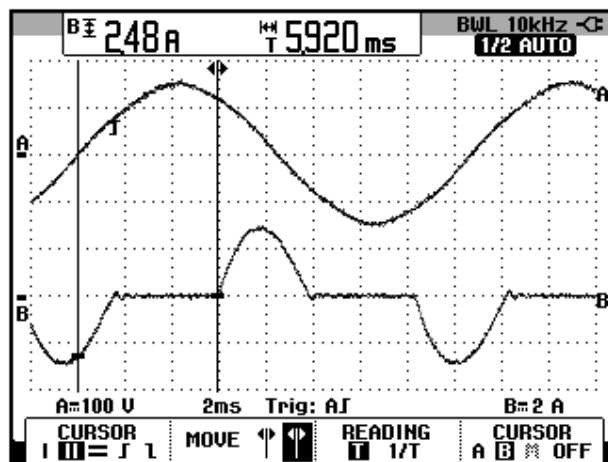


Figura 8.155: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida y el intervalo de tiempo para el cual la corriente alcanza su valor máximo al realizar el arranque suave del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1)

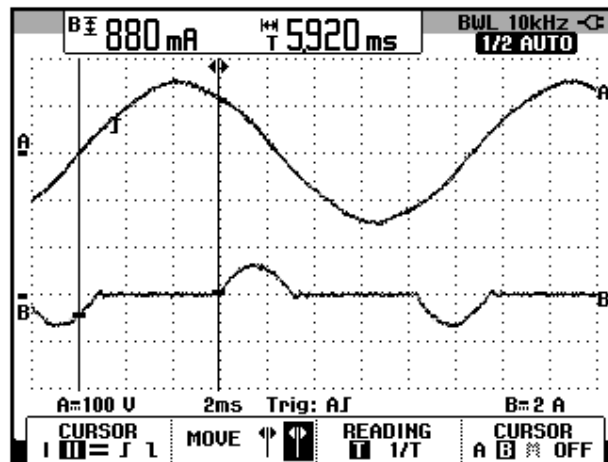


Figura 8.156: Oscilograma que muestra una fase de la corriente de salida en su valor mínimo y velocidad estable del motor AC MV1009 como carga en el controlador AC-AC trifásico bidireccional (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1)

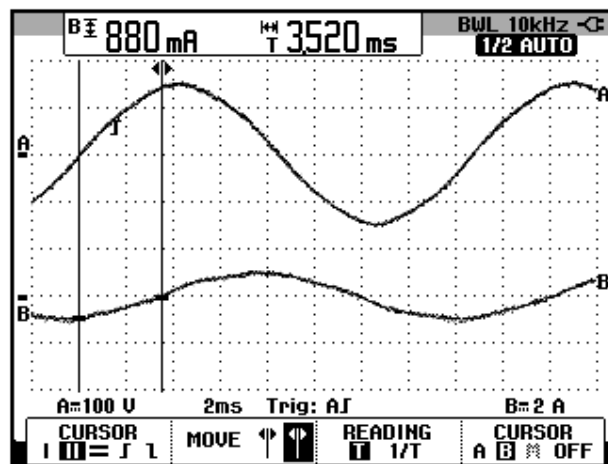


Figura 8.157: Oscilograma que muestra el ajuste del intervalo de tiempo necesario para fijar la velocidad del motor MV1009 en su máximo valor (CH1: Vs1-s0; CH2: lu1)

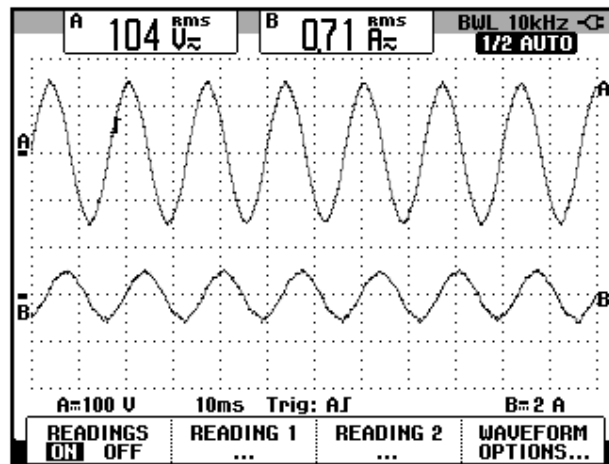


Figura 8.158: Oscilograma y mediciones eficaces de las señales de voltaje y corriente de salida en el controlador AC-AC trifásico bidireccional, el motor AC MV1009 como carga y $\alpha=76^\circ$ (CH1: Va4-b0; CH2: Iu1)

CAPÍTULO 9

APLICACIÓN DE CONVERTIDORES AC-AC TRIFASICOS: USO DEL ARRANCADOR SUAVE ALTISTART 48 Y DE LOS DRIVES PROFESIONALES CON INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN.

El presente capítulo tiene como fin arrancar un motor de inducción, variar parámetros representativos del drive Altistart48 y observar su efecto en las variables del motor como corriente RMS, voltaje RMS, torque y velocidad. Se realiza el arranque en cascada de dos motores de inducción. Se implementan tres tipos de frenado del motor. Se analiza el diagrama eléctrico del panel y la lógica de control que permite el accionamiento del circuito de fuerza.

9.1. Listado de equipos a emplearse en la práctica.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indica a continuación:

- Panel eléctrico Altistart

- Motor AC MV1009
- Motor AC MV1007
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE TACH20.
- Tacogenerador DC MV1024
- Freno MV1045.
- Banco resistivo MV1100.
- Convertidor USB-serial
- Cables de tipo banana

9.2. Presentación y encendido del panel eléctrico Altistart.

En la Fig. 9.1 se muestra una imagen de los dos paneles eléctricos Altistart del Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la Fig. 9.2 se muestra la parte posterior de los dos paneles eléctricos Altistart. En la Fig. 9.3, se muestra una vista del panel frontal del panel eléctrico Altistart. En la Fig. 9.4, se muestra el disyuntor de 32A y el contactor MAIN de 20A. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 9.5, se muestran las características del contactor MAIN de 20A de marca SIEMENS. Este contactor tiene dos contactos auxiliares: un contacto normalmente abierto y un contacto normalmente cerrado. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 9.6, se muestran los contactores BYPASS 1 y BYPASS 2, así como de los porta

fusibles para el drive cuyos fusibles son de tipo rápido y de valor 20A; también se muestran los relés RUN y STOP de 220Vac. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 9.7, se muestran las características de los contactores BYPASS 1 y BYPASS 2 de 9A de marca SIEMENS. Estos contactores tienen dos contactos auxiliares: uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado. En la Fig. 9.8, se muestran los contactores MOTOR 1, MOTOR 2 y TRIFASICO, así como los tres porta fusibles cuyos fusibles son de retardo de tiempo y de valor 16A. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 9.9, se muestran las características de los contactores MOTOR 1 y MOTOR 2 de 8.5A de marca SIEMENS. Este contactor tiene un contacto auxiliar de tipo normalmente abierto. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 9.10, se muestran las características del contactor TRIFASICO de 15A de marca SIEMENS. Este contactor tiene dos contactos auxiliares: un contacto normalmente abierto y un contacto normalmente cerrado.



Figura 9.1: Paneles eléctricos Altistart: réplica (izquierda) y original (derecha).



Figura 9.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Altistart: original (izquierda) y réplica (derecha).

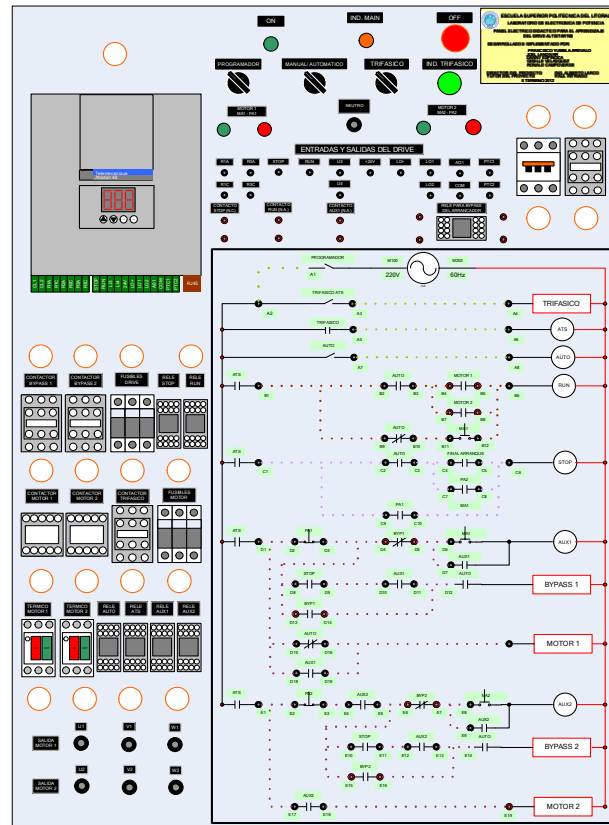


Figura 9.3: Vista frontal del panel eléctrico Altistart.

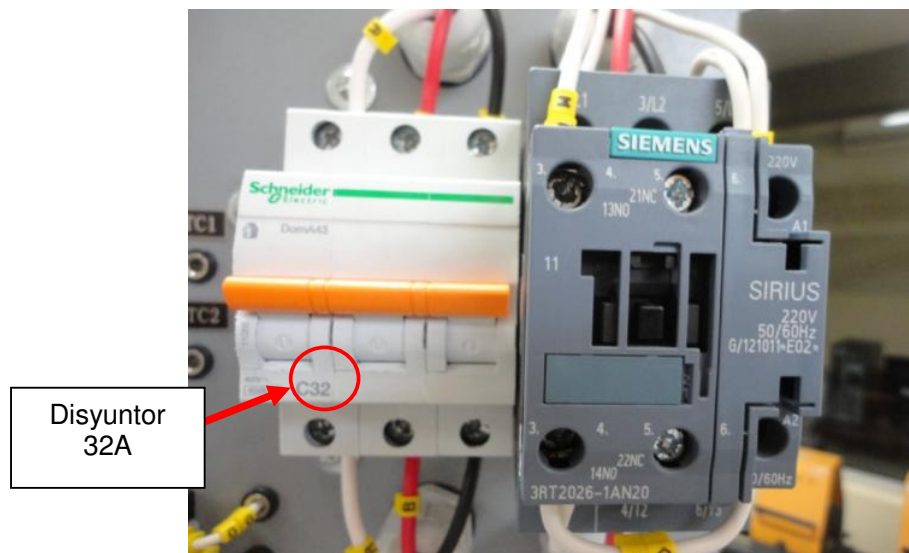


Figura 9.4: Disyuntor de 32A y el contactor MAIN de 20A.

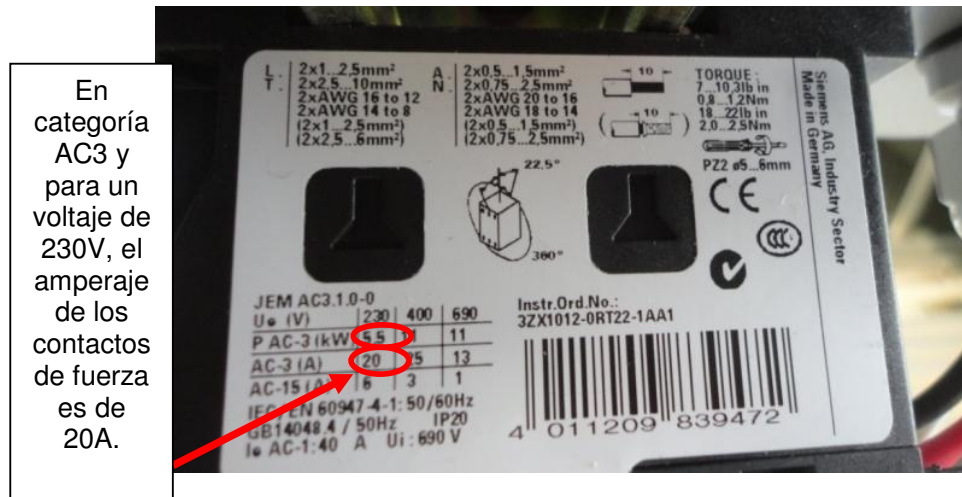


Figura 9.5: Características del contactor MAIN de 20A.

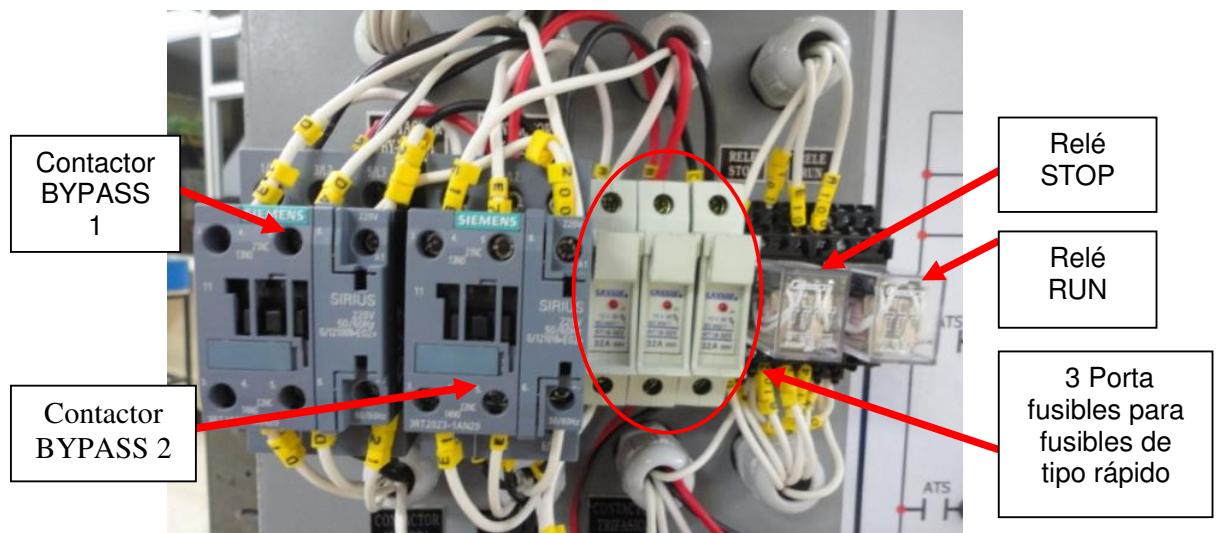
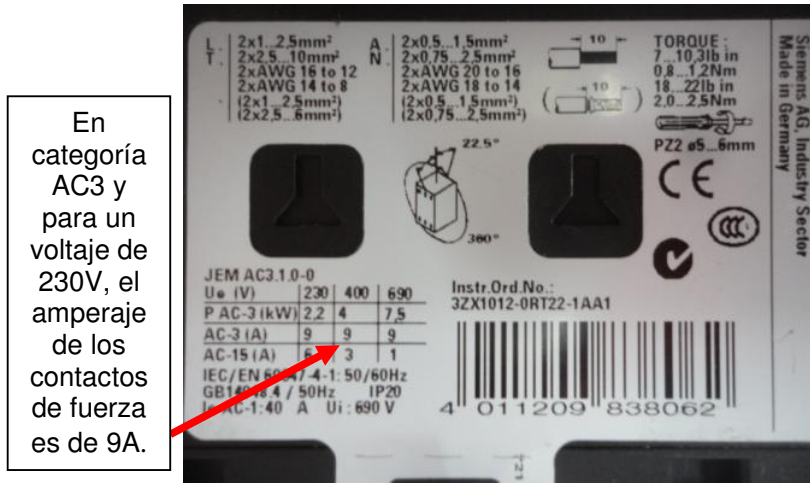


Figura 9.6: Contactores BYPASS 1 y BYPASS 2, tres porta fusibles con fusibles rápidos de 20A y relés STOP y RUN de 220Vac.



En categoría AC3 y para un voltaje de 230V, el amperaje de los contactos de fuerza es de 9A.

Figura 9.7: Características de los contactores BYPASS 1 y BYPASS 2 de 9A.

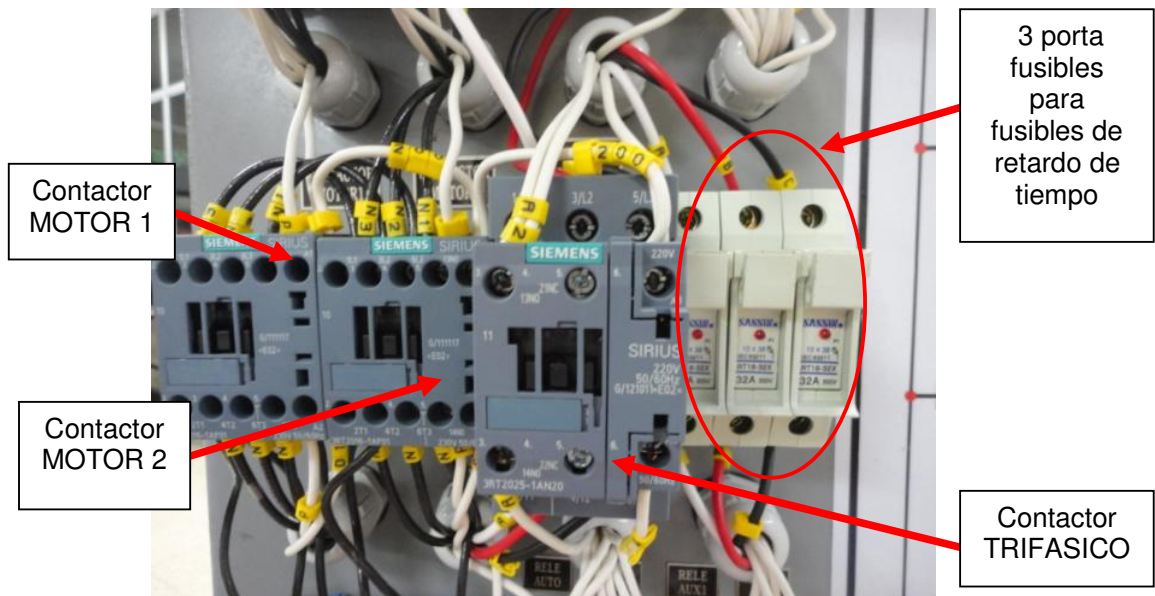


Figura 9.8: Contactores MOTOR 1, MOTOR 2 y TRIFASICO; tres porta fusibles con fusibles de retardo de tiempo de 16A.

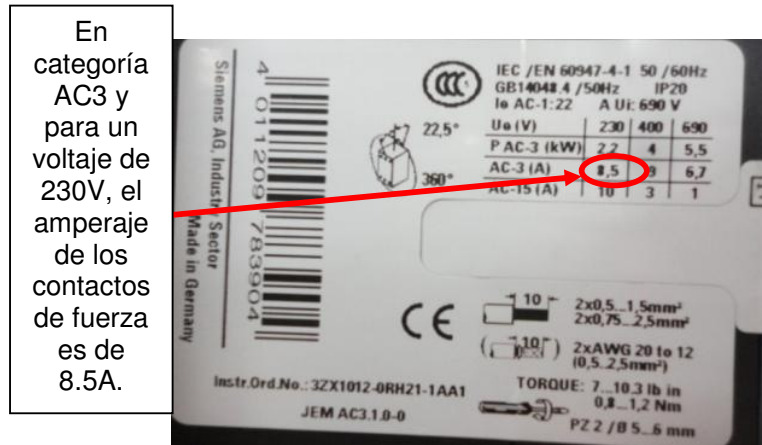


Figura 9.9: Características de los contactores MOTOR 1 y MOTOR 2 de 8.5A.

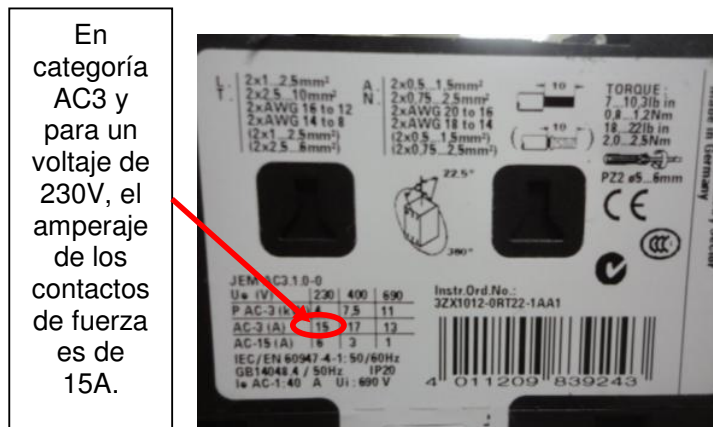


Figura 9.10: Características del contactor TRIFASICO de 15A.

En la Fig. 9.11, se muestran los dos relés térmicos para los motores a emplear; el ajuste de la sobrecarga del primer relé térmico corresponde a 7A, dado que es el valor de la corriente nominal del motor MV1009 conectado en delta; la corriente nominal del motor MV1007 conectado en delta es 8A, por ello este es el ajuste de la sobrecarga del segundo relé

térmico. Se muestran también los relés AUTO, ATS, AUX1 y AUX2; la bobina de los mismos es de 220Vac.

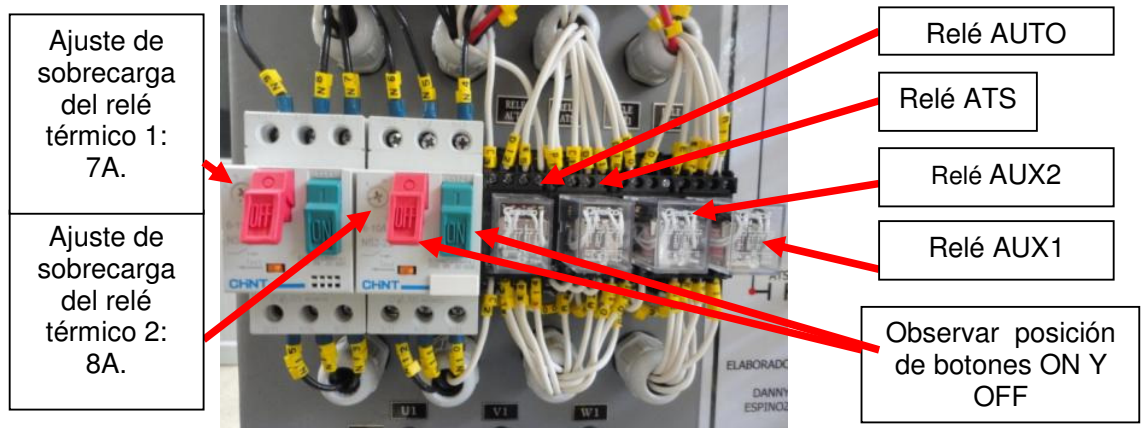


Figura 9.11: Contactores MOTOR 1 y MOTOR 2 y los relés AUTO, ATS, AUX1 y AUX2 de 220Vac.

En la Fig. 9.12, se muestra el valor del voltaje de la bobina de los seis relés de control: STOP, RUN, AUTO, ATS, AUX1 y AUX2; la bobina puede ser energizada con un rango de voltajes de 220Vac a 240Vac. Adicionalmente, se muestra la identificación de las terminales de cada relé para su comparación con la numeración mostrada en cada base de relé también denominada como socket. En la Fig. 9.13, se muestran las terminales para conexión a los motores 1 y 2.

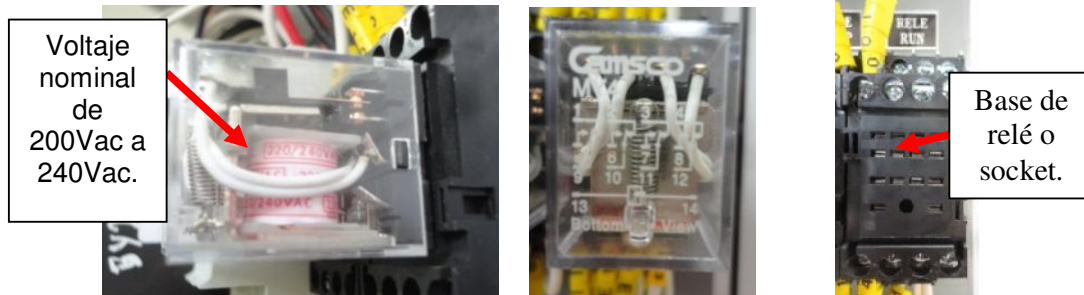


Figura 9.12: Voltaje de alimentación de las bobinas de los seis relés de control, identificación de las terminales de cada relé y socket.



Figura 9.13: Dos ternas de terminales para conexión a los motores 1 y 2.

En la Fig. 9.14, se muestran las botoneras de ON, de marcha y paro de los dos motores, de emergencia OFF, los selectores PROGRAMADOR, MANUAL/AUTOMATICO y TRIFASICO, las lámparas indicadoras MAIN y TRIFASICO, y el relé FINAL DE ARRANQUE, cuya bobina se encuentra en serie con el contacto de fin de arranque del drive Altistar 48 disponible en las borneras R2A y R2C del mismo; la bobina de este relé es energizada con 120Vac y es el único relé con este tipo de alimentación en el panel eléctrico Altistart. En los contactos auxiliares del relé mencionado se toleran voltajes de hasta 220Vac. En el panel eléctrico Altistart se pone a disposición del

usuario las borneras del drive, las cuales han sido identificadas como ENTRADAS/SALIDAS DEL DRIVE. Se tiene a disposición un contacto normalmente cerrado del relé STOP, un contacto normalmente abierto de los relés RUN y AUX2. Adicionalmente, se tiene acceso al potencial neutro. Es importante mencionar que la posición en la que se encuentran los selectores es la que debe ajustar previo a la energización del panel.

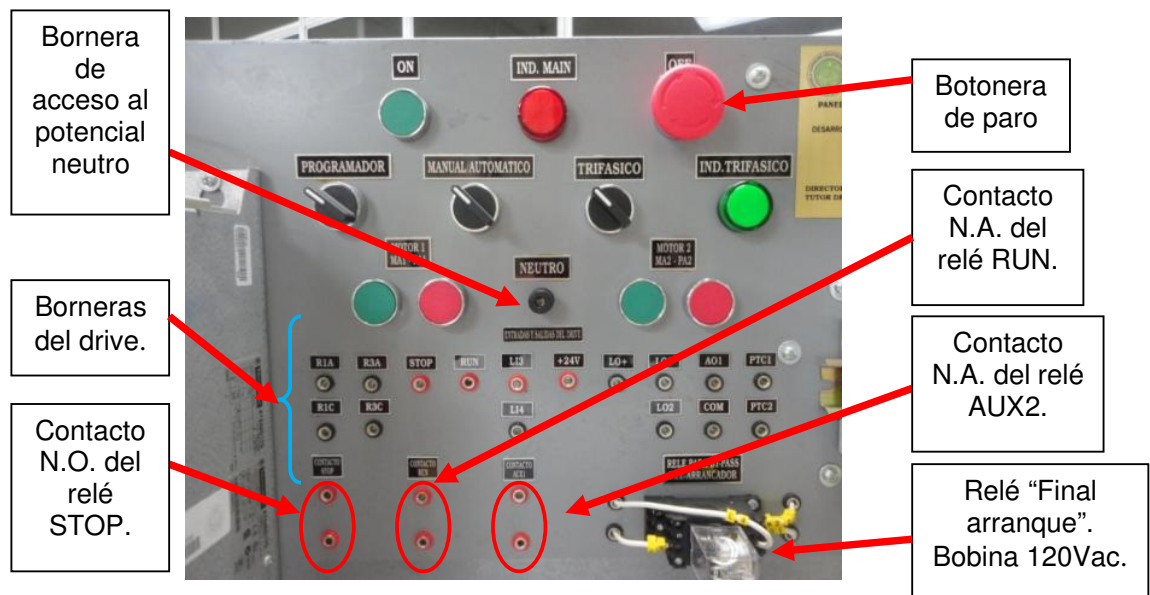


Figura 9.14: Botoneras, selectores, lámparas indicadoras, borneras del drive, relé FINAL ARRANQUE, terminal neutro y contactos auxiliares de los relés STOP, RUN y AUX2.

En la Fig. 9.15 se muestra el diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altistart original, en el mismo se observan el disyuntor, los contactores mencionados anteriormente, los relés térmicos, los fusibles rápidos y de retardo de tiempo, las terminales para conexión de los motores y el drive Altistart 48.

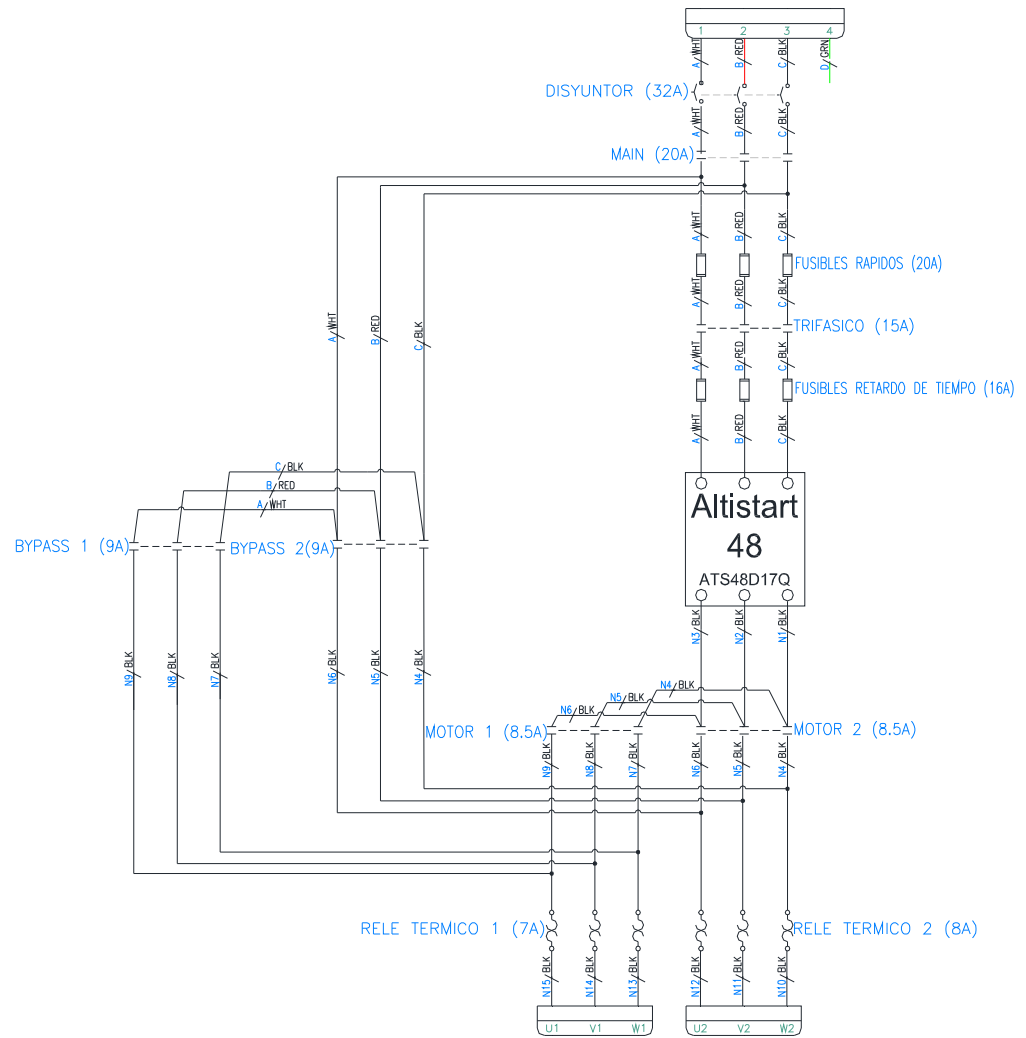


Figura 9.15: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altistart original.

El panel eléctrico Altistart tiene dos modos de funcionamiento: manual y automático. En el modo manual se emplea el drive Altistart 48 para arrancar y detener un motor conectado a las terminales U1, V1 y W1. En el modo automático, se realiza el arranque en cascada de dos motores de inducción. En primer lugar, al presionar la botonera MA1, se arranca el motor conectado a las terminales U1, V1 y W1 empleando el drive Altistart 48;

cuando finaliza el arranque realizado por el drive, automáticamente se detiene el drive y se repone el contactor MOTOR 1 y a continuación se acciona el contactor BYPASS 1. Luego de este evento, al presionar MA2, se acciona el contactor MOTOR 2 y empleando el drive, se arranca el motor conectado a las terminales U2, V2 y W2; al finalizar el arranque, de forma automática, se detiene el drive y se repone el contactor MOTOR 2 y seguidamente se acciona el contactor BYPASS 2; de esta forma los dos motores permanecen funcionando en paralelo y conectados directamente a la alimentación trifásica del Laboratorio. Para detener los motores se emplean las botoneras PA1 y PA2. Las restricciones del funcionamiento del panel eléctrico serán expuestas posteriormente.

En la Fig. 9.15 se observa que el disyuntor de 32A y el contactor MAIN de 20A están dimensionados para soportar la corriente máxima del drive, que corresponde a 17A, y también para soportar la corriente nominal de los dos motores cuando funcionan en paralelo al final del modo automático. Adicionalmente, se observa que los contactores MOTOR 1 y MOTOR 2, limitan la circulación de la corriente de los motores a aproximadamente su valor nominal, en estado estable.

El funcionamiento de los contactores está regido por la lógica de relés mostrada en la Fig. 9.16. Efectuar en el panel eléctrico Altistart, las conexiones mostradas en esta figura; observar las conexiones en la sección de entradas y salidas del drive. El banco resistivo MV1100 conectado a las terminales A01 y COM permite observar la variación de una salida

analógica, la cual será configurada para que sea el torque del motor; la salida analógica es de corriente. Ajustar la resistencia del banco en 250Ω . Además, se emplean dos motores de inducción: MV1009, que corresponde a un motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla y la máquina MV1007 que corresponde a un motor de inducción con rotor tipo anillos rozantes; se han cortocircuitado los anillos rozantes. Adicionalmente, se ha acoplado el motor MV1009 al freno MV1045 junto con el tacogenerador DC MV1024. Verificar que los tres selectores del panel eléctrico Altistart se encuentren en la posición mostrada en la Fig. 9.16, es decir señalando hacia la izquierda. Finalmente, conectar el panel eléctrico a la toma trifásica del Laboratorio.

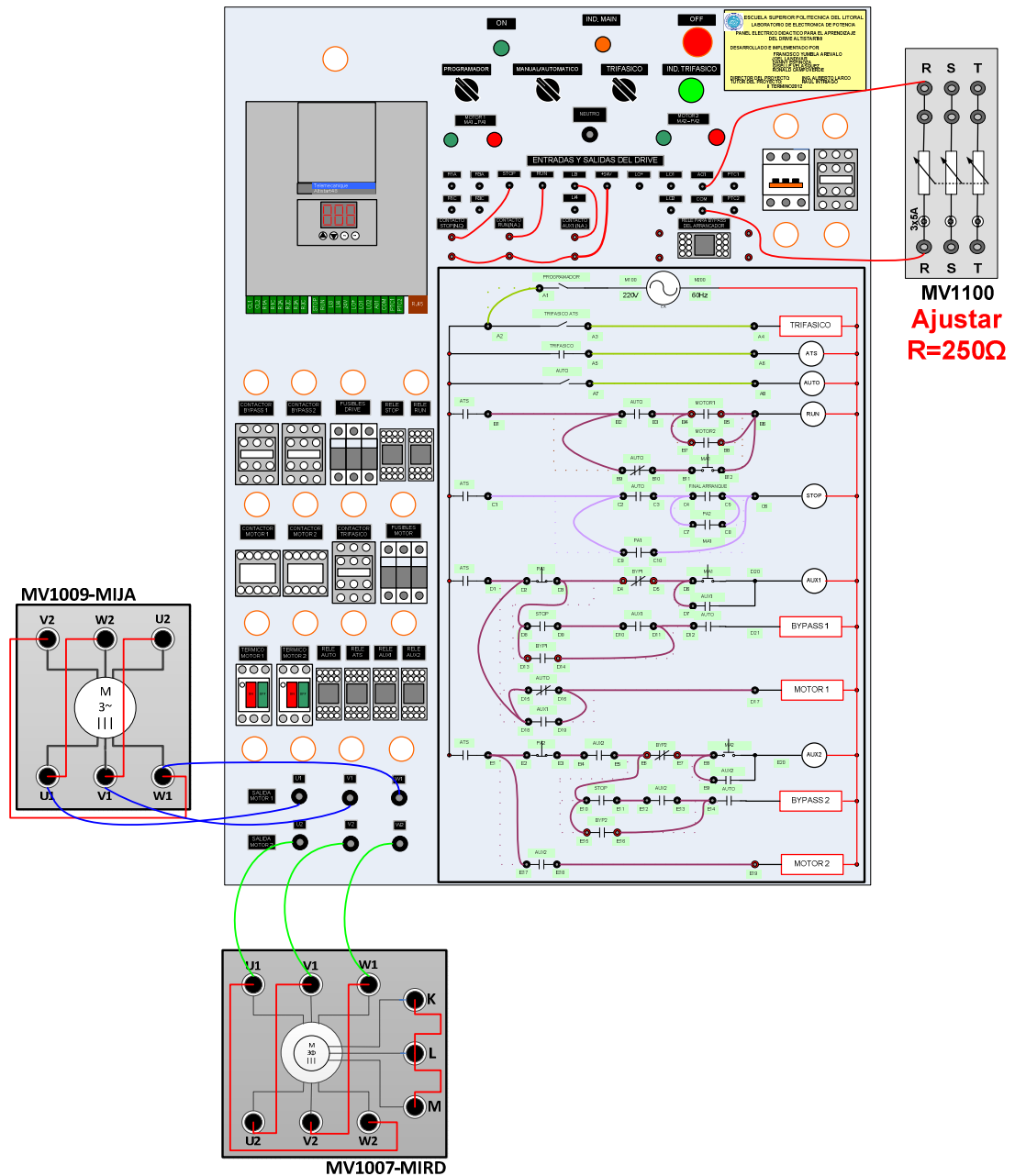


Figura 9.16: Lógica de relés y contactores para el control del circuito de fuerza del panel eléctrico Altistart original, conexiones hacia los motores de inducción junto con las conexiones hacia las borneras RUN, STOP y LI3 del drive y conexión de la salida analógica A01 al banco resistivo MV1100.

Para operar el panel eléctrico en modo manual, verificar que el selector MANUAL/AUTOMATICO se encuentre en la posición MANUAL luego accionar el disyuntor; seguidamente, al presionar la botonera ON, se encenderá la lámpara indicadora IND. MAIN. Proseguir con el accionamiento del selector PROGRAMADOR; de esta forma es posible encender la interfaz de programación del drive para parametrizarlo, sin necesidad de proveer tensión trifásica en las borneras L1, L2 y L3 del drive. En el documento adjunto “Diagrama eléctrico completo - Panel eléctrico Altistar.dwg”, se detalla el diagrama eléctrico completo del panel. En la Fig. 9.17 se muestra la interfaz del drive luego de realizar los pasos señalados. Imagen tomada del panel eléctrico original. El mensaje nLP indica que el drive no tiene tensión en las terminales L1, L2 y L3.

En la Fig. 9.18 se muestran las características del drive Altistar48.

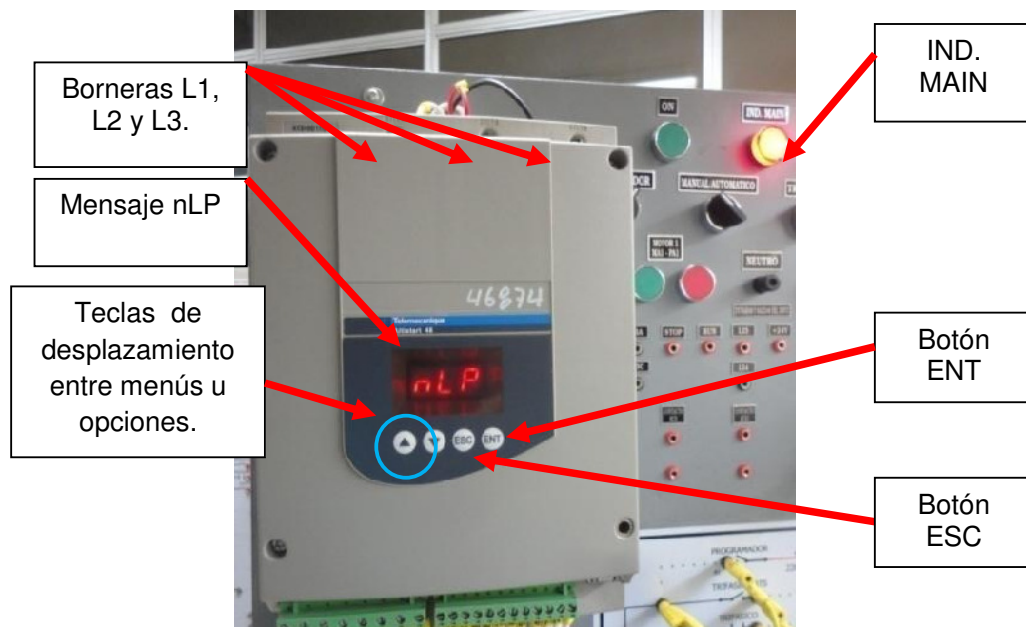


Figura 9.17: Encendido del indicador IND. MAIN y de la interfaz de programación del drive Altistar48



Figura 9.18: Características del drive Altistart 48.

9.3. Parametrización del drive Altistart48.

En la interfaz del drive, se busca un menú en particular con las teclas de desplazamiento, y con la tecla ENT se accede al menú elegido o se acepta una opción dentro de un submenú. Para regresar a un menú anterior se presiona la tecla ESC.

Previo a la parametrización del drive, se procederá a retornar los parámetros del drive a sus ajustes de fábrica para borrar alguna parametrización realizada en una práctica anterior. Para ello, acceder al menú Ajustes Avanzados drC y luego al submenú FCS; elegir la opción YES y luego presionar durante dos segundos la tecla ENT. Finalmente, ocurrirá un parpadeo de la opción YES confirmando la opción elegida. El procedimiento se muestra en la Fig. 9.19. Es útil realizar este procedimiento cuando ocurre una falla en el drive.



Figura 9.19: Procedimiento para retornar los parámetros del drive a sus ajustes de fábrica.

Los parámetros de fábrica más comunes del drive se resumen a continuación.

- Corriente nominal del motor (In): 14.8
- Corriente de limitación (ILt): 400% de la corriente In del motor.
- Rampa de aceleración (ACC): 15 segundos.
- Torque inicial en el arranque (tq0): 20% del par nominal.
- Parada (StY): Parada en rueda libre (-F-)
- Protección térmica del motor (tHP): curva de protección de clase 10
- Visualización: rdY (arrancador listo) con tensión en borneras L1, L2, L3 y en las terminales CL1, CL2 (220V para encender la interfaz del drive); dado que no se ha accionado el selector TRIFASICO, la visualización es nLP.
- Entradas lógicas:
 - LI1: STOP
 - LI2: RUN
 - LI3: Forzado de parada en rueda libre (LIA)
 - LI4: Forzado en modo local (LIL)

- Salidas lógicas:
 - LO1: Alarma térmica del motor (tA1)
 - LO2: Motor alimentado(rnl)
- Salidas de relé:
 - R1: Relé de fallo (rll)
 - R2: Relé de by-pass al final de arranque. El contacto de este relé se encuentra entre las terminales R2A y R2C. Este contacto esta conectado en serie con la bobina del relé externo FINAL ARRANQUE. Ver Fig. 9.14. El contacto del relé de by-pass al final de arranque, permanecerá cortocircuitado luego de que el drive finaliza el arranque y se repondra cuando se envia una señal de STOP al drive.
 - R3: Motor alimentado (rnl)
- Salidas analógica:
 - AO: Corriente del motor (OCr, 0 – 20 mA)
- Parámetros de comunicación:
 - Conectado a traves del enlace serie, el arrancador tiene la direccion logica (Add)=<< 0 >>
 - Velocidad de transmisión (tbr): 19200 bits por segundo
 - Formato de comunicación (FOr): 8 bits, sin paridad, 1 bit de parada (8n1)

Para proceder a parametrizar el drive, tomar en cuenta los datos de placa del motor MV1009 de código de inventario 20835-2 mostrados en la Fig. 9.20. El máximo voltaje de salida que puede entregar el drive al motor es de

208Vrms y en la primera fila de datos se observa que para una conexión en delta del estator, el voltaje máximo rms de línea-línea es de 220V, que es el valor más cercano a 208V (Ver Fig. 9.31). Bajo estas condiciones, la corriente máxima del drive es de 6.95A. Estos datos de placa fueron mostrados en el capítulo 1. El primer menú a parametrizar es el menú SEt, el cual contiene los ajustes que van a regular el arranque y parada del motor. En la Fig. 9.21 se observa la interfaz del drive mostrando el menú SEt.



Figura 9.20: Placa del motor MV1009 de código de inventario 20835-2



Figura 9.21: Interfaz del drive mostrando el menú SEt

Las diferentes opciones con sus valores a configurar se muestran a continuación:

- In: Corriente nominal del motor. Comprendido entre entre 0,4 y 1,3 ICL donde ICL es el calibre del arrancador. En el drive empleado, ICL es de 17A como se aprecia en la Fig. 9.18, por ende In puede variar entre 6.8 y 22.1. Verificar esto en el drive. El valor ajustado es de 7.0. En la Fig. 9.22 se muestra la parametrización.



Figura 9.22: Interfaz del drive mostrando el ajuste de In.

- ILt: Corriente de limitación, valor máximo de corriente del motor en el arranque, expresada en % de In. El rango de ajuste es de 150 a 700%. Su ajuste es 400. En la Fig. 9.23 se muestra la parametrización.

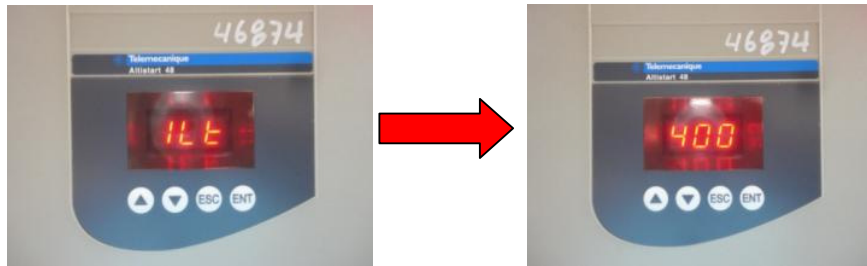


Figura 9.23: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ILt.

- ACC: Tiempo de rampa de aceleración, tiempo de crecimiento del par de arranque entre 0 y el par nominal C_n en segundos. Luego de la parametrización realizada, se observa en el drive que C_n corresponde a 60. Se ajusta ACC en 15. En la Fig. 9.24 se muestra la parametrización.

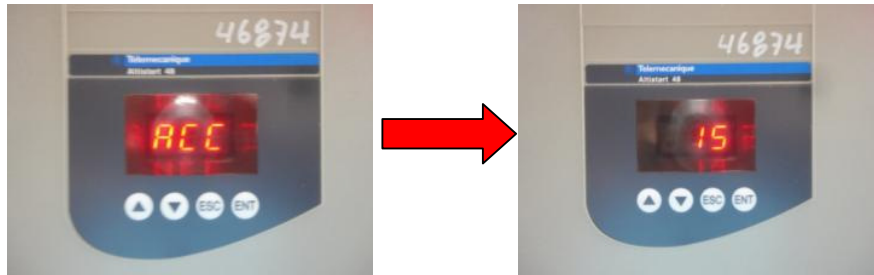


Figura 9.24: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ACC.

- t_{q0} : Par inicial de arranque, varía de 0 al 100 % del par nominal. Su ajuste es 20. En la Fig. 9.25 se muestra la parametrización.



Figura 9.25: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tq0.

- StY: Selección del tipo de parada. El drive Altistart 48 dispone de tres tipos de frenado, los cuales se detallan a continuación:
 - -d-: parada en deceleración por control de par, de manera progresiva evitando una parada brusca.
 - -b-: parada en frenado dinámico, genera un par de frenado para garantizar la ralentización en caso de inercia importante.
 - -F-: parada en rueda libre, no se aplica ningún par. Esta es la opción seleccionada, lo cual se muestra en la Fig. 9.26.



Figura 9.26: Interfaz del drive mostrando el ajuste de StY.

Luego de configurar el menú SEt, se procede con el menú de protección PrO.

En la Fig. 9.27 se observa la interfaz del drive mostrando el menú PrO.

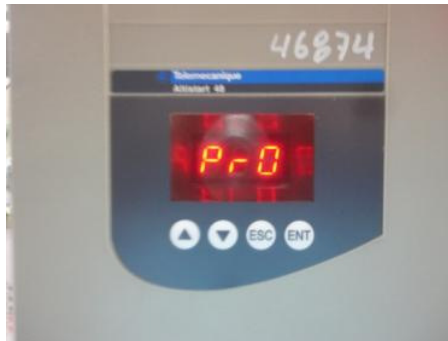


Figura 9.27: Interfaz del drive mostrando el menú PrO.

Se configuran únicamente los siguientes parámetros:

- **tbS:** Tiempo antes del re arranque. Evita arranques consecutivos demasiado próximos que pueden calentar en exceso el motor. La temporización inicia a partir del paso en rueda libre. El re arranque se efectúa luego de la temporización configurable de 0 a 999 segundos. Se ajusta en 15, dado que es el tiempo en segundos que le toma al motor detenerse cuando está acoplado al freno MV1045. Esto se muestra en la Fig. 9.28.

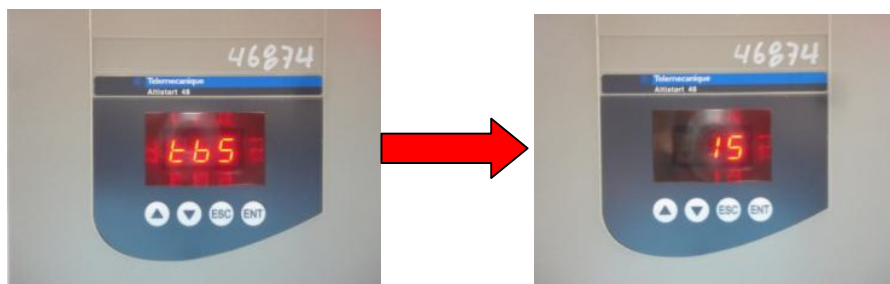


Figura 9.28: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tbS.

- **PHL:** Umbral de pérdida de fase. Si la corriente del motor pasa a ser inferior a este umbral, ajustable entre el 5% y el 10% del calibre del

drive (ICL=17A), el drive se bloquea y muestra el fallo PHF. Se ajusta en 6. Esto se muestra en la Fig. 9.29.

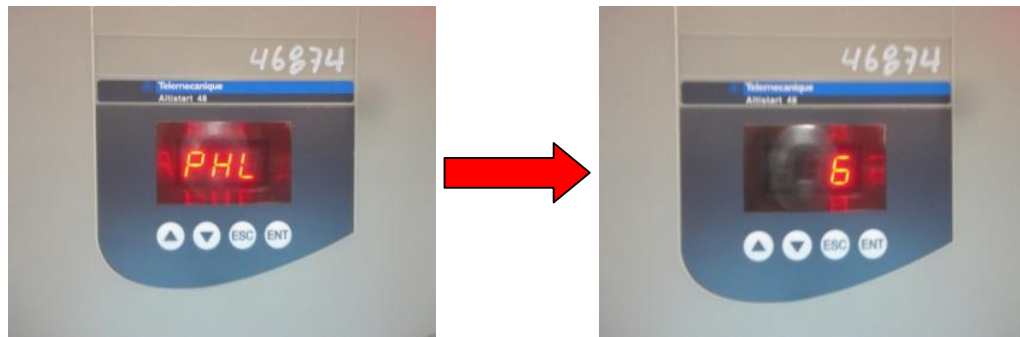


Figura 9.29: Interfaz del drive mostrando el ajuste de PHL.

Luego de configurar el menú PrO, se procede con el menú de Ajustes avanzados drC, el cual contiene características y funciones especiales para el control del motor.

En la Fig. 9.30 se observa la interfaz del drive mostrando el menú drC.



Figura 9.30: Interfaz del drive mostrando el menú drC.

Se configuran únicamente los siguientes parámetros:

- ULn: Tensión de la red. 170V a 460V. Se ajusta en 208. Esto se muestra en la Fig. 9.31.

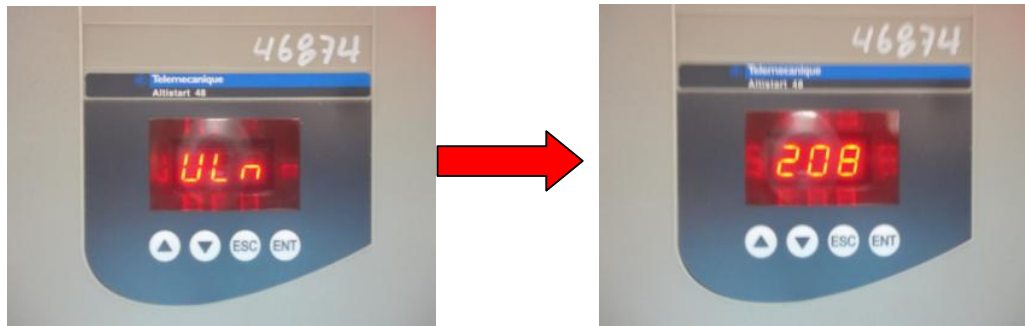


Figura 9.31: Interfaz del drive mostrando el ajuste de ULn.

- FrC. Frecuencia de red (tolerancia de control de fallo de frecuencia $FrF = \pm 20\%$). Se ajusta en 60H. Esto se muestra en la Fig. 9.32.



Figura 9.32: Interfaz del drive mostrando el ajuste de FrC.

Continuar con la parametrización del menú de Ajustes avanzados IO, el cual configura las funciones de las entradas y salidas del arrancador. En la Fig. 9.33 se observa la interfaz del drive mostrando el menú IO.



Figura 9.33: Interfaz del drive mostrando el menú IO.

Se configuran únicamente los siguientes parámetros:

- LI3: Asignación de entrada lógica. Se asigna LIS. Esto se muestra en la Fig. 9.34. Al ser asignado el parámetro LIS a una entrada lógica, se habilita la configuración del menú St2, el cual permite el ingreso de los parámetros de un segundo motor para realizar un arranque en cascada. La bornera LI3 disponible en el panel, recibirá 24V, en el instante que el contacto normalmente abierto del rele AUX 2 se accione. En el instante que LI3 reciba 24V, el arrancador toma en cuenta los parámetros de un segundo motor.

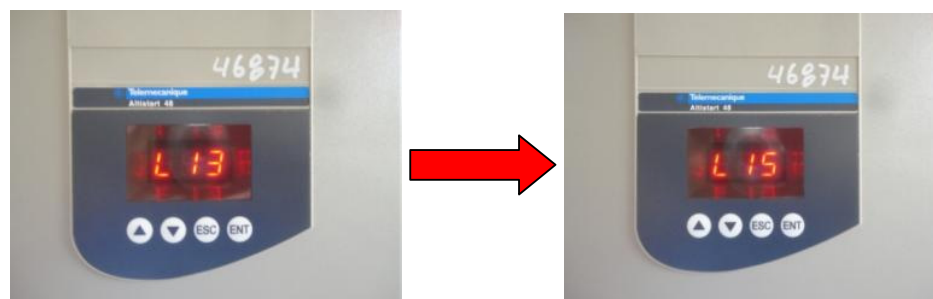


Figura 9.34: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LI3.

- LI4: Asignación de las entradas lógicas. Se asigna no. Esto se muestra en la Fig. 9.35.

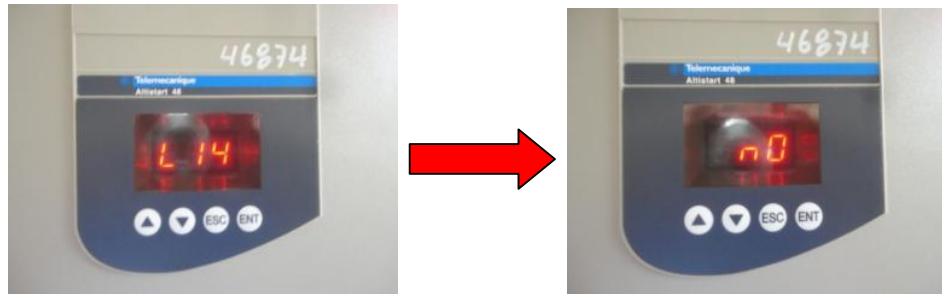


Figura 9.35: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LI4.

Las entradas lógicas LI3 y LI4 pueden ser configuradas con los siguientes parámetros:

- no: Sin asignar.
- LIA: forzado de parada en rueda libre.
- LIE: fallo externo, activa el fallo EtF.
- LIH: Calentamiento previo del motor.
- LIL: Forzado en modo de control local.
- LII: Inhibición de todas las protecciones.
- LIt: Rearme del fallo térmico del motor.
- LIC: Activación de la función de cascada.
- LIr: Rearme de los fallos.
- LIS: activación del segundo juego de parámetros del motor.

La entrada lógica LI3 se configura con el parámetro LIS, es decir que cuando exista un nivel de voltaje alto en la entrada LI3 se tomaran en cuenta los parámetros de un segundo motor.

Continuando con las opciones del menu IO, se tiene:

- LO1: Asignación a una salida lógica. Se asigna no. Esto se muestra en la Fig. 9.36.

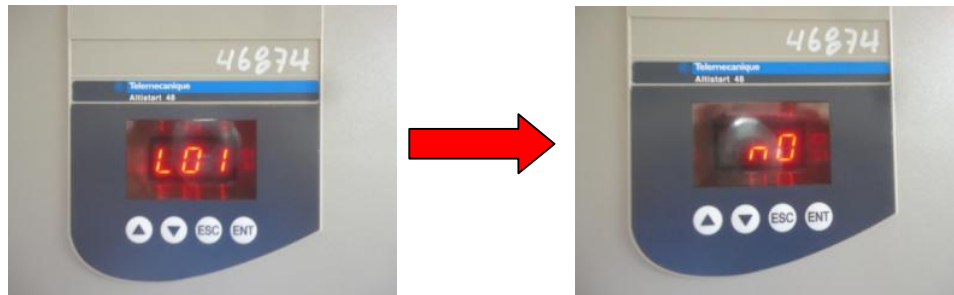


Figura 9.36: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LO1.

- LO2: Asignación a una salida lógica. Se asigna no. Esto se muestra en la Fig. 9.37.

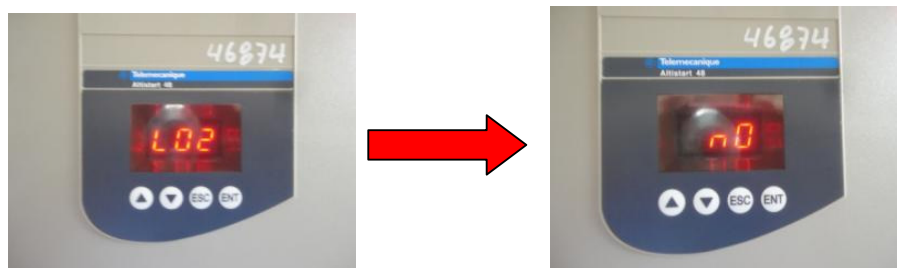


Figura 9.37: Interfaz del drive mostrando el ajuste de LO2.

Las salidas lógicas LO1 y LO2 pueden ser configuradas con los siguientes parámetros:

- no: Sin asignar.
- tAl: alarma térmica del motor.
- rnl: motor alimentado.
- AIL: alarma de corriente del motor.
- AUL: alarma de subcarga del motor.

- APC: alarma de la sonda PTC del motor.
- AS2: segundo juego de parámetros de motor activado.

Continuando con las opciones del menú IO, se tiene:

- r1. Asignación del relé R1. Mantener la configuración de fábrica, es decir r1F, que corresponde al relé de fallo. En las terminales R1A y R1C existe un contacto normalmente abierto del relé R1. Se acciona cuando existe tensión entre CL1 y CL2 solamente o entre CL1 y CL2 y adicionalmente en L1, L2 y L3. Este contacto se repone cuando existe un fallo o el motor pasa a rueda libre. Ver Fig. 9.38.

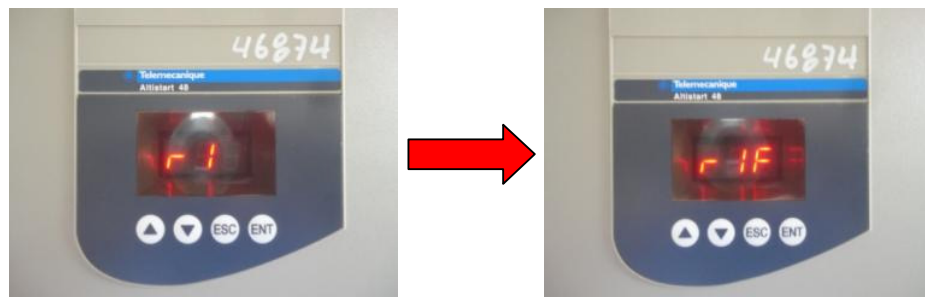


Figura 9.38: Interfaz del drive mostrando el ajuste de r1.

- r3. Asignación del relé R3. Mantener la configuración de fábrica, es decir r3, que corresponde al motor alimentado. Ver Fig. 9.39.

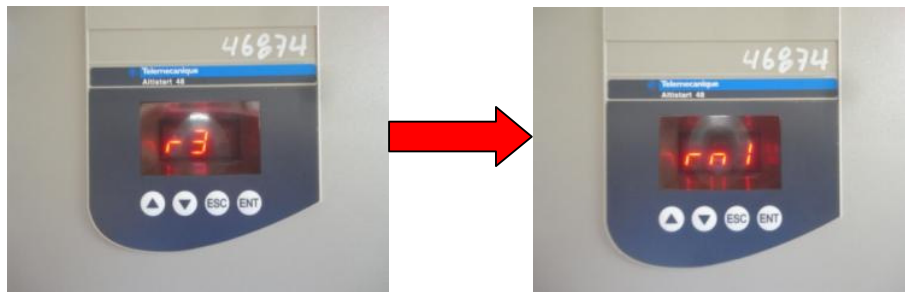


Figura 9.39: Interfaz del drive mostrando el ajuste de r3.

- AO: Asignación de la salida analógica. Se ajusta en Otr, que corresponde al par del motor. De esta forma, podemos visualizar la variación del torque del motor durante el arranque empleando el osciloscopio Fluke 192B. Ver Fig. 9.40.

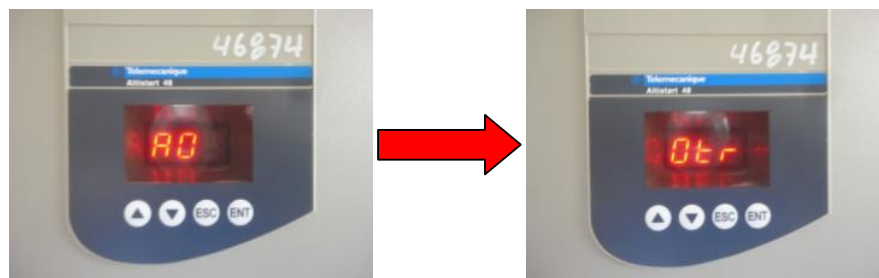


Figura 9.40: Interfaz del drive mostrando el ajuste de AO.

Las opciones restantes para configurar AO son:

- no: sin asignar
- OCr: corriente del motor
- Otr: par del motor
- OtH: estado térmico del motor
- OCO: factor de potencia

- OPr: potencia activa
- 0 4: Configuración del tipo de señal generada por la salida AO.
Existen dos opciones disponibles:
 - 020: 0 – 20 mA. Se asigna esta opción. Ver Fig. 9.41.
 - 420: 4 – 20 mA.

El banco resistivo de la Fig. 9.16 representa un shunt para esta salida analógica de corriente.

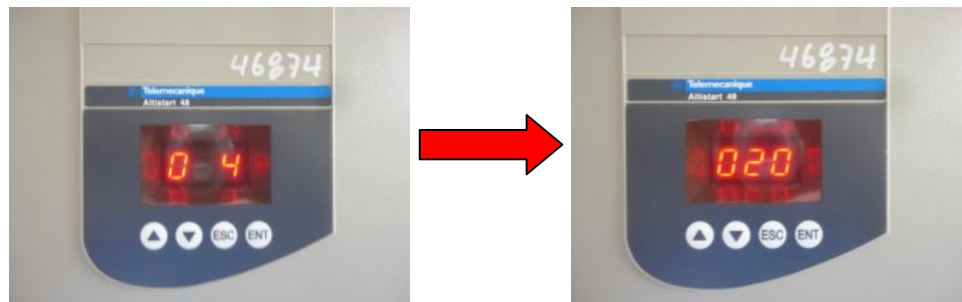


Figura 9.41: Interfaz del drive mostrando el ajuste de 0 4

- ASC. Puesta a escala de la señal máxima de la salida analógica. En porcentaje del valor nominal del parámetro configurado. Se mantiene el ajuste de fábrica de 200. Ver Fig. 9.42.

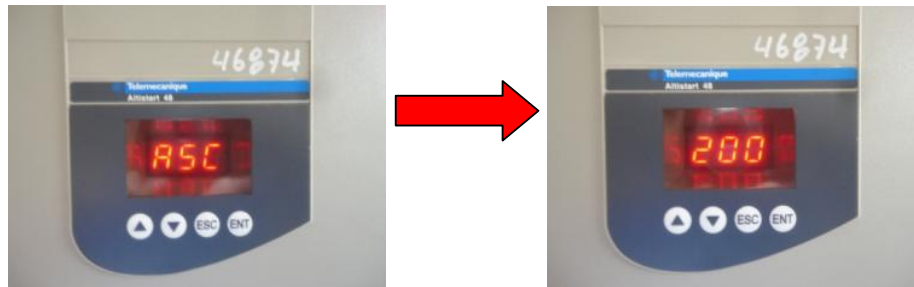


Figura 9.42: Interfaz del drive mostrando el ajuste de 0 4

Luego de parametrizar el menú IO, se procede con el menú de parámetros del segundo motor St2, el cual se configura con los datos de placa de un motor distinto, en este caso, el motor de inducción de anillos rozantes MV1007.

En la Fig. 9.43 se muestra la placa del motor MV1007.



Figura 9.43: Placa del motor MV1007 de código de inventario 20836-79109

En la Fig. 9.44 se observa la interfaz del drive mostrando el menú St2.



Figura 9.44: Interfaz del drive mostrando el menú St2.

Se configuran los siguientes parámetros:

- In2: Corriente nominal del segundo motor. Se ajusta en 7.8A. Ver la Fig. 9.45.

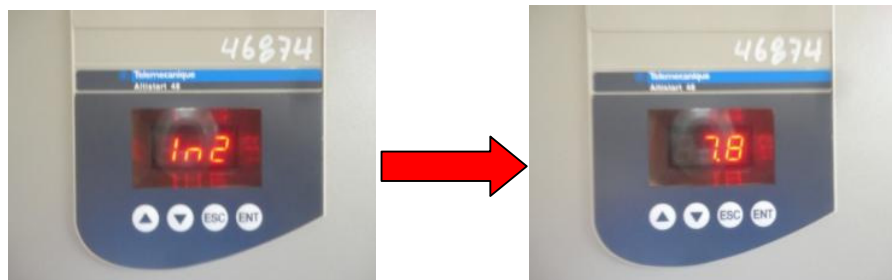


Figura 9.45: Interfaz del drive mostrando el ajuste de In2.

- IL2: Corriente de limitación del segundo motor. En porcentaje de In2. Se ajusta en 400. Ver Fig. 9.46.

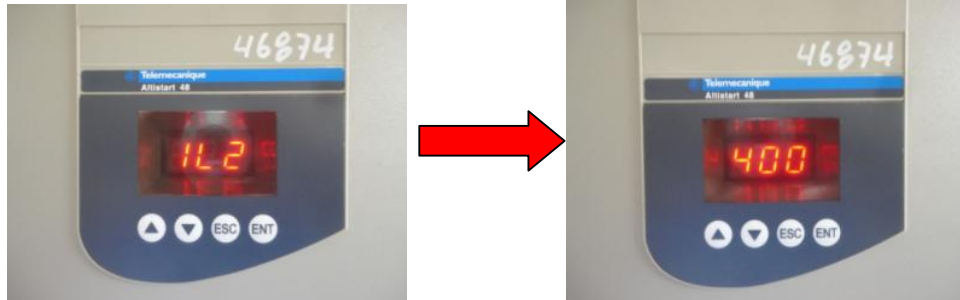


Figura 9.46: Interfaz del drive mostrando el ajuste de IL2.

- AC2: Tiempo de rampa de aceleración del segundo motor. El valor máximo mostrado en el drive es de 60. Se ajusta en 15. Ver Fig. 9.47.

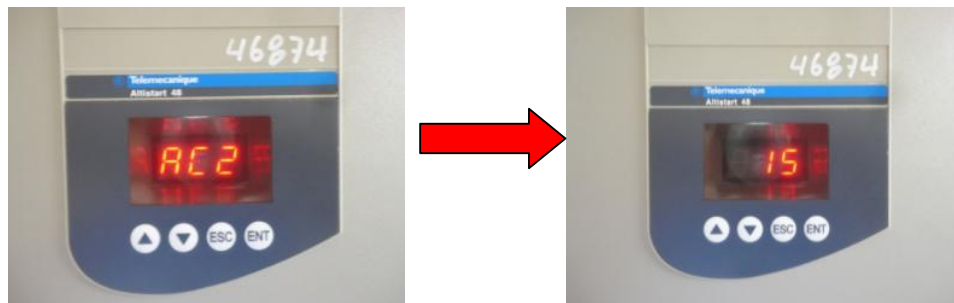


Figura 9.47: Interfaz del drive mostrando el ajuste de AC2.

- tq2: Par inicial de arranque del segundo motor. El valor máximo mostrado en el drive es de 100. Se ajusta en 20. Ver Fig. 9.48.

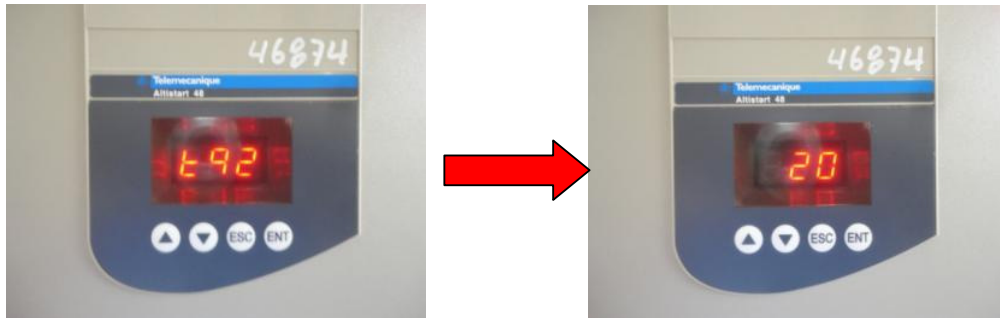


Figura 9.48: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tq2

- tL2: Limitación del par máximo del segundo motor. Se ajusta en OFF.

Ver Fig. 9.49.

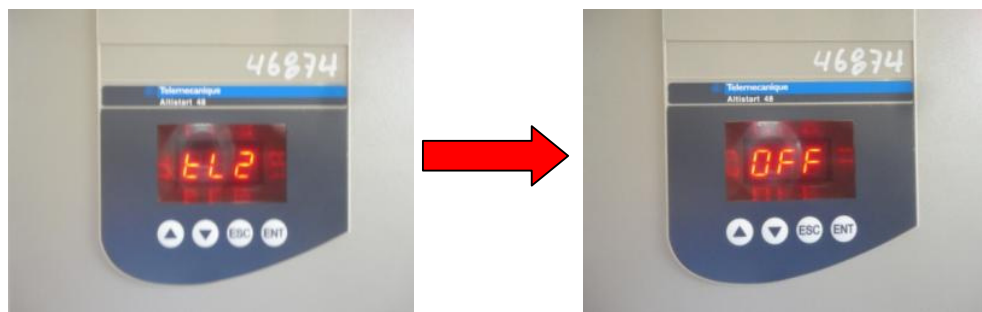


Figura 9.49: Interfaz del drive mostrando el ajuste de tL2

Luego de parametrizar el menú St2, se procede con el menú SUP el cual permite visualizar el estado de los principales parámetros del arrancador. En la Fig. 9.50 se muestra el menú SUP.



Figura 9.50: Interfaz del drive mostrando el menú SUP

Los parámetros disponibles son:

- COS: Factor de potencia
- tHr: Estado térmico del motor. Varía de 0 a 125%, 100% corresponde al estado térmico nominal para la corriente In ajustada.
- LCr: Corriente del motor. En amperios.
- rnt: Duración de funcionamiento. En horas desde la última reinicialización.
- LPr: Potencia activa. Varía de 0 a 255%. 100% corresponde a la potencia en la corriente nominal y a plena tensión.
- Ltr: Par del motor. Varía de 0 a 255%. 100% corresponde al par nominal del motor.
- LAP: Potencia activa en kW
- EtA: Visualización del estado en curso. Los parámetros siguientes pueden visualizarse de acuerdo al estado del drive:
 - nLP, potencia no alimentada
 - rdY, potencia alimentada
 - tbS, temporización antes de arranque no transcurrida
 - ACC, aceleración en curso
 - DCC, deceleración en curso
 - rUn, marcha en régimen establecido
 - brL, arrancador en frenado
 - CLI, limitación de corriente
 - nSt, parada en rueda libre forzada via comunicación serie

- LFt. Último fallo aparecido. En caso de no existir un último fallo, se visualiza nOF.
- PHE. Sentido de rotación de las fases.

Al arrancar el motor, se muestra el valor de la corriente del motor, es decir el parámetro LCr, que corresponde al ajuste de fábrica.

9.4. Descripción de la lógica de control del funcionamiento del panel en modo MANUAL.

Previo al arranque del motor MV1009, se procede a explicar la lógica de control, mostrada en la Fig. 9.51, la cual gobierna el funcionamiento de la operación del panel en modo manual.

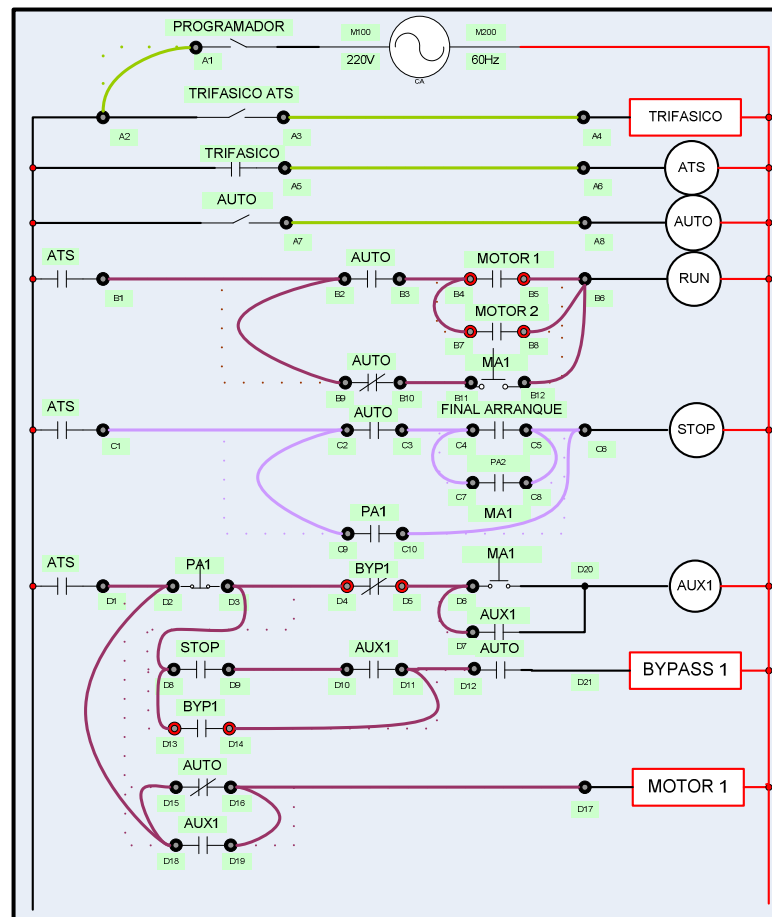


Figura 9.51: Lógica de control del panel en modo MANUAL.

En modo manual, se ajusta el selector MANUAL/AUTOMATICO en la posición MANUAL y el selector AUTO junto los contactos del relé AUTO de la Fig. 9.51, se encuentran normalmente abiertos. Al presionar la botonera MA1 ocurre un evento: que consiste en que mientras se presione MA1, se energiza la bobina del relé RUN y el contacto normalmente abierto del mismo, ubicado en la parte superior del panel, se acciona, lo que permite que 24V lleguen a la bornera RUN del drive. En modo manual, el contactor MOTOR 1 no depende de MA1, únicamente depende del selector

MANUAL/AUTO: MOTOR 1 permanecer á accionado mientras este selector se encuentre en MANUAL. De esta forma el drive puede arrancar el motor MV1009. Para detener el motor MV1009, se presiona la botonera de PA 1 y mientras se presiona esta botonera, se energiza la bobina STOP y su contacto normalmente cerrado ubicado en la parte superior del panel, se acciona, lo que ocasiona que la señal de 24V que llegaba a la bornera STOP del drive, sea retirada, y por ende el drive detiene el motor, según el tipo de frenado configurado en el parámetro StY del menú SEt.

9.5. Operación del panel en modo manual y variación de señales mecánicas y eléctricas del motor tales como torque, velocidad, corriente RMS y voltaje RMS de acuerdo a la parametrización previa.

Emplear el osciloscopio Fluke 192B en modo RECORDER para adquirir el voltaje DC en el banco de resistores MV1100 y la corriente RMS que ingresa a la terminal U1 del motor. Considerando que la corriente máxima de la salida A0 corresponde a 20mA y que la resistencia del banco es de 250Ω se concluye que el voltaje máximo en las terminales del banco es de 5V, dado que el parámetro 0 4 del menu IO fue configurado para que la salida de corriente sea de 0mA a 20mA.

A continuación, verificar que el selector MANUAL/AUTOMATICO, se encuentre en la posición MANUAL y luego ajuste el selector TRIFASICO en la posición derecha. Finalmente presionar la botonera MA1. Se observa la variación del torque y de la corriente en la Fig. 9.52. En la Fig. 9.53, se muestra la variación del torque y la velocidad del motor en vacío; la

velocidad es representada por la el voltaje DC generado por el taco-
 generador DC. En la Fig. 9.54, se muestra la variación del torque y del
 voltaje RMS entre las terminales U1 y V1 del motor en vacío.

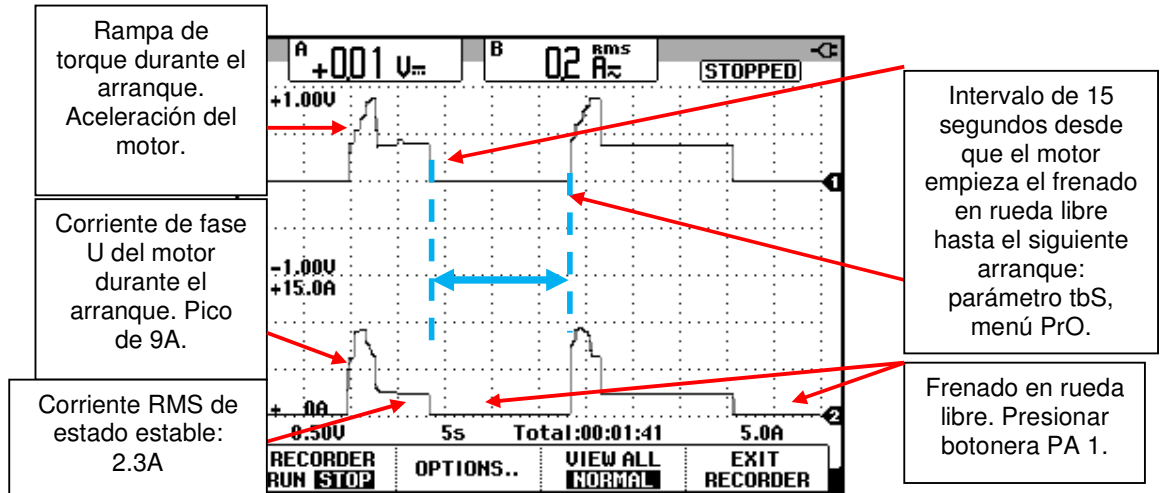


Figura 9.52: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: irms-al nodo U1).

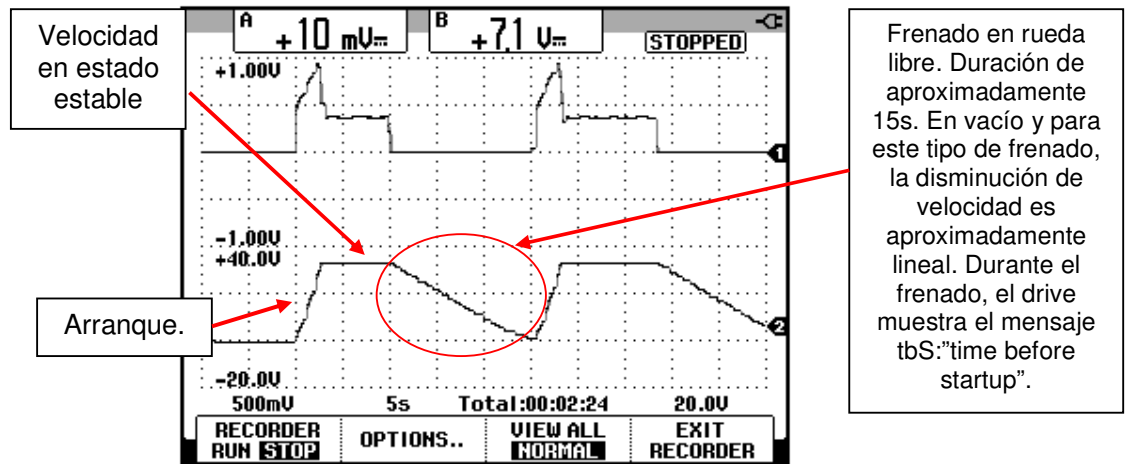


Figura 9.53: Variación del torque y de la velocidad del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad motor).

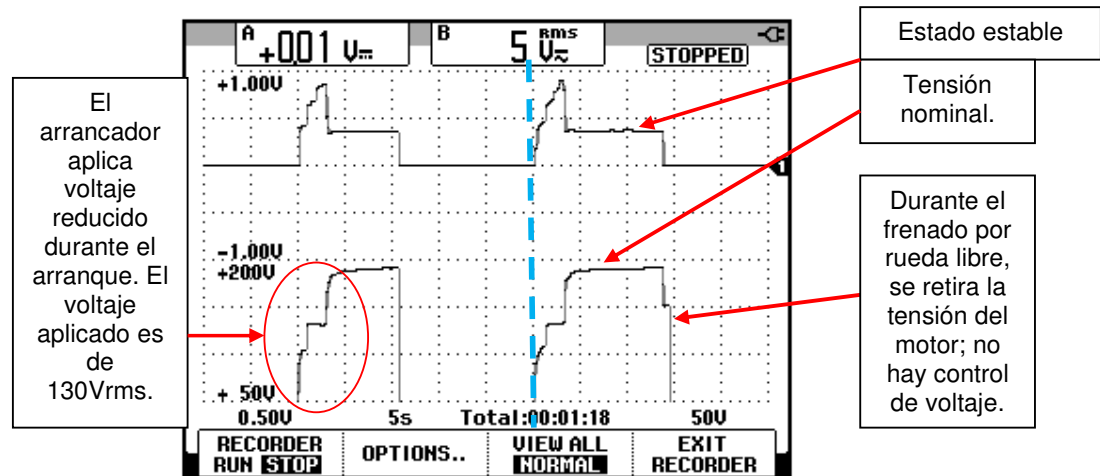


Figura 9.54: Variación del torque y del voltaje RMS del motor en vacío durante dos arranques (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-motor).

9.6. Forma de onda del voltaje y corriente en el motor durante y después del arranque. Medición del factor de potencia en vacío del motor.

En el oscilograma de la Fig. 9.55, se muestra la forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor en vacío, así como la corriente hacia la terminal U1 para un instante previo al pico de corriente RMS de 9A. En en el oscilograma de la Fig. 9.56, se muestra la forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor en vacío, así como la corriente hacia la terminal U1 para un instante en que se alcanza el valor de la corriente RMS máxima. En el oscilograma de la Fig. 9.57, se muestra la forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor en vacío, así como la corriente hacia la terminal U1 para un instante posterior al pico de corriente RMS de 9A. En en el oscilograma de la Fig. 9.58, se muestra la forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor en vacío, así como la corriente

hacia la terminal U1 en estado estable. La corriente atrasa el voltaje. En el oscilograma de la Fig. 9.59, se muestra el intervalo de tiempo que representa el desfase entre el voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y entre la corriente hacia la terminal U1. El motor opera en vacío.

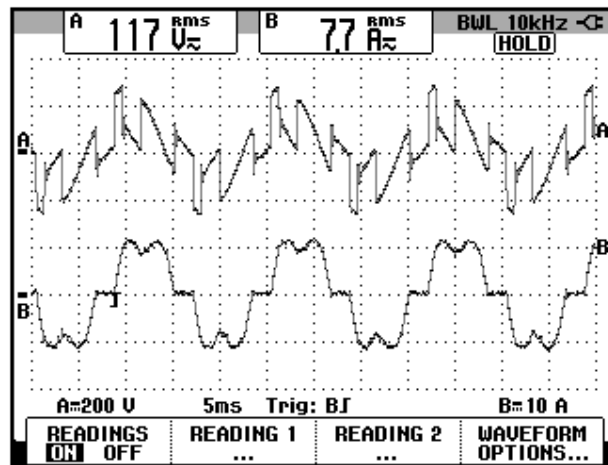


Figura 9.55: Voltaje y corriente del motor en vacío en un instante previo a alcanzar la corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

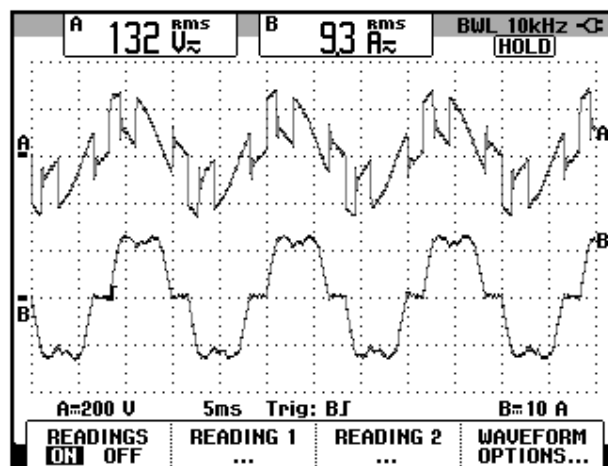


Figura 9.56: Voltaje y corriente del motor en vacío en el instante en que se alcanza la corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

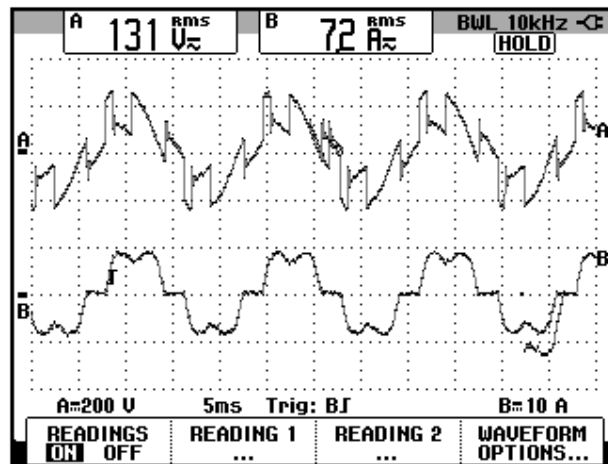


Figura 9.57: Voltaje y corriente del motor en vacío en un instante posterior al pico de corriente máxima (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

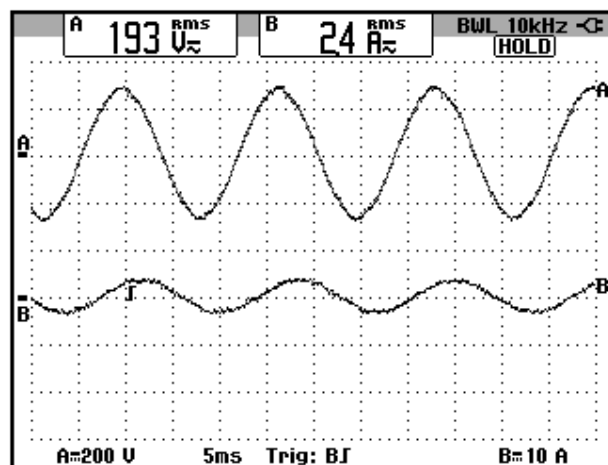


Figura 9.58: Forma de onda del voltaje y de la corriente del motor en vacío luego del arranque (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

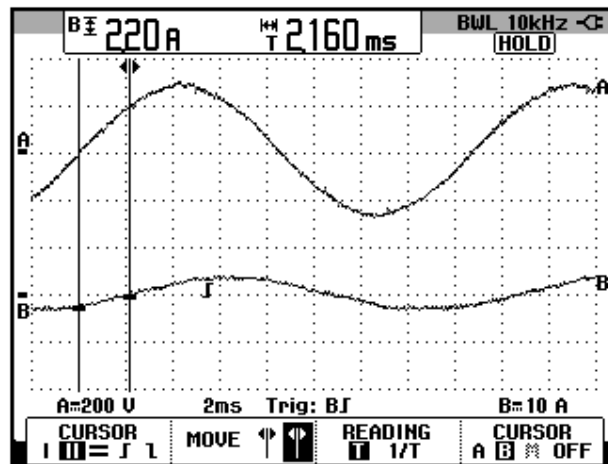


Figura 9.59: Desfase entre el voltaje U1-V1 y la corriente de la fase U1 del motor en vacío (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

El desfase en grados corresponde a 46.67 por lo que el factor de potencia en vacío corresponde a 0.69 en atraso.

Con respecto a las forma de onda del voltaje de las Figs. 9.55, 9.56 y 9.57, no son similares a las de los controladores AC-AC del capítulo 7 debido a que las técnicas de disparo de los tiristores son diferentes. A diferencia del capítulo 7 en el que se arrancó el motor MV1009 conectado en estrella con neutro (se hizo incapié en que el neutro era necesario), en el presente capítulo se conecta el mismo motor en delta. Al estar el motor conectado en delta, se debe disparar al menos un par de semiconductores. En la conexión en estrella con neutro, el drive Mawdsley's permite que, para las configuraciones de convertidores AC-AC realizadas, se dispare únicamente un tiristor.

9.7. Variación de los parámetros del drive tales como ACC, tq_0 , ILt y su efecto en el torque y la corriente RMS del motor.

En la Fig. 9.60, se muestra el torque y la corriente RMS hacia el nodo U1 del motor para 3 diferentes valores del parámetro ACC. A medida que se decrece el parámetro ACC, el pico de corriente aumenta, dado que se aplica un mayor torque en un intervalo de tiempo menor. Así mismo, el motor alcanza el estado estable en menor tiempo.

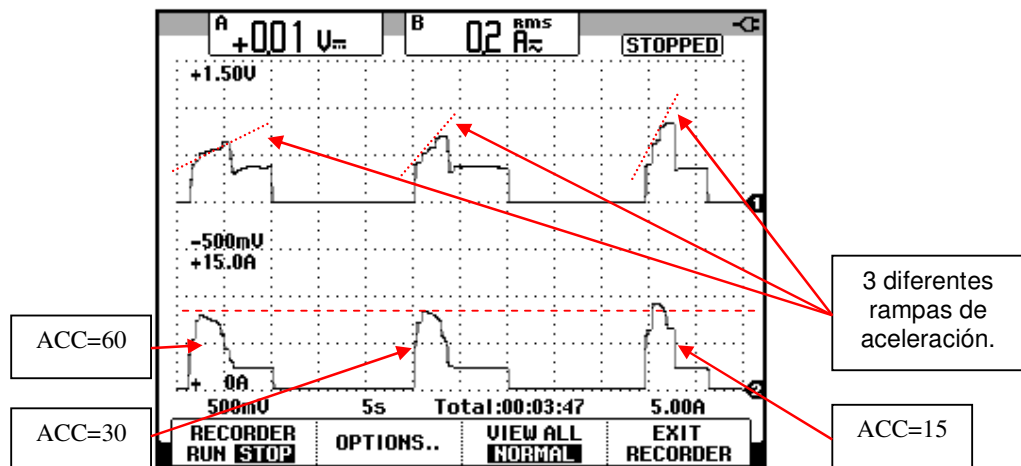


Figura 9.60: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para diferentes valores de ACC: 60, 30 y 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

En el oscilograma de la Fig. 9.61, se muestra el torque y de la corriente RMS hacia el nodo U1 del motor para diferentes 3 valores del parámetro tq_0 manteniendo el parámetro ACC en 15. No es recomendable incrementar tq_0 más allá de 60 para un valor de ACC relativamente bajo ya que como se observa en la Fig. 9.61, la corriente de arranque es cercana a 18A y la terna de fusibles rápidos del panel es de 20A. A medida que aumenta tq_0 , se

comprueba que el torque en el arranque aumenta; un aumento en el torque de arranque, lleva al motor a su velocidad de estado estable en menor tiempo, por ello la duración de la rampa de aceleración es menor.

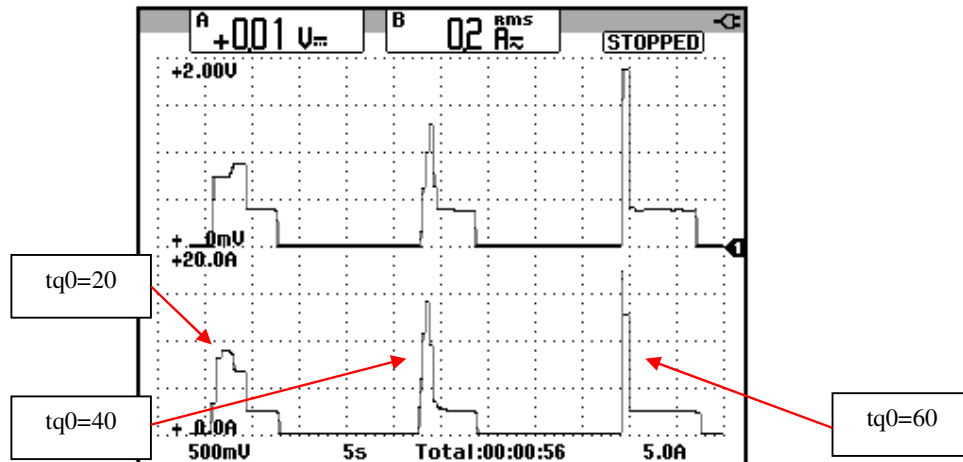


Figura 9.61: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para diferentes valores de tq_0 : 20, 40 y 60, manteniendo ACC en 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

En el oscilograma de la Fig. 9.62, se muestra el torque y la corriente RMS hacia el nodo U1 del motor para diferentes 3 valores del parámetro tq_0 aumentando el parámetro ACC a 60. Se observa que la duración de la rampa de aceleración aumenta ligeramente.

En el oscilograma de la Fig. 9.63, se muestra el torque y la corriente RMS hacia el nodo U1 del motor para diferentes 3 valores del parámetro tq_0 , aumentándolo a 65 y manteniendo ACC en 15. Se observa que el drive reduce el torque máximo, que puede aplicar al motor de acuerdo a la reducción de ILt; como consecuencia la corriente máxima se reduce. Cabe recalcar que el motor opera en vacío.

Si $ILt=150$, el máximo valor de corriente se calcula multiplicando la corriente nominal del drive por el valor de ILt dividido para 100, lo cual resulta en 10.5; el valor máximo de corriente medida fue de 12.5. Al ajustar $ILt=400$, el valor máximo de la corriente es de 28A.

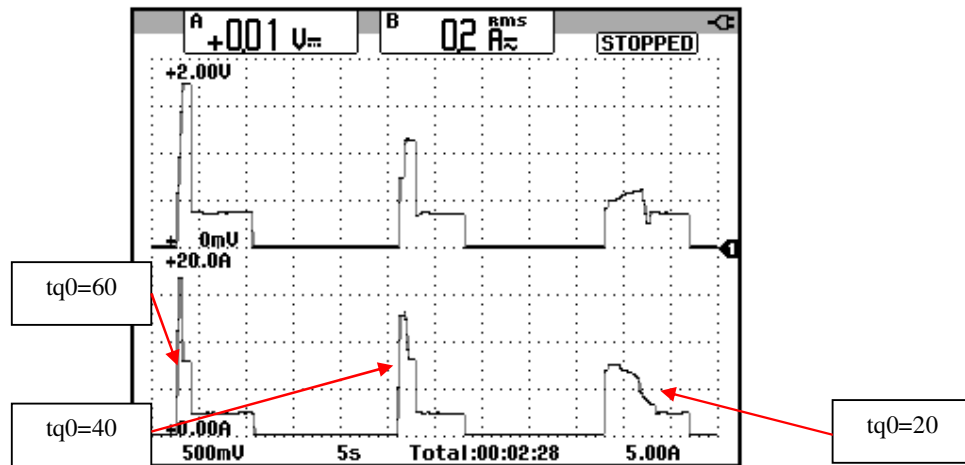


Figura 9.62: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para dos valores de $tq0$: 20, 40 y 60, manteniendo ACC en 60. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

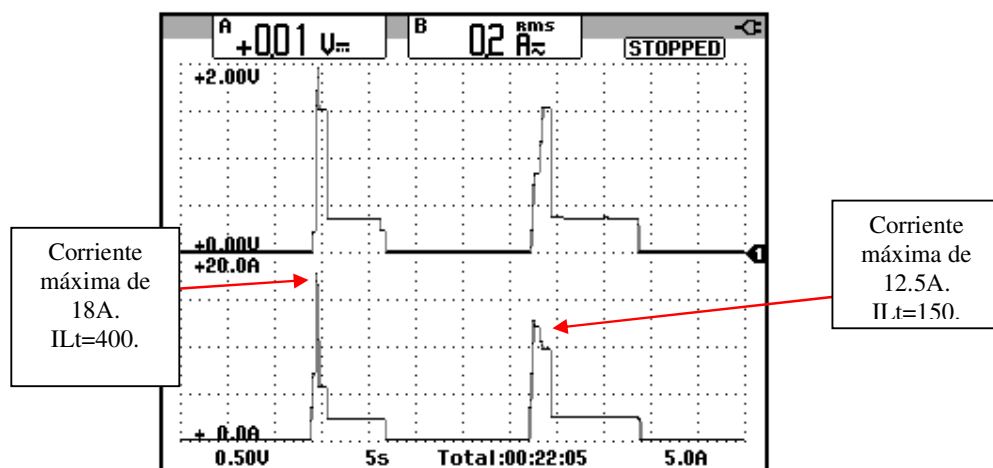


Figura 9.63: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío para dos valores de ILt : 400 y 150, aumentando $tq0$ a 65 y manteniendo ACC en 15. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

9.8. Habilitación y des-habilitación del parámetro CLP y su efecto en el voltaje RMS, velocidad y corriente RMS.

Proceder a reajustar los parámetros del menú SET:

- $I_{Lt} = 400$
- $ACC = 15$
- $tq0 = 20$

En la Fig. 9.64, se realizan dos arranques en vacío mostrando el efecto del parámetro CLP del menú drC. En el primer arranque está ajustado en ON, el cual es el ajuste de fábrica, y en el segundo arranque, CLP se ajusta en OFF. La señal superior corresponde al torque del motor y la señal inferior, al voltaje RMS entre U1 y V1; en el segundo arranque, se observa que la señal de torque no forma una rampa y en la señal de voltaje se observa que se optimiza su control.

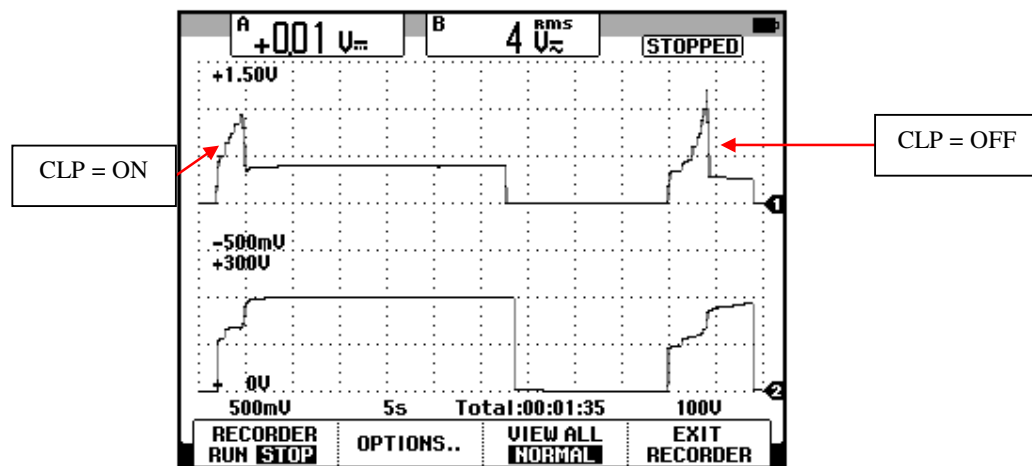


Figura 9.64: Variación del torque y del voltaje RMS del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-motor).

En la Fig. 9.65 se muestra la variación del torque y de la velocidad del motor para los dos posibles ajustes de CLP. Cuando CLP=ON, la velocidad se incrementa de forma casi lineal mientras que cuando CLP=OFF, la velocidad incrementa de forma no lineal. En la Fig. 9.66 se muestra la variación del torque y de la velocidad del motor para los dos posibles ajustes de CLP. Si CLP=OFF, la corriente aumenta linealmente.

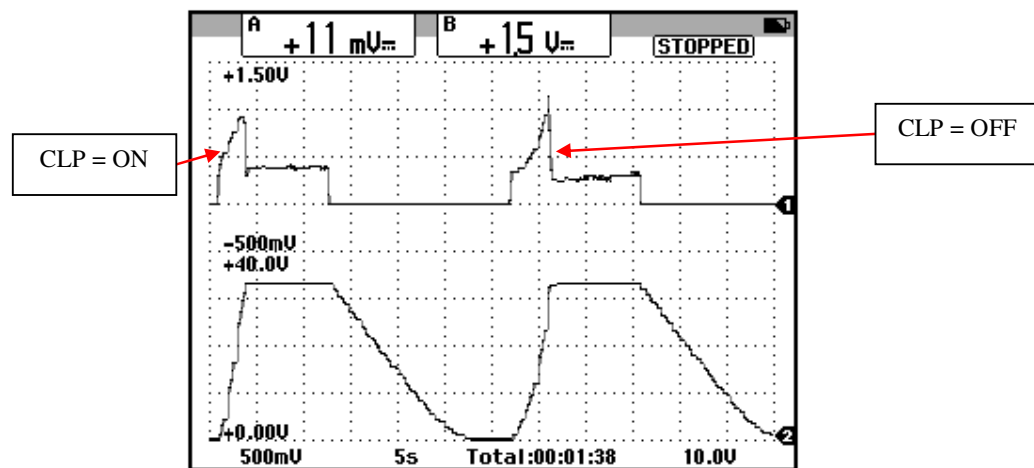


Figura 9.65: Variación del torque y de la velocidad del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad del motor).

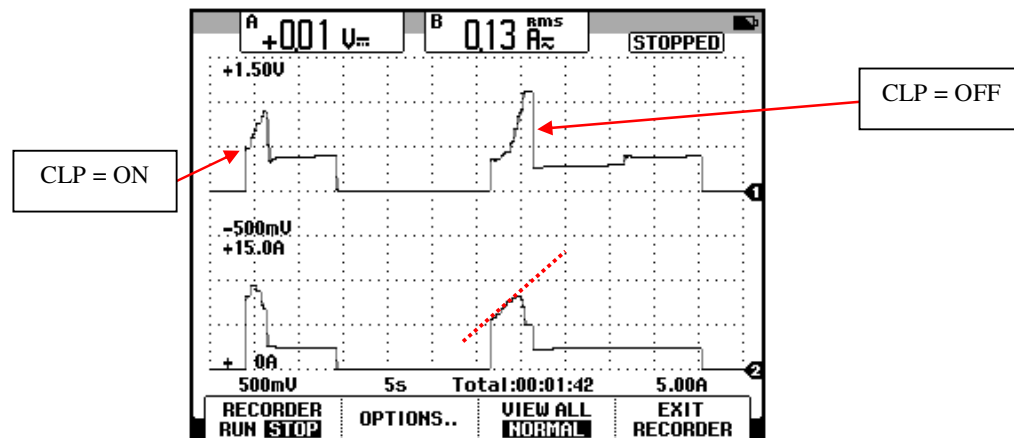


Figura 9.66: Variación del torque y de la corriente del motor en vacío durante dos arranques para los dos posibles ajustes de CLP (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente motor).

9.9. Aumento de carga mecánica y variación de las señales de torque y velocidad durante el arranque y frenado en rueda libre.

A continuación, ajustar CLP en ON. Luego, arrancar el motor y empleando el freno MV1045 aumentar la carga mecánica hasta que el valor de corriente RMS sea de 5.5A. En la Fig. 9.66 se muestra el arranque del motor y posteriormente, el aumento en el torque y la corriente del motor. Es posible, que el valor RMS de corriente mostrado por el drive sea diferente al mostrado por el osciloscopio Fluke 192B, como se muestra en la Fig. 9.68. Para las pruebas realizadas se considera el valor indicado por el osciloscopio.

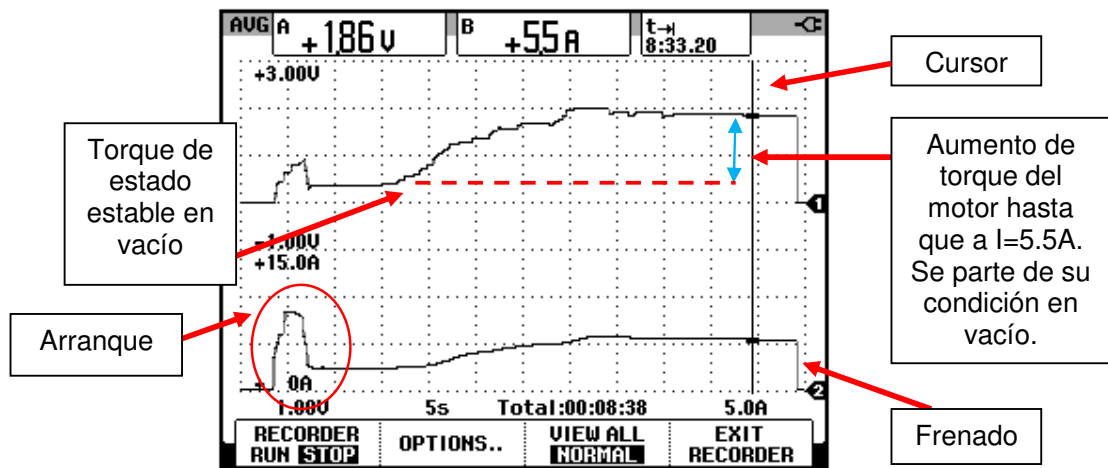


Figura 9.67: Arranque y posterior aumento de torque y corriente del motor a 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

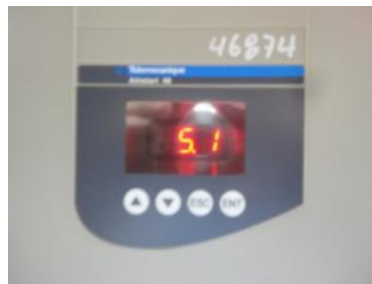


Figura 9.68: Corriente RMS indicada en la interfaz del drive bajo condiciones de carga mecánica aplicada.

En la Fig. 9.69, se muestra la rampa de torque junto con la velocidad del motor durante dos arranques sucesivos. Se puede observar que bajo condiciones de carga, la rampa de torque es apreciada de mejor forma a diferencia que en la condición de vacío. Adicionalmente se observa que la duración del frenado es menor que en condiciones de vacío; no se recomienda reducir el valor del parámetro t_bS debido a que arranques sucesivos con carga mecánica pueden sobrecalentar el motor y accionar el relé térmico del primer motor.

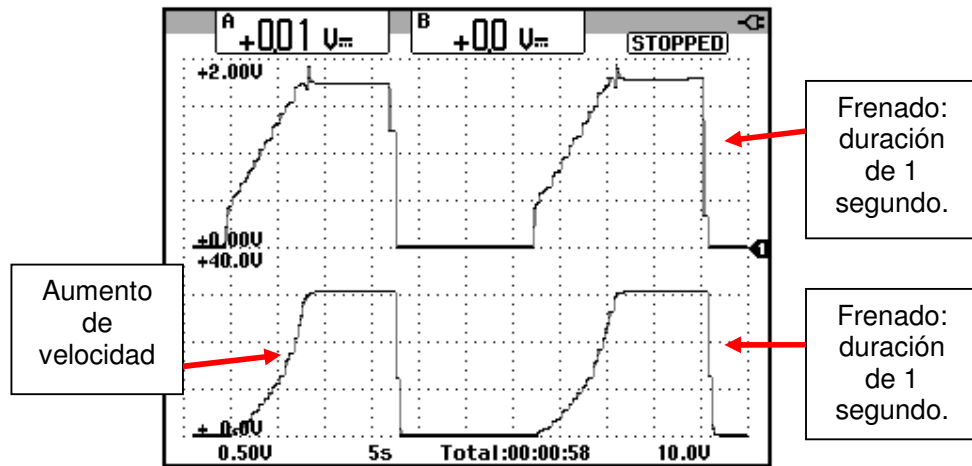


Figura 9.69: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica. La corriente RMS del motor en 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vdc-velocidad del motor).

9.10. Análisis de la forma de onda de la corriente de línea del motor y determinación del instante de finalización de la rampa de torque para un ajuste del parámetro ACC=60 y carga mecánica que, en estado estable, requiere 5A de corriente RMS de línea del motor. Efecto en el torque y corriente RMS luego de disminuir el parámetro tq0 de 20 a 10. Energización de la bobina del relé FINAL ARRANQUE luego de finalizar la rampa de torque.

En la Fig. 9.70 se muestra la variación del torque y de la corriente RMS del motor para un valor de ACC de 60. Se observa que la duración de la rampa de aceleración de torque no es igual al valor de ACC, ya que el drive determina el instante en que la misma debe concluir en base a la dinámica del motor. Durante la aplicación de la rampa de torque, existe un instante en que la corriente del motor alcanza su máximo valor, a partir de ese instante comienza a decrecer debido a que el deslizamiento tiende a disminuir (revisar el modelo equivalente del motor de inducción), el cual se debe a que el motor se encuentra aumentando su velocidad. Durante la disminución de la corriente, el drive detecta que la corriente es la nominal y determina la finalización de la rampa de torque. La corriente nominal del motor MV1009 conectado en delta es de 7A. Observar que se emplea el menú CURSOR.

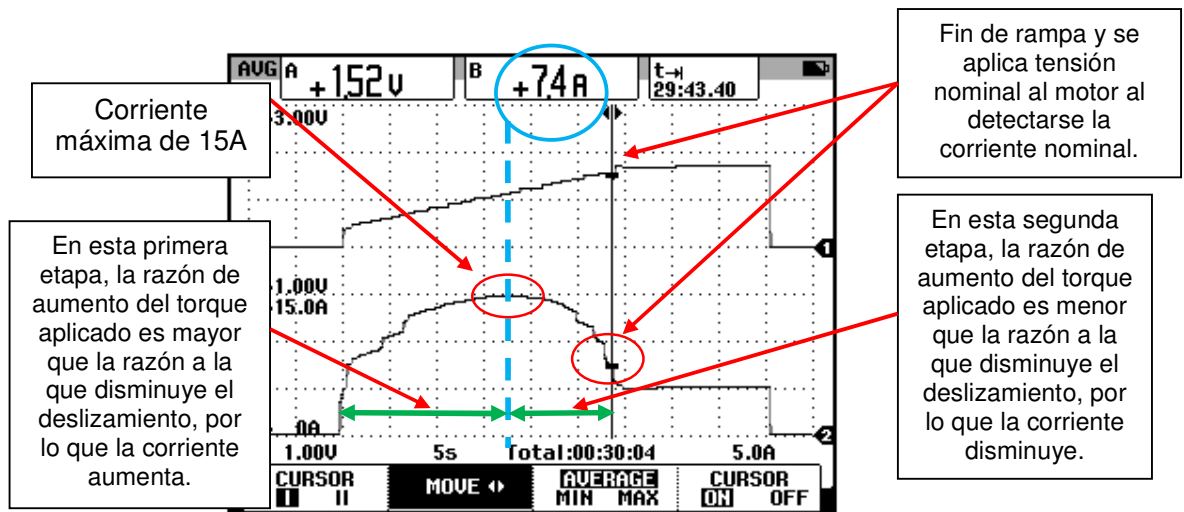


Figura 9.70: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente del motor).

En la Fig. 9.68 se observó que el valor de la corriente medida por el drive difiere con respecto al valor indicado por osciloscopio Fluke 192B en 0.4A, siendo mayor el valor medido por el osciloscopio.

En la Fig. 9.71 se observa la variación del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor junto con la de la corriente en la terminal U1. En el inicio del arranque, se aplica un voltaje de 100V aproximadamente el cual corresponde al valor necesario para generar un torque de arranque de 20. Se comprueba que luego del instante en que se alcanza la corriente máxima, el arrancador aplica la tensión nominal al detectar la corriente nominal.

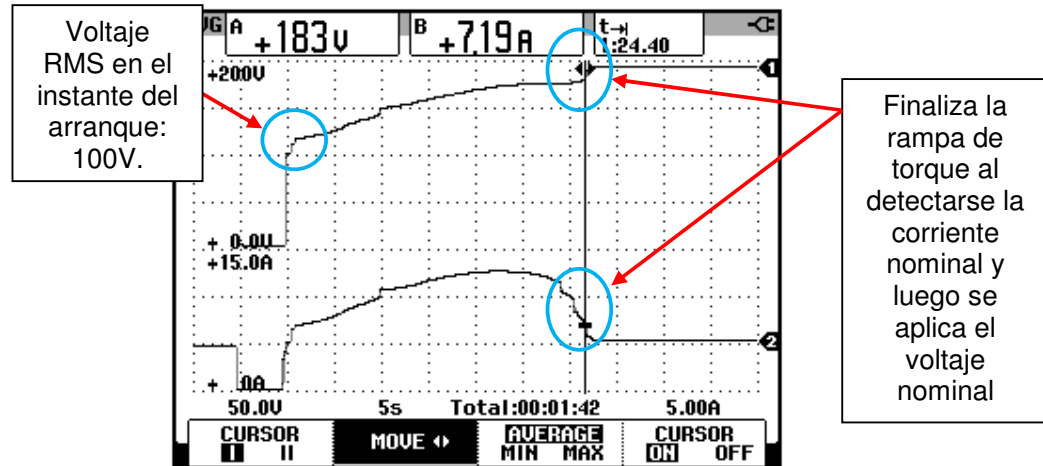


Figura 9.71: Variación del voltaje RMS y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vrms-voltaje U1-V1, CH2: Irms-corriente del motor).

En la Fig. 9.72 se observa se muestra la variación del torque y de la corriente RMS del motor manteniendo ACC en 60 y disminuyendo el valor de tq_0 a 10. Es de esperarse que la duración de la rampa se extienda a 38 segundos, debido a la disminución del torque de arranque. También se comprueba que la rampa de torque finaliza en el instante que se detecta la corriente nominal, luego de haber alcanzado la corriente máxima.

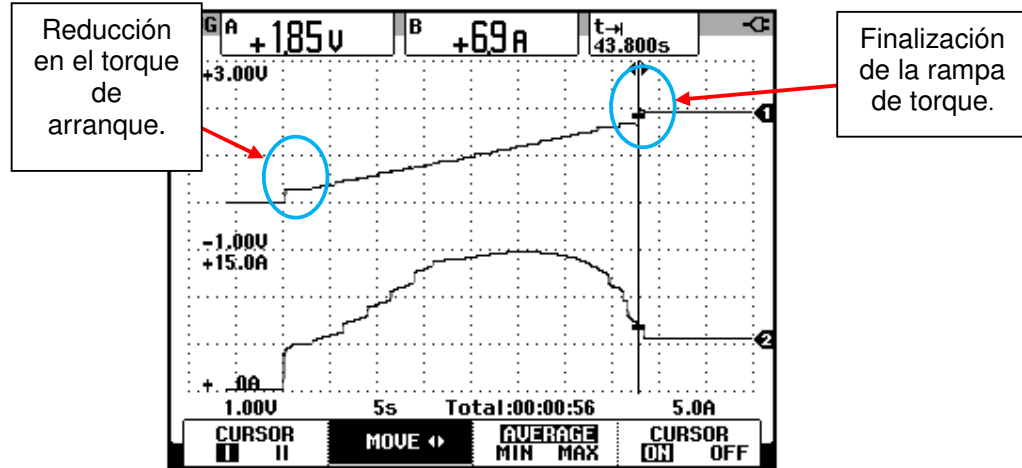


Figura 9.72: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica durante el arranque con un ajuste de ACC=60 y tq0=10. La corriente RMS del motor de estado estable es de 5.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-corriente del motor).

En el instante que el finaliza la rampa de torque, la bobina del relé FINAL ARRANQUE se energiza, accionando sus contactos auxiliares, esto indica que el drive ha finalizado el arranque; la bobina de este relé se encuentra en serie con el contacto R2A-R2C del relé para by-pass del arrancador. En la Fig. 9.73 se muestra el relé FINAL ARRANQUE junto con un contacto auxiliar accionado.

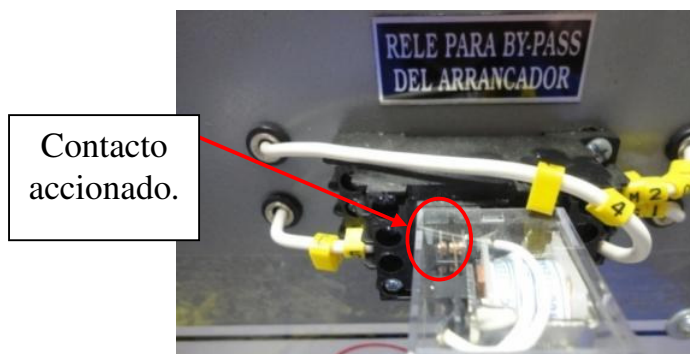


Figura 9.73: Relé FINAL ARRANQUE con un contacto accionado al finalizar el arranque.

9.11. Factor de potencia del motor operando bajo carga mecánica que requiere la corriente nominal del motor.

En la Fig. 9.74 se muestra el desfase entre el voltaje U1-V1 y la corriente hacia la terminal U1 bajo carga nominal, es decir que la corriente de línea es de 7A. El intervalo de tiempo corresponde a 0.480ms ; en grados el desfase es de 10.37, por lo que el factor de potencia es de 0.98 en atraso.

En caso de algún fallo, se recomienda realizar un reinicio al drive al configurarlo con los parámetros de fábrica.

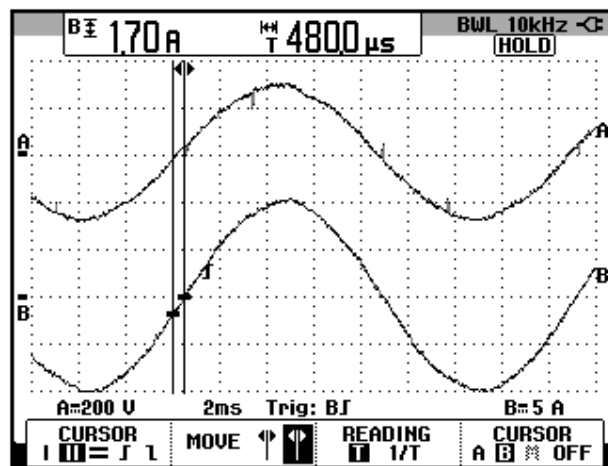


Figura 9.74: Desfase entre el voltaje U1-V1 y la corriente de la fase U1 del motor bajo carga nominal, corriente del motor de 7A. (CH1: V-motor, CH2: I-motor).

9.12. Descripción de la lógica de control del panel en modo automático.

En el modo automático, se emplea el drive para arrancar dos motores sucesivamente, esto se conoce como arranque en cascada.

Previo al arranque en cascada, se explica el funcionamiento de la lógica de relés en el modo automático. Puede ser útil observar la Fig. 9.15 en la que se muestra el diagrama eléctrico de fuerza del panel. En el modo automático, el selector MANUAL/AUTOMÁTICO se encuentra en la posición AUTOMÁTICO y su contacto AUTO normalmente abierto, se acciona y se cierra; la bobina del relé AUTO se energiza, accionando sus contactos auxiliares. Al presionar la botonera MA1, se energiza la bobina AUX 1 y queda retenido al soltar MA1, simultáneamente sus contactos auxiliares se accionan. Esto ocasiona que la bobina del contactor MOTOR 1 se energice y cuyo contacto auxiliar normalmente abierto al accionarse, permite que la bobina del relé RUN se energice permitiendo que lleguen 24V a la bornera RUN del drive, arrancando así al primer motor. Al finalizar el arranque, el relé FINAL ARRANQUE se acciona y su contacto normalmente abierto se acciona, energizando la bobina del relé STOP. Al energizarse la bobina de este relé lo, el relé BYPASS 1 se energiza y queda retenido, luego el relé AUX 1 se desenergiza, lo cual desenergiza la bobina del contactor MOTOR 1. En el instante que se energizó la bobina STOP, la señal de 24V que llegaba a la bornera STOP del drive es retirada, lo que causa que el drive no controle el motor; simultáneamente el relé FINAL ARRANQUE se desenergiza. Finalmente, el motor MV1009 queda operando a tensión nominal a través del contactor BYPASS 1. Es posible detener el motor presionando PA 1.

Seguidamente, es posible presionar la botonera MA 2, para arrancar el segundo motor, el motor MV1007; esto causa que la bobina del relé AUX 2

se energize, quedando retenido, y que luego la bobina del contactor MOTOR 2 se energize también. A continuación la bobina del relé RUN se energiza y la señal de 24V llega a la bornera RUN del drive, arrancando el motor MV1007. Al finalizar el arranque, se acciona el relé FINAL ARRANQUE, energizando la bobina del relé STOP, lo cual causa que se energize la bobina del contactor BYPASS 2; seguidamente, se desenergiza la bobina del relé AUX 2 y luego la bobina del contactor MOTOR 2. En el instante que se energizó la bobina STOP, la señal de 24V que llegaba a la bornera STOP del drive es nuevamente retirada, lo que causa que el drive no controle el motor; simultáneamente el relé FINAL ARRANQUE se desenergiza. Finalmente, el motor MV1007 queda operando a tensión nominal a través del contactor BYPASS 2; si no se presionó PA 1, el motor MV1009 queda funcionando en paralelo con el motor MV1007. Para detener el motor MV1007, presionar PA 2.

Una restricción muy importante de la lógica de relés en modo automático consiste en no presionar MA 2 mientras se realiza el arranque del primer motor; en ese caso, se energizaría el contactor MOTOR 2 y el arrancador tendría que arrancar dos motores simultáneamente, lo cual puede resultar en una avería del drive.

En la Fig. 9.75 se muestra la lógica de relés mostrada en la parte frontal del drive.

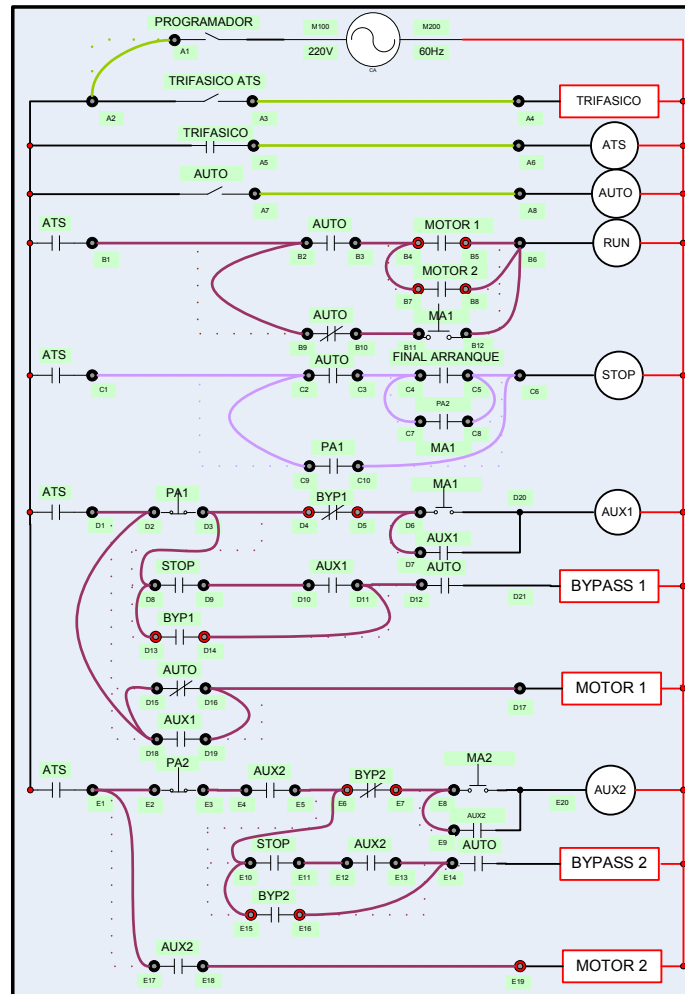


Figura 9.75: Lógica de relés para su funcionamiento en modo automático.

9.13. Arranque en cascada de los motores de inducción jaula de ardilla MV1009 y de anillos rozantes MV1007. Variación de los parámetros ACC, tq0 AC2 y tq2 y su efecto en la corriente RMS de línea de ambos motores.

Previo al arranque en cascada, asegurarse que el disyuntor se encuentre repuesto y adquirir la corriente de línea de cada motor; emplear el osciloscopio Fluke 192B en modo RECORDER. Luego, accionar el

disyuntor, a continuación presionar la botonera ON, y ajustar el selector PROGRAMADOR en la posición derecha. Reconfigurar los ajustes de los menús Set y St2 correspondientes a cada motor tal como se realizó en la sección 9.3. A continuación, ajustar el selector MANUAL/AUTOMÁTICO en la posición derecha, y luego el selector TRIFÁSICO en la misma posición. Presionar la botonera MA 1 y después de finalizar el arranque del motor MV1009, presionar la botonera MA 2 para arrancar el motor MV1007. En la Fig. 9.76 se muestra la variación de la corriente de arranque de los dos motores en vacío; se observa que el motor MV1007 requiere menor tiempo para arrancar. En la Fig. 9.77 se muestra la variación del voltaje RMS en las terminales U1-V1 y U2-V2 de los motores operando en vacío.

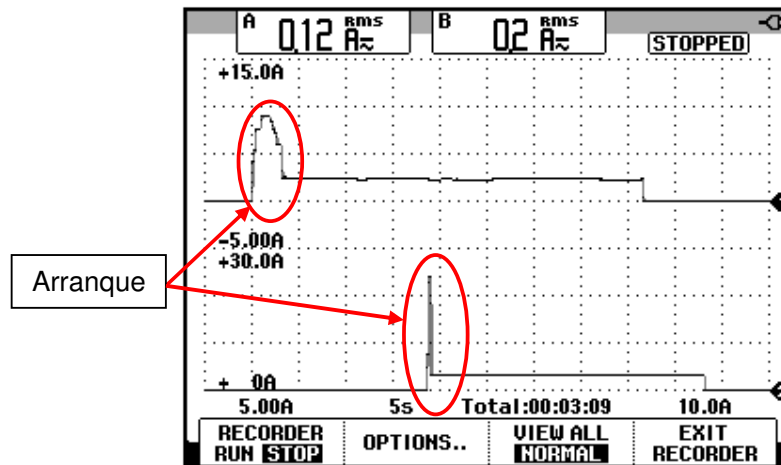


Figura 9.76: Variación de la corriente de los motores MV1009 y MV1007 en vacío durante el arranque. (CH1: Irms-MV1009, CH2: Irms-MV1007).

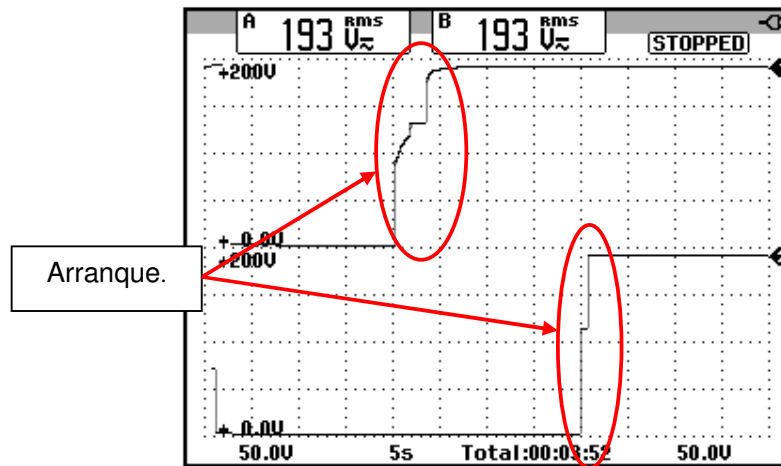


Figura 9.77: Variación del voltaje RMS de los dos motores MV1009 y MV1007 en vacío. (CH1: Vrms-MV1009, CH2: Vrms-MV1007).

En la Fig. 9.78 se muestra la variación de la corriente RMS en las terminales U1-V1 y U2-V2 de los motores operando en vacío. Se han considerado los siguientes ajustes en el menú SEt:

- ACC=60
- tq0=1

En el menú St2, se consideran los siguientes ajustes:

- AC2=60
- tq2=1

Parametrizar los menús SEt y St2 del drive, con los valores iniciales indicados al en la sección 9.3. Des-energizar el panel, luego realizar el procedimiento para pasar a modo manual y mantener el drive energizado

junto con las borneras L1, L2 y L3, a través del accionamiento del selector TRIFÁSICO.

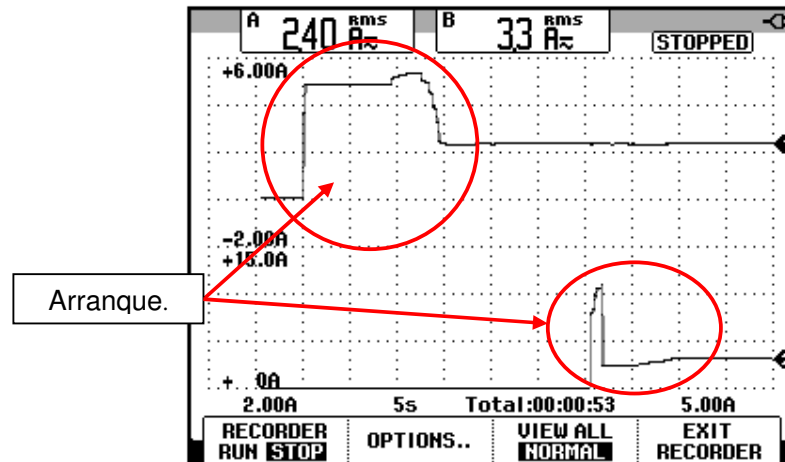


Figura 9.78: Variación de la corriente de los motores MV1009 y MV1007 en vacío durante el arranque. (CH1: Irms-MV1009, CH2: Irms-MV1007).

9.14. Conexión al software Power Suite.

Previo al uso del software POWER SUITE versión 2.0, se procederá a mostrar los equipos necesarios para realizar la conexión entre el drive y la PC.

En la Fig. 9.79, se muestra un convertidor USB-serial. En la Fig. 9.80, se muestra un conector RS232/RS485 PC y los tipos de conectores en ambos extremos. En la Fig. 9.81, se muestra un cable de red directo. Conectar el cable USB-serial a la PC luego al conector RS232/RS485 PC; el conector RS232/RS485 PC, al cable de red directo y éste al puerto de comunicaciones J3 del drive Altistart 48, mostrado en la Fig. 9.82.



Figura 9.79: Convertidor USB-serial



Figura 9.80: Conector RS232/RS485 PC.



Figura 9.81: Cable de red directo.

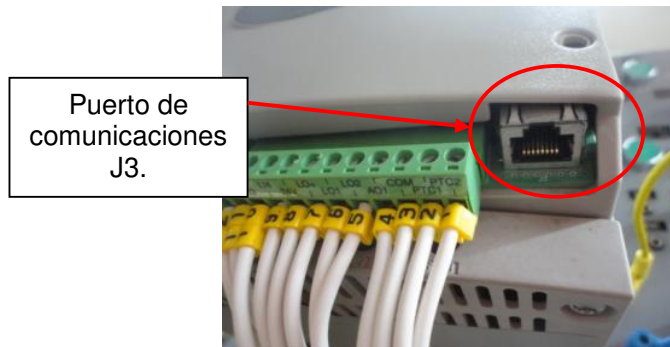


Figura 9.82: Puerto de comunicaciones J3 del drive Altistart 48.

En la PC, en el administrador de dispositivos, configurar el puerto de comunicaciones del PC respectivo con la configuración mostrada en la Fig. 9.83, en este caso, es el puerto COM14. Se configura el puerto COM 14 con los parámetros indicados en la Fig. 9.84, dado que son los valores de los parámetros tbR y FOr del menú COP correspondientes al ajuste de fábrica. Al Iniciar el programa Power Suite v2.0., es posible que dentro del menú árbol mostrado a la izquierda del programa, existan equipos y configuraciones realizadas en prácticas anteriores como se muestra en la Fig. 9.84. Proceder a borrar el equipo y la configuración realizada en una práctica previa. Para ello, seleccionar el equipo, luego acceder al menú Fichero y seleccionar la opción Borrar, como se muestra en la Fig. 9.85. Realizar el mismo procedimiento con la configuración. A continuación, dentro del menú árbol del software, seleccionar “Mis equipos” y dentro del menú Fichero, elegir la opción Nuevo, y luego Equipo, como se muestra en la Fig. 9.86. Dentro de la ventana Equipo, configurar la pestaña Equipo de la forma mostrada en la Fig. 9.87. Crear una nueva configuración como se muestra en la Fig. 9.88. Asignarle el nombre de “confATS48”. Configurar la

pestaña Comunicación como se muestra en la Fig. 9.89 y luego aceptar. Transferir la configuración del equipo al PC, para ello presionar el botón indicado en la Fig. 9.90. Aparece una ventana de diálogo indicando que es necesario presionar ALT+F para continuar. Luego aparece un mensaje indicando que el equipo ha sido detectado y posteriormente, una ventana solicitando continuar como se muestra en la Fig. 9.91. Luego aparece un mensaje indicando que la transferencia ha terminado; luego de aceptar, en el menú árbol, seleccionar el equipo ATS48 y presionar el botón Conectar al equipo, como se muestra en la Fig. 9.92. Aparece la ventana mostrada en la Fig. 9.93. Los botones indicados a la derecha de la ventana de conexión al equipo, corresponden a un acceso directo a los menús del drive, tal como se muestra en la Fig. 9.94.

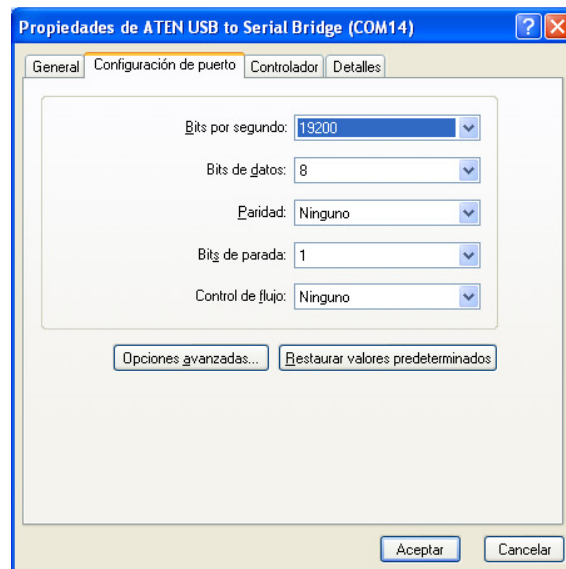


Figura 9.83: Configuración del puerto serial del PC.

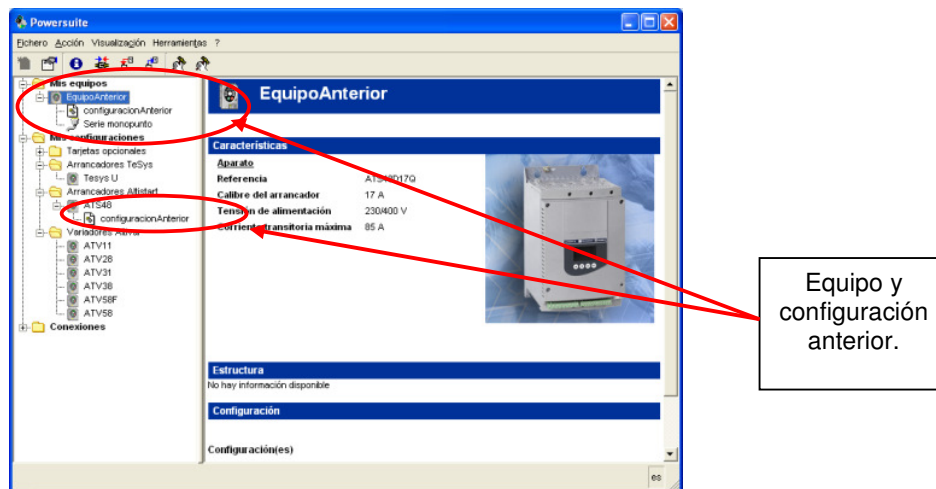


Figura 9.84: Equipo y su configuración realizada en una práctica anterior.

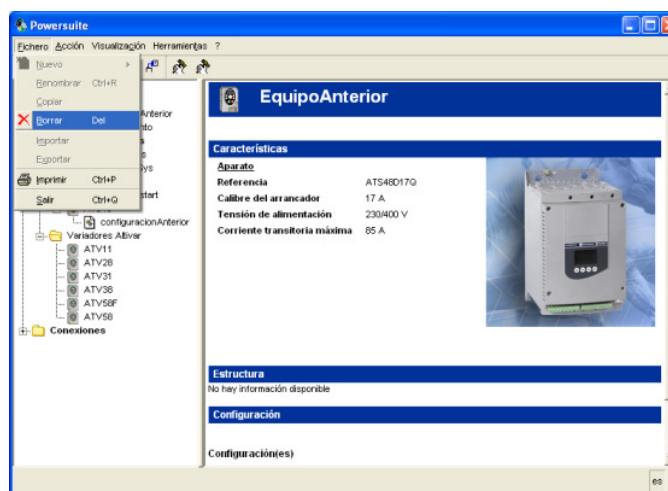


Figura 9.85: Eliminación del equipo empleado en una práctica previa.

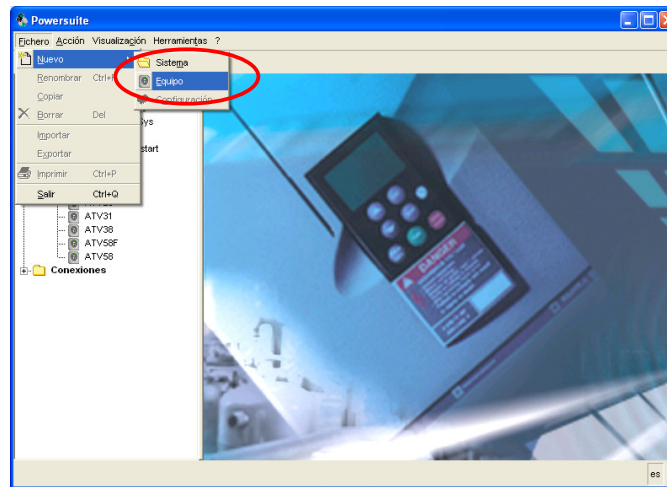


Figura 9.86: Agregar nuevo equipo dentro del programa Power Suite v2.0.

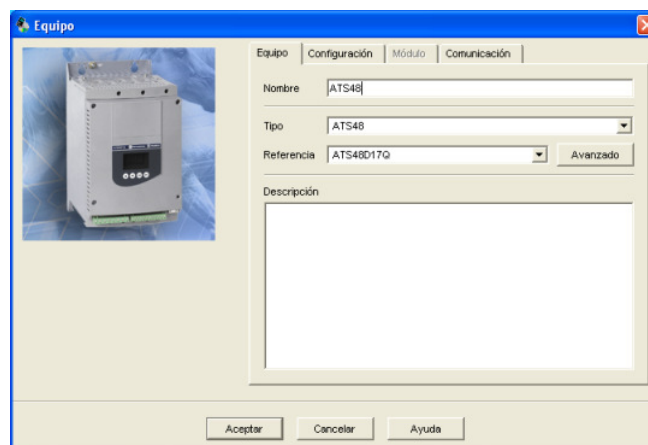


Figura 9.87: Configuración de la pestaña Equipo dentro del programa Power Suite v2.0.

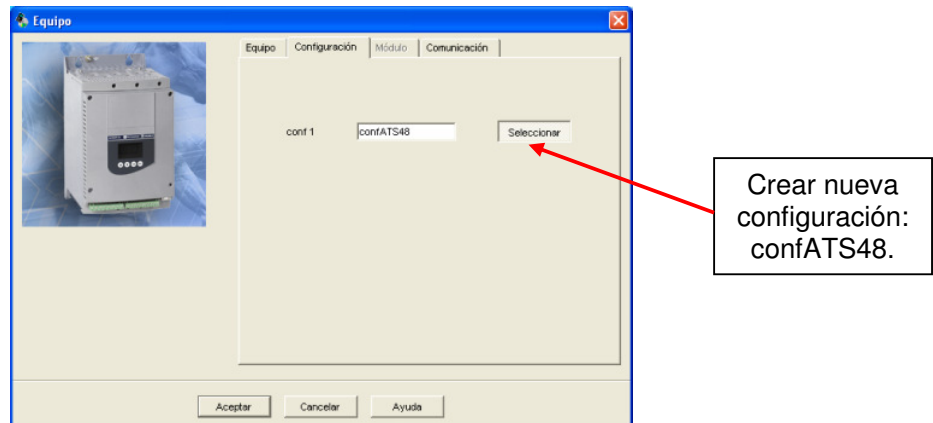


Figura 9.88: Creación de nueva configuración dentro de la pestaña Configuración ubicada en la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.

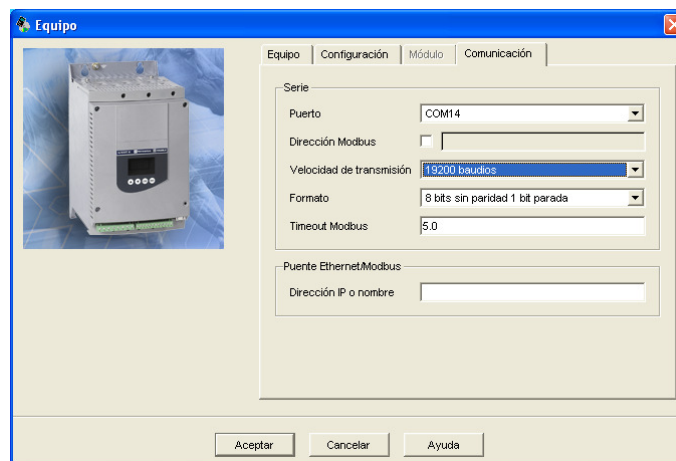


Figura 9.89: Configuración de la pestaña Comunicación dentro de la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.

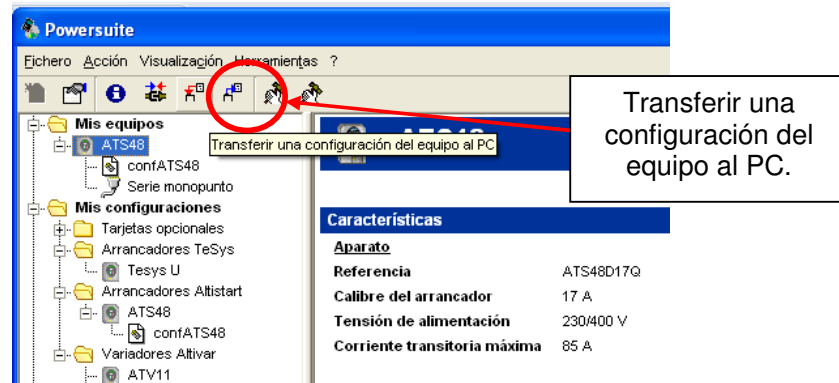


Figura 9.90: Botón para transferir una configuración del equipo al PC en el programa Power Suite v2.0.

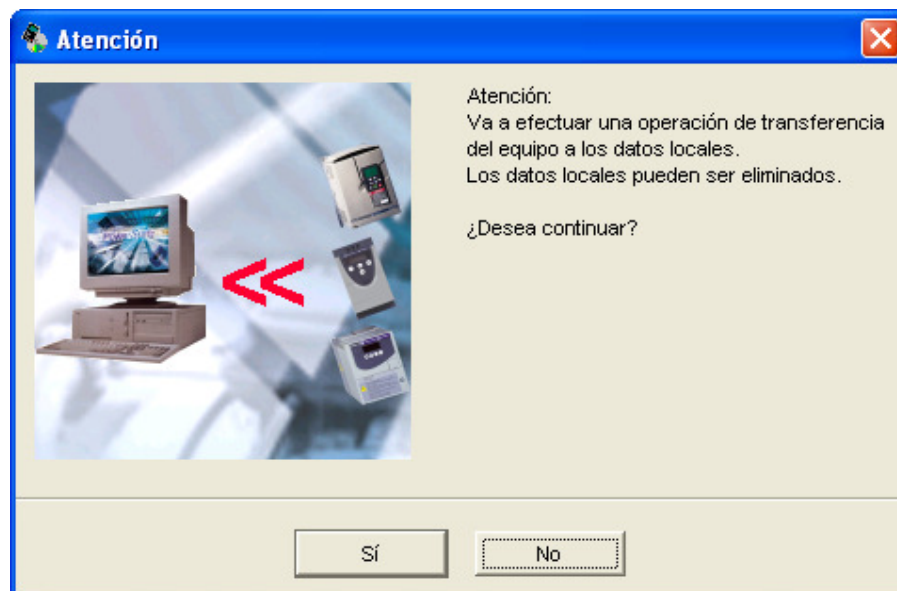


Figura 9.91: Advertencia indicando que se transmitirán los parámetros del equipo hacia el PC.

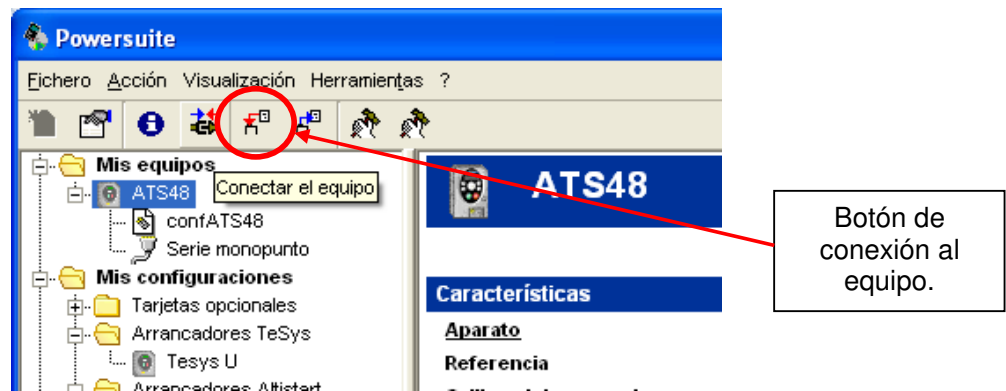


Figura 9.92: Botón de conexión al equipo en el programa Power Suite v2.0.

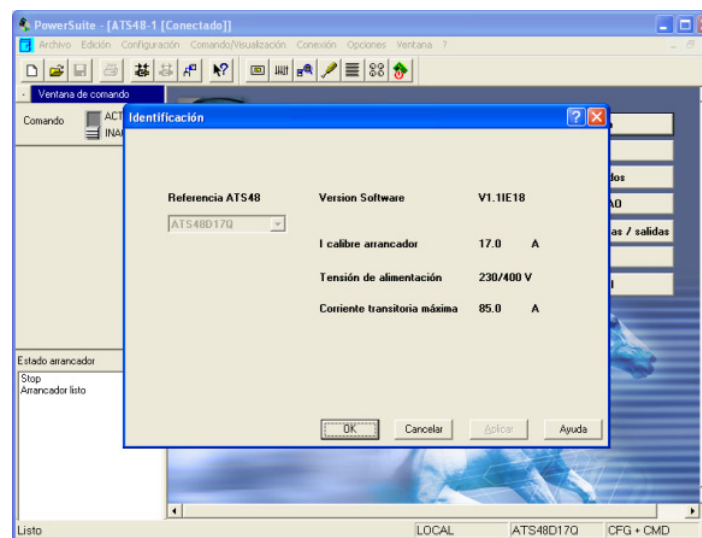


Figura 9.93: Ventana para manejar el drive desde el PC.

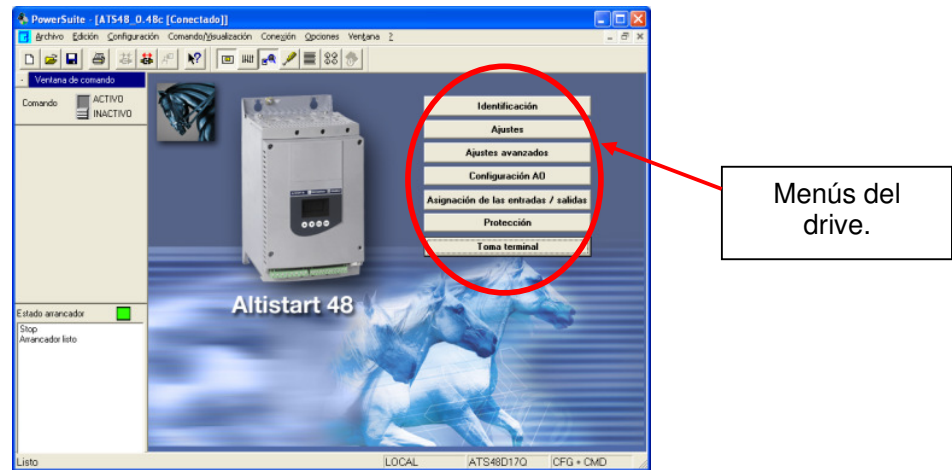


Figura 9.94: Acceso directo a los menús del drive dentro de la ventana de conexión al equipo.

En el menú Edición, se accede a la opción Lista de los parámetros para observar los valores de todos los parámetros de cada menú del drive. En la Fig. 9.95, se muestran los valores de los diferentes parámetros. Es posible comparar los valores ajustados de cada parámetro con los valores de fábrica; los valores con color de texto rojo indican los valores que se han modificado como por ejemplo el valor del parámetro In del menú Ajustes, el cual corresponde a la corriente nominal. En el menú Comando/Visualización, se accede a la opción Ventana de explotación; en ella, se pueden visualizar los valores de ciertos parámetros en tiempo real, tales como los parámetros del menú SUP, IO y SEt. La ventana de explotación se muestra en la Fig. 9.96.

Parámetro	Valor	Valor de fábrica	Dirección lógica
Identificación	ATS48_0_48c		
Identificación	ATS48D17Q		
Tensión de alimentación	230/400 V		
Calibre arrancador	17.0 A		
Corriente transitoria máxima	85.0 A		
Ajustes			
IN	Corriente nominal motor	Z.O.A.	4026
IL1	Corriente de limitación	400 %	4030
ACC	Tiempo rampa aceleración	15 s	4043
TQ0	Par inicial de arranque	20 %	4037
STY	Elección tipo de parada	Par.rueda libre	4029
DEC	Tiempo rampa deceleración	15 s	4044
EDC	Nivel paso rueda libre (dec)	20 %	4038
BRC	Nivel par frenado interno	50 %	4041
EBA	Tiem.frenado pseudocontinuo	20 %	4042
Ajustes avanzados			
IN2	Corriente nominal motor 2	Z.O.A.	4300
IL2	Limitación corriente motor 2	400 %	4304
AC2	Tiempo aceleración motor 2	15 s	4305
TQ2	Par arranque motor 2	20 %	4302
DE2	Tiempo deceleración motor 2	15 s	4306
ED2	Nivel rueda libre 2ª decel.	20 %	4303
IPR	Nivel de precalentamiento	0 %	4045
TPR	Tiempo antes precalentamiento	5 min	4046
CLP	Control de par	Activado	4107
LSC	Compens.pérdidas estátor	50 %	4027
BST	Nivel del boost de tensión	Desactivado	4028
TLI	Limitación de par	Desactivado	4036

Figura 9.95: Listado de parámetros del drive dentro del menú Edición de la ventana de conexión al equipo.

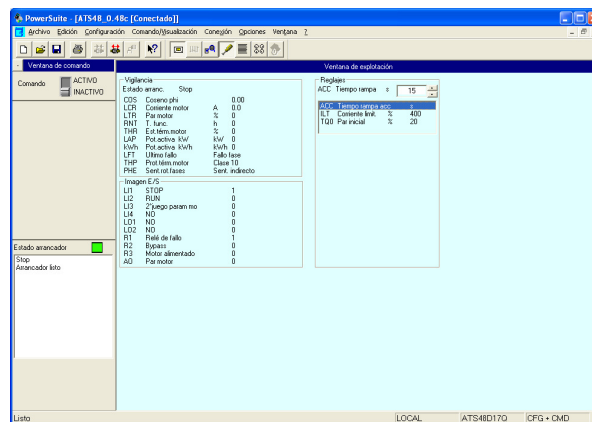


Figura 9.96: Ventana de explotación dentro del menú Comando/Visualización de la ventana de conexión al equipo.

Dentro del menú Configuración, es posible acceder a la opción Panel General para regresar a la ventana principal. Para proceder a arrancar el motor, elegir la opción ACTIVO del selector COMANDO; aparece una ventana de advertencia indicando que es necesario presionar ALT+F para continuar. Antes de presionar esa combinación de teclas revisar las

conexiones al motor en modo manual. Luego, se habilitan los botones de arranque y detención del drive en la ventana principal del programa Power Suite; esto se muestra en la Fig. 9.97.

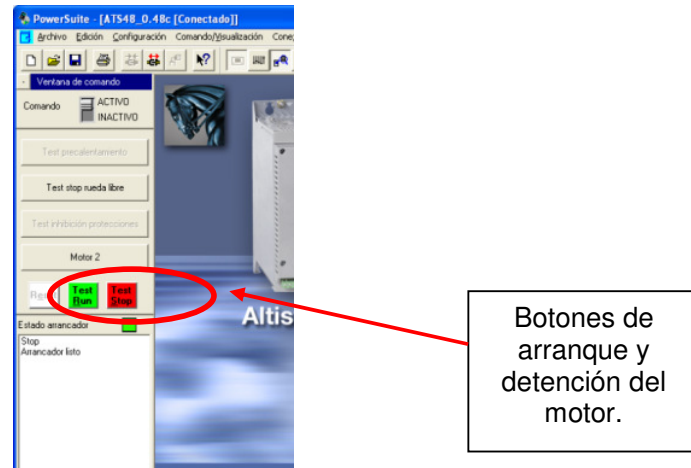


Figura 9.97: Botones de arranque y detención del motor en la ventana de conexión al equipo.

9.15. Configuración del tipo de frenado por desaceleración empleando Power Suite. Visualización de la variación de corriente RMS, voltaje RMS, torque y velocidad durante el frenado.

Previo al arranque del motor, adquirir la señal de torque del motor y la corriente hacia el nodo U1 del motor. Luego, presionar el botón TEST RUN y empleando el freno MV1045, aumentar la carga mecánica hasta que la corriente hacia el nodo U1 sea de 3.5A aproximadamente; este ajuste se muestra en la Fig. 9.98.

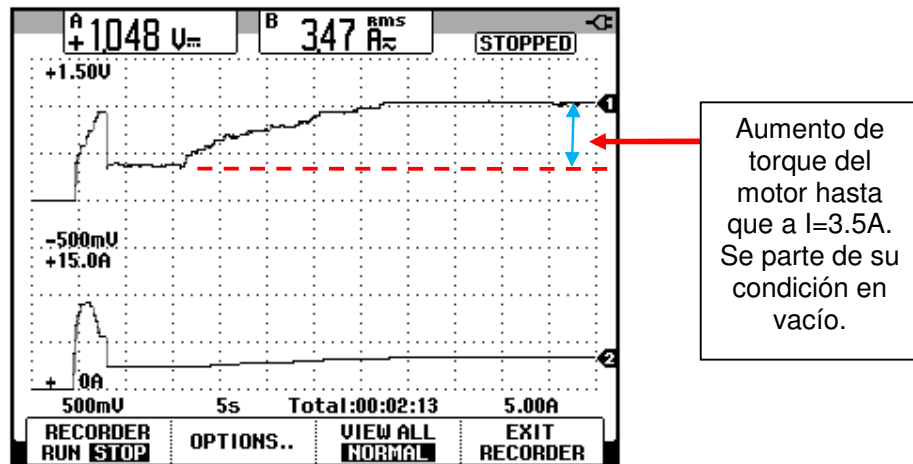


Figura 9.98: Arranque y posterior aumento de torque y corriente del motor a 3.5A. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

Detener el motor, presionando el botón Test Stop. Comparando las Figs. 9.65 y 9.69 se observa que la duración del frenado, es decir, el tiempo que dura la disminución de velocidad, disminuye al aplicarle carga al motor. Generalmente, los motores operan bajo cierta carga mecánica y no en vacío. En la Fig. 9.69, se observa que la velocidad disminuye de forma brusca cuando opera con una carga mecánica que requiere 5.5A en la corriente de línea del motor; la duración del frenado es de aproximadamente un segundo. La disminución brusca de la velocidad del eje del motor causa, por citar un ejemplo, choques hidráulicos en las aplicaciones de bombas. Para ello, el arrancador Altistart 48 permite realizar control de frenado.

En la ventana principal, acceder al menú Ajustes y configurar la pestaña Tipo de parada como se muestra en la Fig. 9.99. El tipo de parada STY es Deceleración, el tiempo de la rampa de deceleración DEC es 10 y el nivel de

paso de rueda libre es EDC es 0. El resultado será una rampa de frenado durante 10 segundos.

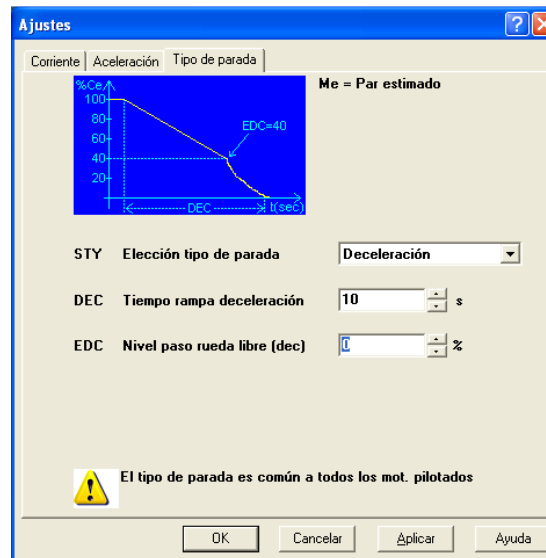


Figura 9.99: Configuración del tipo de parada en el menú Ajustes empleando el programa Power Suite.

En la Fig. 9.100 se muestra la variación del torque y de la corriente del motor durante el arranque y el frenado del motor para un ajuste de los parámetros DEC=10 y EDC=0. Durante el frenado, se produce un aumento de la corriente del motor.

En la Fig. 9.101 se muestra la variación del torque y del voltaje RMS del motor para una carga que requiere 3.5A de corriente de línea. Se observa control de voltaje.

En la Fig. 9.102 se muestra la variación del torque y de la velocidad del motor para una carga que requiere 3.5A de corriente de línea. Al observar la Fig. 9.102, la detención del eje del motor dura aproximadamente 5 segundos

empleando un tipo de frenado, a diferencia de la Fig. 9.69, en la que la duración de la detención del motor bajo carga con frenado por rueda libre, es de 15 segundos.

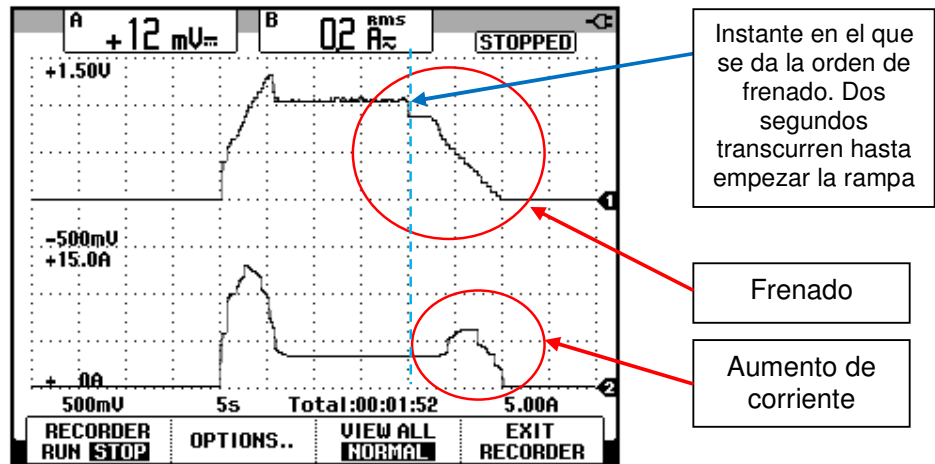


Figura 9.100: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

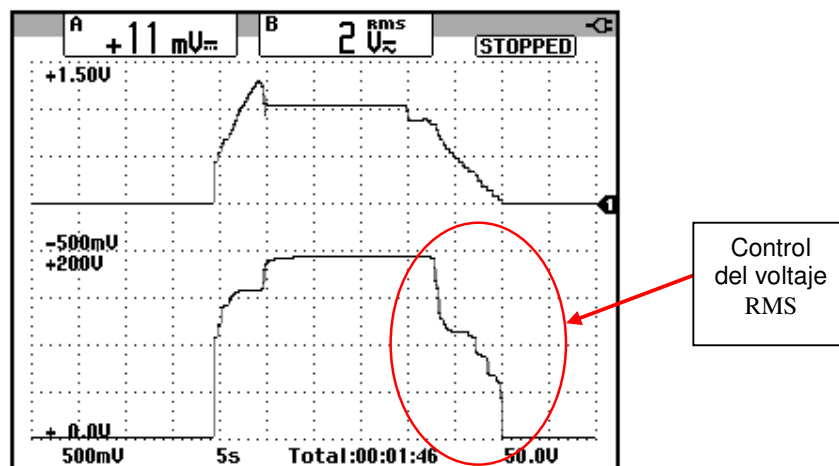


Figura 9.101: Variación del torque y del voltaje RMS en las terminales U1-V1 del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-U1-V1).

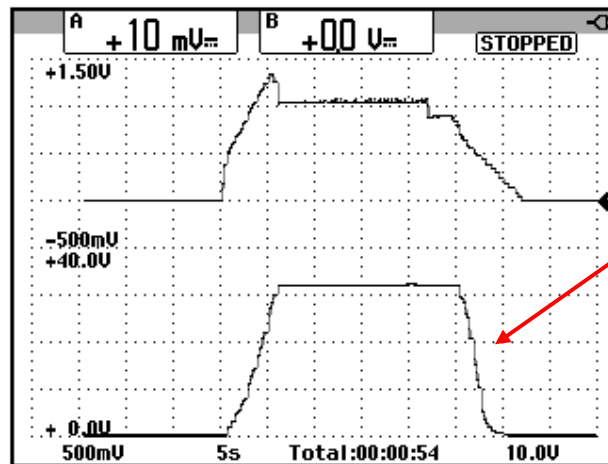


Figura 9.102: Variación del torque y de la velocidad del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Vrms-U1-V1).

En la Fig. 9.103 se muestra la variación del torque y de la corriente del motor durante el arranque y el frenado del motor para un ajuste de los parámetros DEC=10 y EDC=20.

En la Fig. 9.104 se muestra la variación del torque y de la corriente del motor durante el arranque y el frenado del motor para un ajuste de los parámetros DEC=10 y EDC=40.

En la Fig. 9.105 se muestra la variación del torque y de la corriente del motor durante el arranque y el frenado del motor para un ajuste de los parámetros DEC=10 y EDC=60.

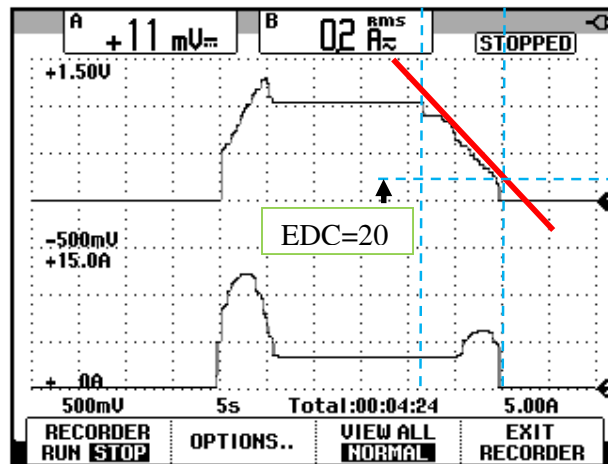


Figura 9.103: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=20. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

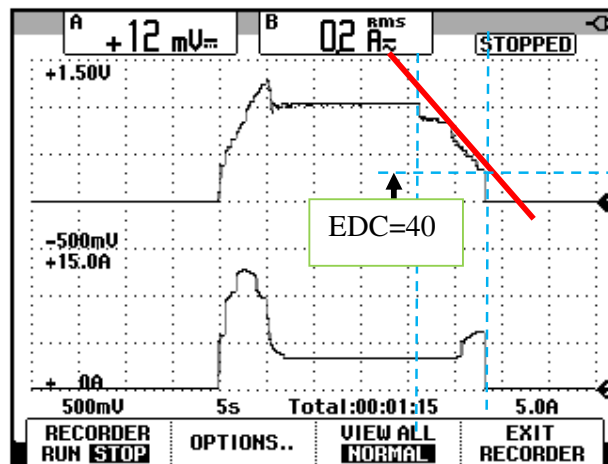


Figura 9.104: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=40. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

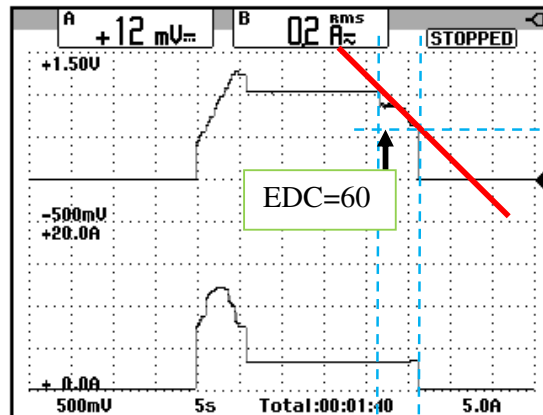


Figura 9.105: Variación del torque y de la corriente RMS del motor para una carga mecánica que requiere 3.5A de corriente de línea y ajuste de EDC=60. (CH1: Vdc-torque motor, CH2: Irms-hacia el nodo U1).

Se puede observar que el parámetro EDC permite controlar el instante a partir del cual se deshabilita la rampa de desaceleración y por ende empieza el frenado en rueda libre. En la Fig. 9.105, se observa que debido a que EDC=60, el control del frenado dura menos y por ello la corriente durante esta etapa no aumenta a partir del valor de estado estable. No se recomienda aumentar el valor de EDC más allá de 40.

Es posible guardar la configuración del variador en un archivo. Para ello, acceder al menú Archivo de la ventana de conexión al equipo, tal como se observa en la Fig. 9.106. La extensión del archivo es 48c. Luego, proceder a la desconexión del variador del PC, para ello acceder al menú Conexión y elegir la opción Desconexión del variador como se observa en la Fig. 9.107. Finalmente, cerrar el programa y proceder a la des-energización del panel eléctrico Altistart.

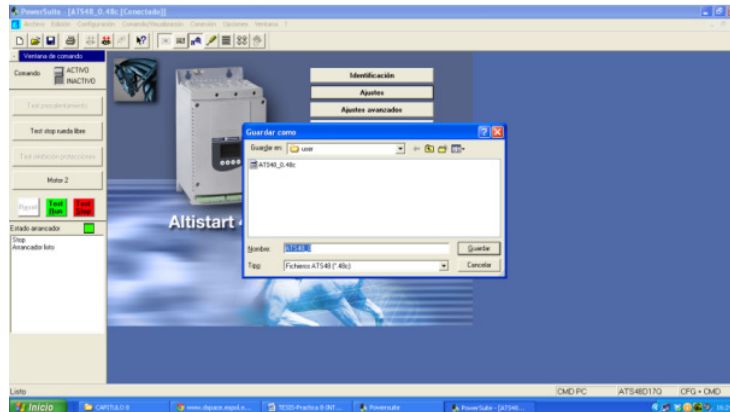


Figura 9.106 Guardado de la configuración de los parámetros del drive Altistart 48.



Figura 9.107 Desconexión entre el drive Altistart 48 y la PC.

CAPÍTULO 10

CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN CON ACCIONAMIENTOS BÁSICOS DE VELOCIDAD VARIABLE.

El presente capítulo tiene como fin mostrar la parametrización básica y avanzada de un variador de frecuencia. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434. Se analizan dos métodos de control de flujo y su efecto en el voltaje línea-línea RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento en un rango de frecuencias de 5Hz a 50Hz. Se implementan tres tipos de frenado.

10.1. Listado de equipos a emplearse, presentación y encendido del panel eléctrico Altivar.

Previo a la descripción del panel eléctrico Altivar, se indican los equipos necesarios para la práctica.

- Panel eléctrico Altivar

- Motor AC MV1009
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Analizador de energía Fluke 434.
- Máquina DC MV1006
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE TACH20
- Tacogenerador DC MV1024
- Freno MV1045.
- Banco resistivo MV1100
- Reóstato MV1962.
- Convertidor USB-serial
- Cables de tipo banana

En la Fig. 10.1 se muestra una imagen de los dos paneles eléctricos Altivar del Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la Fig. 10.2 se muestra la parte posterior del panel eléctrico original Altivar. En la Fig. 10.3, se muestra una vista del panel frontal del panel eléctrico Altivar.



Figura 10.1: Paneles eléctricos Altivar: original (izquierda) y réplica (derecha).

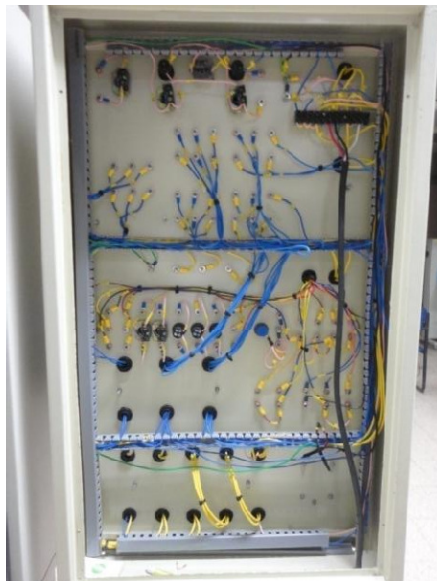


Figura 10.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Altivar: original (izquierda) y réplica (derecha).

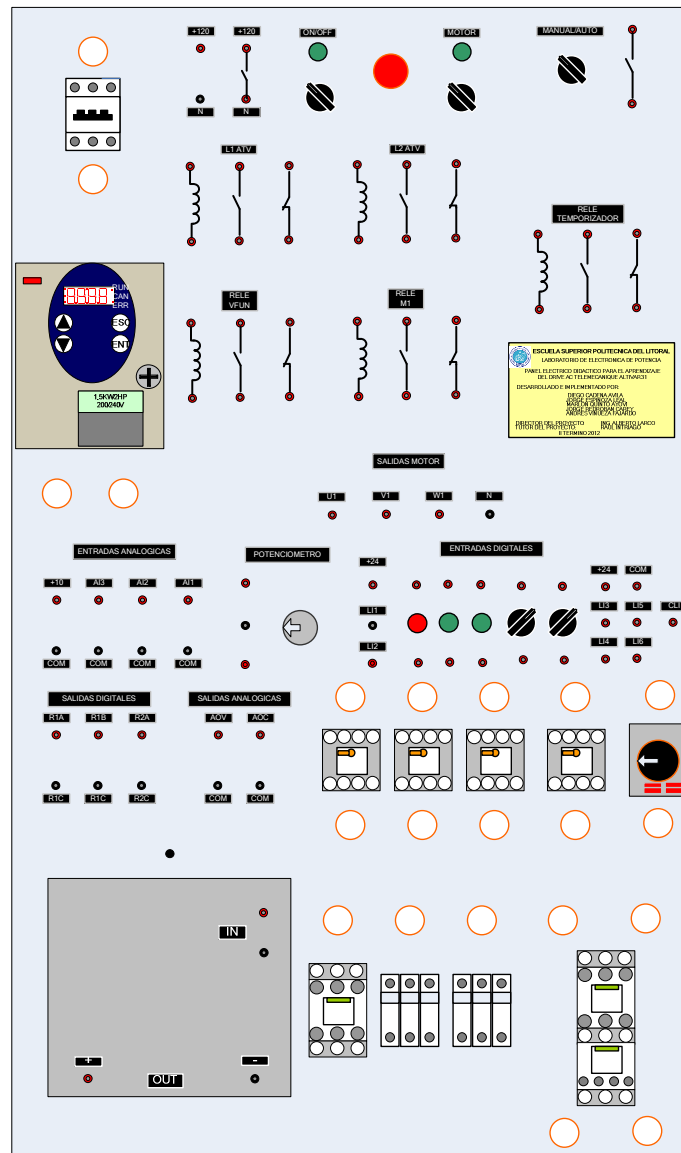
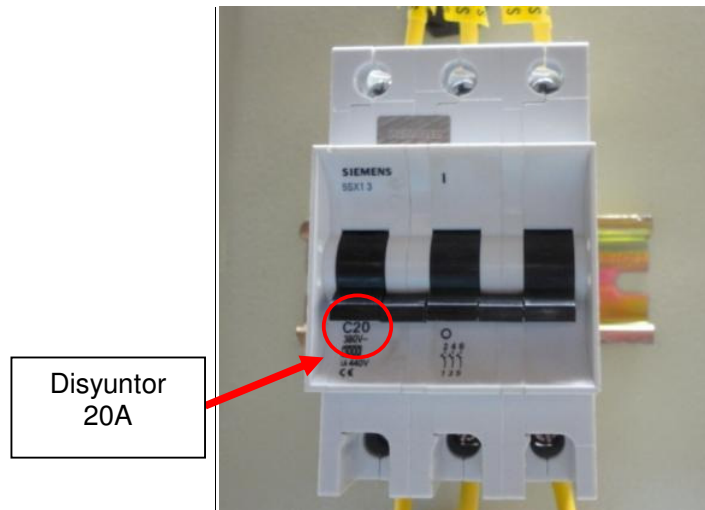


Figura 10.3: Vista frontal del panel eléctrico Altivar.

A continuación, se muestran las partes constitutivas del panel eléctrico Altivar. En la Fig. 10.4, se muestra el disyuntor de 20A. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 10.5, se muestra el contactor ON/OFF de 25A, tres porta-fusibles para los fusibles de acción rápida de 20A, tres porta-fusibles para los fusibles de retardo de tiempo de 10A, el contactor MOTOR de 25A y

el relé térmico regulable de 7A a 10A, cuyo ajuste corresponde a 7A. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 10.6, se muestra la información técnica de los contactores ON/OFF y MOTOR; en ella se indica la corriente máxima de operación. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 10.7, se muestra uno de los tres fusibles de acción rápida junto con sus especificaciones técnicas. Observar el diodo semiconductor, el cual indica que el fusible es de acción rápida. En la Fig. 10.8, se muestra uno de los tres fusibles de retardo de tiempo de 10A, junto con sus especificaciones técnicas. En la Fig. 10.9, se muestra el relé térmico cuyo ajuste se encuentra en 7A, dado que es el valor de la corriente nominal del motor MV1009 cuyo estator se encuentra conectado en delta. Es posible regular la acción de interrupción del relé entre 7A y 10A. En la Fig. 10.10, se muestra la información técnica del relé térmico. En la Fig. 10.11, se muestran los relés de control; de izquierda a derecha: relé L1 ATV, relé L2 ATV, relé VFUN, relé M1 y relé temporizador. Las terminales de la bobina, de un contacto normalmente abierto y de un contacto normalmente cerrado de cada uno de los relés de control, se encuentran a disposición del usuario del panel Altivar, como se observa en la Fig. 10.12. En la Fig. 10.13, se muestra el diagrama de identificación de las terminales de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1. En la Fig. 10.14, se muestra el socket de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1.



Disyuntor
20A

Figura 10.4: Disyuntor de 20A.



Figura 10.5: Contactor ON/OFF, porta-fusibles para fusibles de acción rápida de 20A, porta-fusibles para fusibles de retardo de tiempo de 10A, contactor MOTOR y relé térmico.

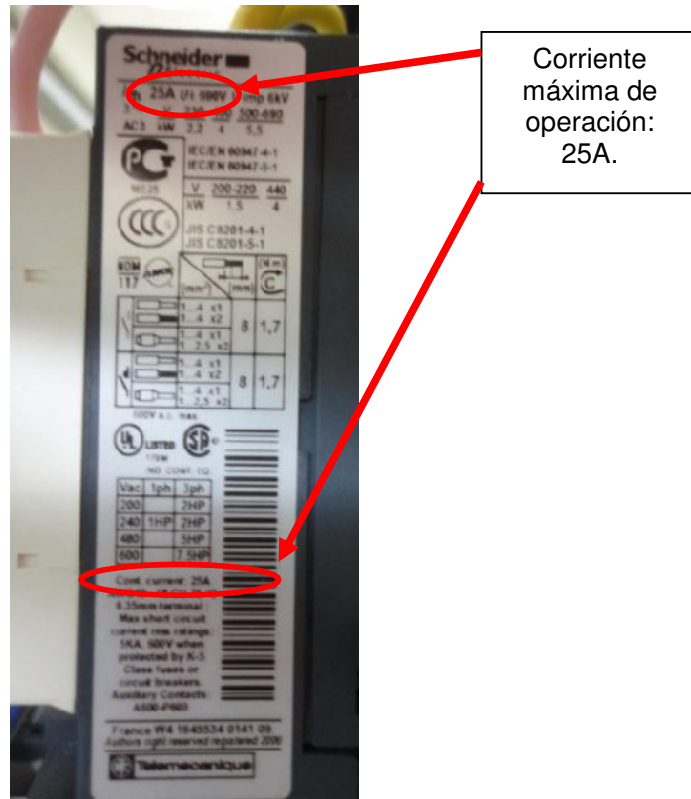


Figura 10.6: Información técnica de los contactores ON/OFF y MOTOR de 25A.



Figura 10.7: Fusible de acción rápida de 20A.



Figura 10.8: Fusible de retardo de tiempo de 10A.

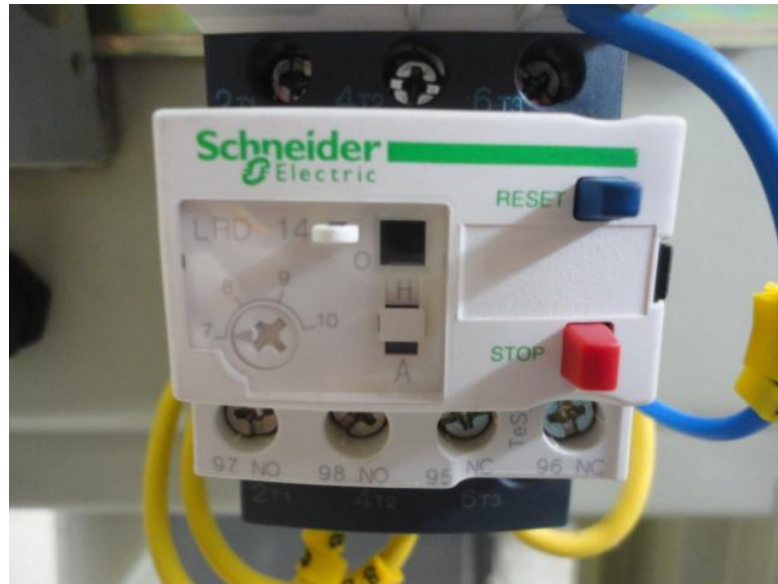


Figura 10.9: Relé térmico con un ajuste de interrupción en 7A.



Límites entre los cuales se puede ajustar el valor de la corriente de interrupción del relé térmico.

Figura 10.10: Información técnica del relé térmico.



Figura 10.11: Cinco relés de control: relé L1 ATV, relé L2 ATV, relé VFUN, relé M1 y relé temporizador.

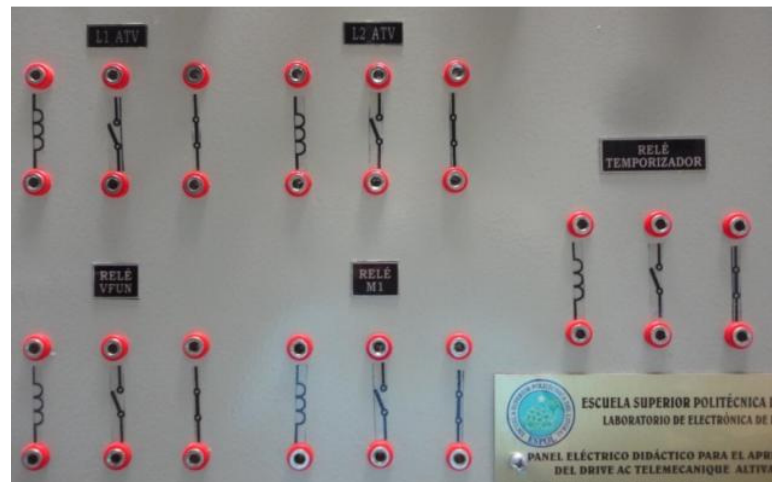


Figura 10.12: Terminales de la bobina, de un contacto normalmente abierto y de un contacto normalmente cerrado de cada uno de los relés de control.



Figura 10.13: Diagrama de identificación de las terminales de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1.

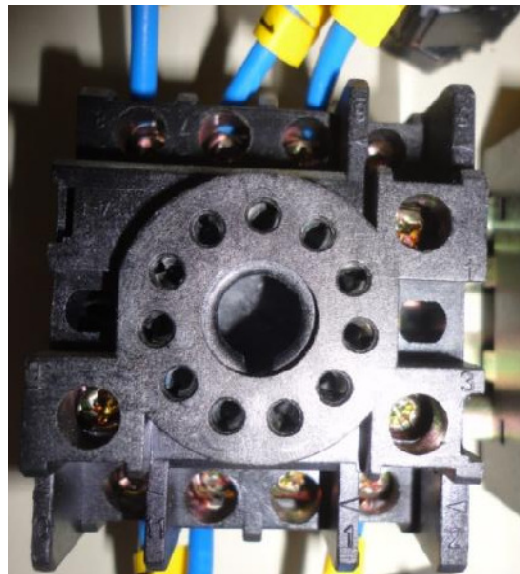


Figura 10.14: Socket de los relés L1 ATV, L2 ATV, VFUN y M1.

En la Fig. 10.15, se muestra la vista frontal del relé temporizador de tipo ON DELAY, es decir, con retardo al encendido. El temporizador cuenta con una escala de 0 a 1, donde cada división corresponde a 0.04 unidades. La perilla

de regulación de temporización se encuentra fija en 0.64. La configuración de selectores corresponde a 60s, tal como se indica en la Fig. 10.15.

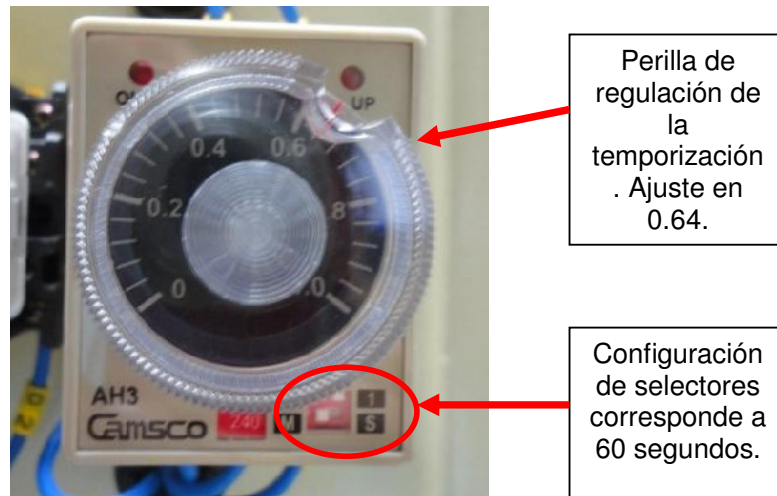


Figura 10.15: Relé temporizador.

En la Fig. 10.16, se muestra la vista lateral del relé temporizador la cual indica las especificaciones técnicas del relé temporizador. Observar las cuatro configuraciones de los selectores; de acuerdo al ajuste mostrado en la Fig. 10.15, se ha elegido la configuración de 60s. La temporización máxima del relé es de 10 minutos; sin embargo, la mejor forma de calibrar la temporización es mediante ensayos de prueba y error.

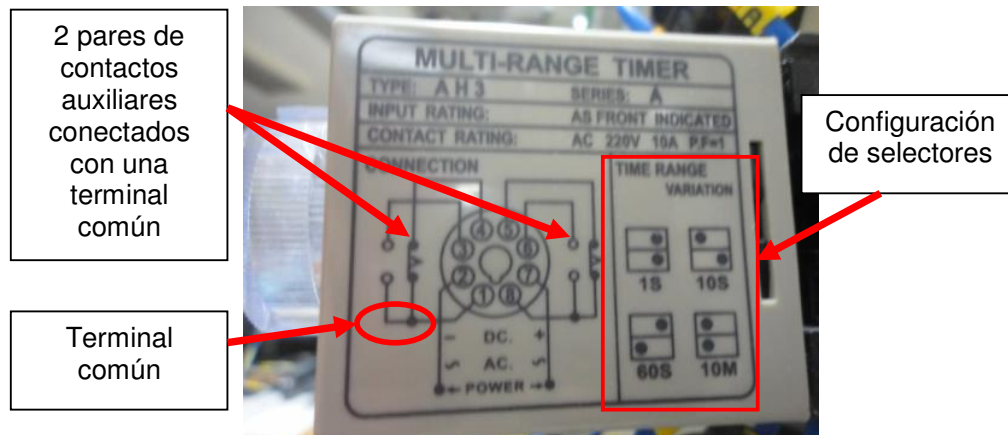


Figura 10.16: Especificaciones del relé temporizador.

Para determinar la temporización, se multiplica el valor en el que se encuentra la perilla de regulación y se lo multiplica por el valor indicado por la configuración de los selectores. En nuestro caso, la perilla de regulación se encuentra en 0.64 y la configuración de selectores corresponde a 60segundos por lo que la temporización corresponde a 38.4 segundos.

En la Fig. 10.17 se muestra el socket del relé temporizador. En la Fig. 10.18 se muestran las partes constitutivas del relé temporizador. Cabe recalcar que es necesario desarmar el relé para poder acceder a la configuración de selectores.



Figura 10.17: Socket del relé temporizador.

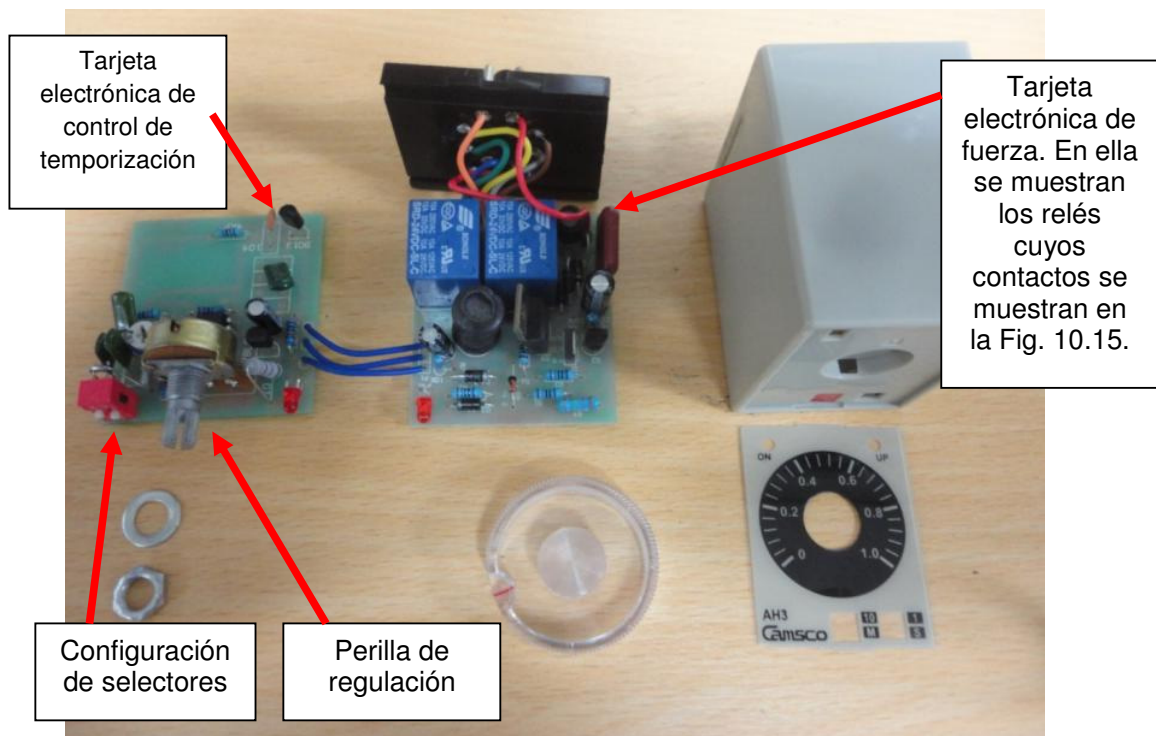


Figura 10.18: Partes constitutivas del relé temporizador.

En la Fig. 10.19, se observa que se tiene a disposición el voltaje línea-neutro, el selector MOTOR y el selector ON/OFF con sus terminales; adicionalmente, se muestran las dos lámparas indicadoras ON/OFF y MOTOR, junto con la botonera de paro de emergencia y el selector MANUAL/AUTO con sus terminales.



Figura 10.19: Elementos de control de la parte superior del panel Altivar.

En la Fig. 10.20, se muestran las terminales U1, V1 y W1 para conexión al motor, junto con la terminal para el potencial neutro; cabe recalcar que el potencial neutro no debe ser conectado al estator del motor, incluso si está conectado en estrella. Adicionalmente, se ponen a disposición del usuario del panel, las terminales del drive Altivar 31 correspondientes a las entradas digitales. Se ponen a disposición las terminales del contacto normalmente cerrado de la botonera roja y las terminales del contacto normalmente abierto de cada botonera verde. En la Fig. 10.20, las terminales de los selectores se encuentran en la posición normalmente abierta.

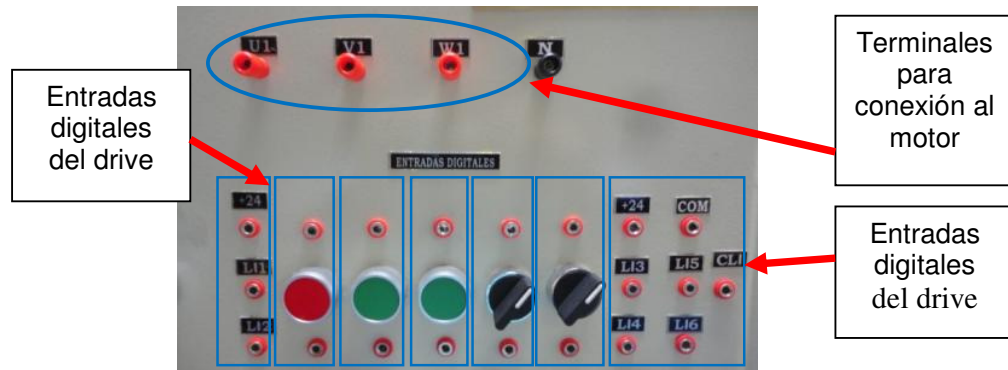


Figura 10.20: Entradas digitales del drive Altivar 31, botoneras y selectores.

En la Fig. 10.21, se muestran las terminales del drive correspondientes a las entradas analógicas junto con el potenciómetro de precisión de 5K Ω y sus terminales; entre las terminales rojas es posible medir un valor de resistencia fija mientras que entre una terminal roja y la terminal negra se puede medir un valor de resistencia variable al variar la perilla del potenciómetro. En la Fig. 10.22, se muestran las terminales del drive correspondientes a las salidas digitales junto con las salidas analógicas.



Figura 10.21: Entradas analógicas del drive Altivar 31, potenciómetro de precisión de 5K Ω y sus terminales.



Figura 10.22: Salidas digitales y analógicas del drive Altivar 31.

En la Fig. 10.23, se muestra la tarjeta electrónica cuya función consiste en recibir una señal analógica variable entre 0 y 10V y entregar la misma señal con la diferencia que las referencias de cada señal no es la misma. El circuito integrado IL300, empleado en la tarjeta electrónica, permite aislar ópticamente dos señales analógicas. Esta tarjeta electrónica dispone de borneras de entrada y salida. Las terminales de color negro, corresponden a la referencia de cada señal. Tomar en cuenta que el potenciómetro de la izquierda tiene un ajuste de 210.81K Ω y el potenciómetro de la derecha tiene un ajuste de 8.21K Ω .

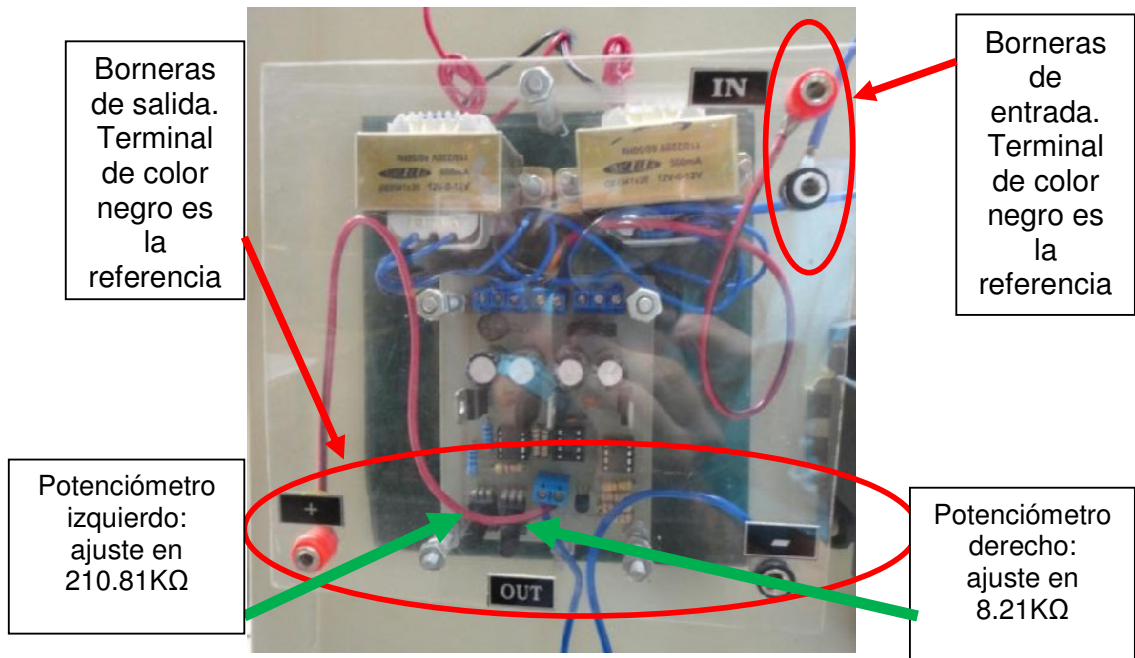


Figura 10.23: Tarjeta de aislamiento óptico de señales analógicas.

En la Fig. 10.24 se muestra el diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altivar original, en el mismo se observan la bornera principal, el disyuntor, los contactores ON/OFF y MOTOR, el relé térmico, los fusibles de acción rápida y de retardo de tiempo, las terminales para conexión del motor y un esquema simplificado del drive Altivar 31.

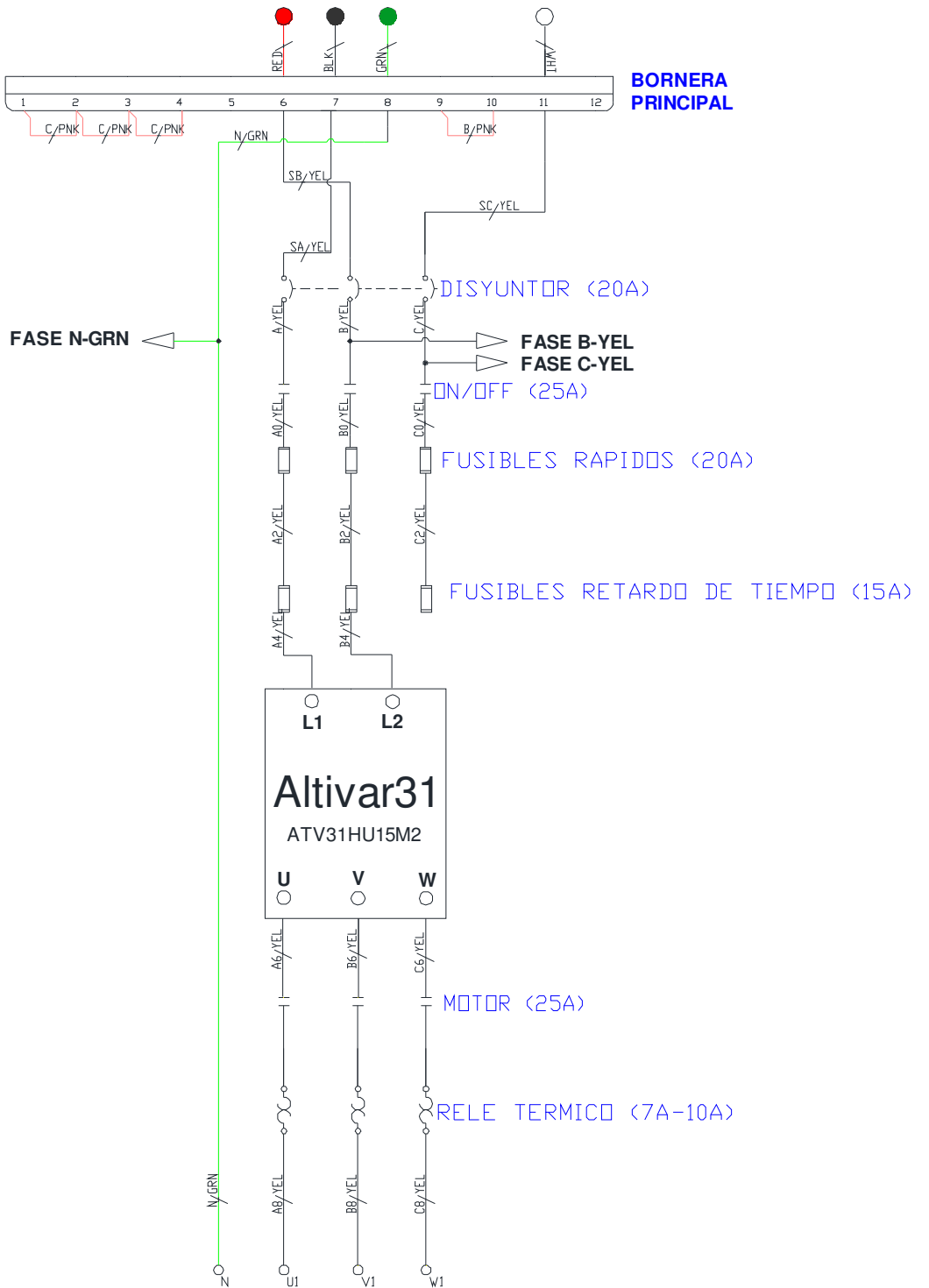


Figura 10.24: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico Altivar original.

En la Fig. 10.25 se muestra el diagrama eléctrico de control del panel eléctrico Altivar original, en el mismo se observa el selector ON/OFF y MOTOR, las lámparas indicadoras ON/OFF, las bobinas de los contactores ON/OFF y MOTOR y la botonera de emergencia. Identificar en la Fig. 10.23, las fases B-YEL, C-YEL y N-GRN. Revisar el documento adjunto “Diagrama eléctrico completo – Panel Altivar.dwg” para comprobar algún detalle adicional.

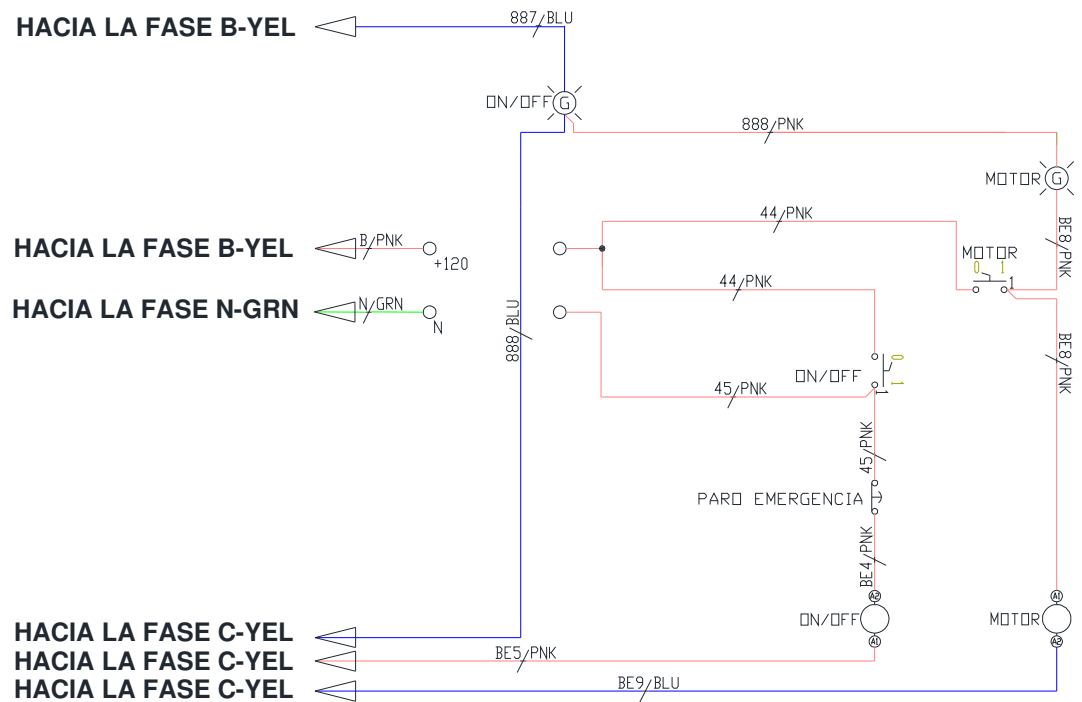


Figura 10.25: Diagrama eléctrico de control del panel eléctrico Altivar original.

En la Fig. 10.26 se muestra la sección interior del drive Altivar 31. En ella se observan las borneras de control y fuerza; adicionalmente, se muestra una imagen indicando el funcionamiento de las mismas. Se observa el selector

SW1 que p permite seleccionar entre el modo SOURCE, SINK o CLI. En la Fig. 10.27 se muestran las especificaciones técnicas del drive Altivar 31.

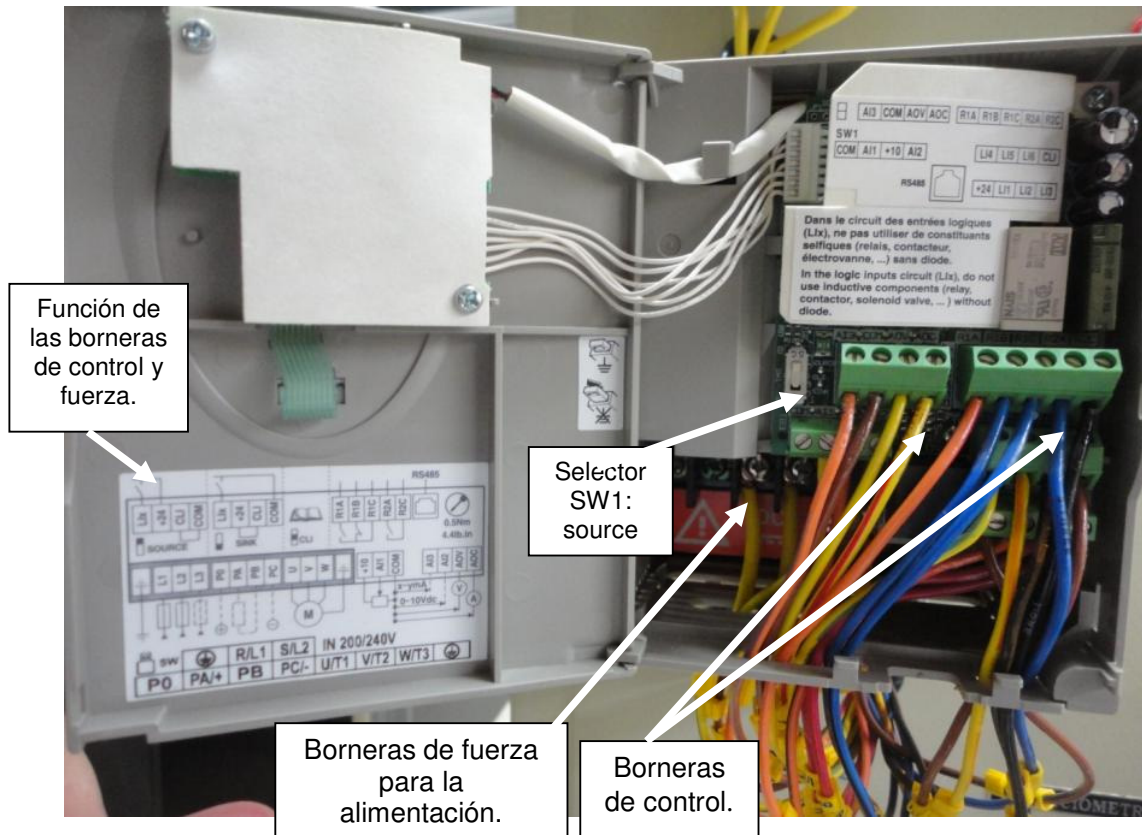


Figura 10.26: Vista interior del drive Altivar 31.



Figura 10.27: Especificaciones técnicas del drive Altivar 31.

10.2. Uso de la interfaz hombre-máquina (HMI) del variador. Método de inicialización del variador con los parámetros de fábrica.

Verificar que el panel eléctrico Altivar, se encuentre sin conexión a la red eléctrica del Laboratorio. Realizar la conexión mostrada en la Fig. 10.28, la cual permite energizar el drive Altivar 31. Observar en la Fig. 10.25 que al realizar esta conexión, es posible energizar el ramal formado por el selector ON/OFF, la botonera PARO EMERGENCIA y la bobina del contactor ON/OFF. Al observar la Fig. 10.25, se puede comprobar, que basta accionar el disyuntor para que la lámpara ON/OFF se encienda.

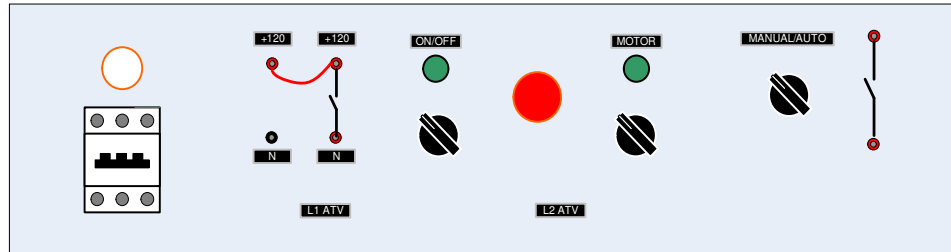


Figura 10.28: Conexión en el panel Altivar previo a la energización del drive Altivar 31.

Energizar el panel eléctrico Altivar, accionar el disyuntor del panel y luego cambiar la posición del selector ON/OFF a la posición derecha. Al encender el drive Altivar es posible que muestre el mensaje nSt debido a que el drive fue configurado durante una práctica anterior, tal como se observa en la Fig. 10.29.



Figura 10.29: Mensaje nSt en la interfaz del drive Altivar 31.

El parámetro nSt indica que el tipo de frenado elegido es de rueda libre. El fabricante recomienda evitar energizar y luego des-energizar el drive de forma frecuente dentro de un intervalo de 60 segundos debido a que es posible que se destruya la resistencia de carga del drive.

Los nombres de los menús y submenús se diferencian de los nombres de los parámetros en que los primeros tienen un guión a la derecha; por ejemplo el menú FUn- y el parámetro ACC.

Proceder a retornar los parámetros del drive a sus ajustes de fábrica para borrar alguna parametrización realizada en una práctica anterior. Para ello, presionar el botón ENTER y acceder a uno de los siguientes menús: drC-, I-O-, CtL- y FUñ-. En este caso, se accede al menú drC-; luego buscar el parámetro FCS y a continuación seleccionar InI. Luego de presionar por dos segundos la tecla ENT, el parámetro FCS retornara al valor no, con lo cual se han restaurado los parámetros de fábrica. Ver Fig. 10.30. Luego de retornar a los ajustes de fábrica, el mensaje de la pantalla principal es rdY, tal como se muestra en la Fig. 10.31.



Figura 10.30: Retorno a los ajustes de fábrica en el drive Altivar 31.



Figura 10.31: Mensaje rdY en la interfaz del drive Altivar 31.

Finalmente, ajustar el selector ON/OFF a la posición izquierda y luego reponer el disyuntor.

Los parámetros de fábrica más comunes del drive se resumen a continuación:

- Visualización: variador listo (rdy) con el motor parado y frecuencia del motor en marcha.
- Frecuencia *del motor* (bFr): 50Hz
- Aplicación de par constante: control vectorial de flujo sin captador (UFt=n).
- Modo de paro normal en rampa de deceleración (Stt=rMP).
- Modo de paro por defecto: rueda libre.
- Rampas lineales (ACC, dEC): 3 segundos
- Mínima velocidad (LSP): 0Hz.
- Máxima velocidad (HSP): 50Hz.
- Corriente térmica del motor (ItH)= corriente nominal del motor (valor según el calibre del variador).
- Corriente de frenado por inyección en la parada (SdC)=0.7 x corriente nominal del variador, durante 0.5 segundos.
- Adaptación automática de la rampa de deceleración cuando hay sobretensión en el frenado.
- Sin re arranque automático después de un fallo.
- Frecuencia de corte 4 kHz.
- Entradas lógicas:
 - LI1, LI2 (2 sentidos de marcha): control 2 hilos por transición, LI1 = marcha adelante, LI2 = marcha atrás.
 - LI3, LI4: 4 velocidades preseleccionadas (velocidad 1 = consigna de velocidad o LSP, velocidad 2 = 10 Hz, velocidad 3 = 15 Hz, velocidad 4 = 20 Hz).

- LI5, LI6: inactivas (no asignadas).
- Entradas analógicas:
 - AI1: consigna de velocidad 0-10 V.
 - AI2: entrada sumatoria de velocidad 0 ± 10 V.
 - AI3: 4-20 mA inactiva (no asignada).
- Relé R1: el contacto se abre en caso de fallo (o si el variador está sin tensión).
- Relé R2: inactivo (no asignado).
- Salida analógica AOC: 0-20 mA, inactiva (no asignada).

10.3. Uso del software PowerSuite para la programación del arrancador.

Previo al procedimiento de uso del software Power Suite, se procede a realizar las conexiones en el panel eléctrico, tal como se muestra en la Fig. 10.32. En la Fig. 10.32, observar la conexión entre el potencial de 120V y el selector ON/OFF. Esta conexión habilita el circuito de control de la Fig. 10.25. El banco resistivo MV1100 conectado a las terminales AOC y COM permite observar la variación de una salida analógica, la cual será configurada posteriormente; la salida analógica es de corriente. Ajustar la resistencia del banco en 250Ω . Además, se emplea el motor de inducción MV1009, que es un motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla. Adicionalmente, se ha acoplado el motor MV1009 al freno MV1045 junto con el taco-generador DC MV1024.

A continuación, accionar el disyuntor y luego cambiar la posición del selector ON/OFF a la posición derecha.

La conexión entre el drive y la PC es similar a la forma realizada en el capítulo 8; se requiere un convertidor USB-serial, el conector RS232/RS485 PC y un cable de red directo. Proceder a conectar el cable USB-serial a la PC luego al conector RS232/RS485 PC; el conector RS232/RS485 PC, al cable de red directo y éste al puerto de comunicaciones CN1 del drive Altivar 31, mostrado en la Fig. 10.33.

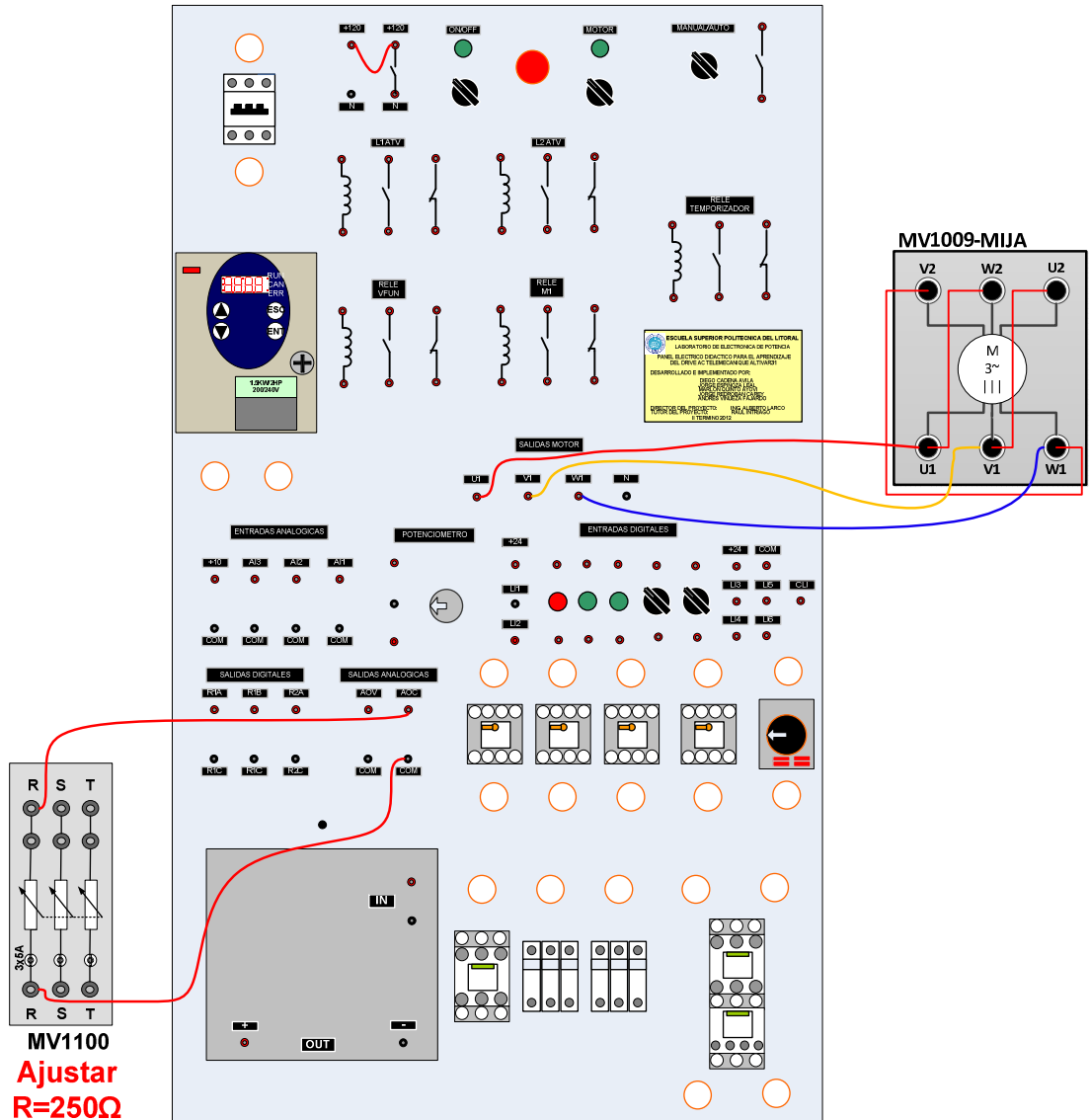


Figura 10.32: Conexión entre el panel eléctrico Altivar, el motor MV1009 y banco resistivo MV1100.

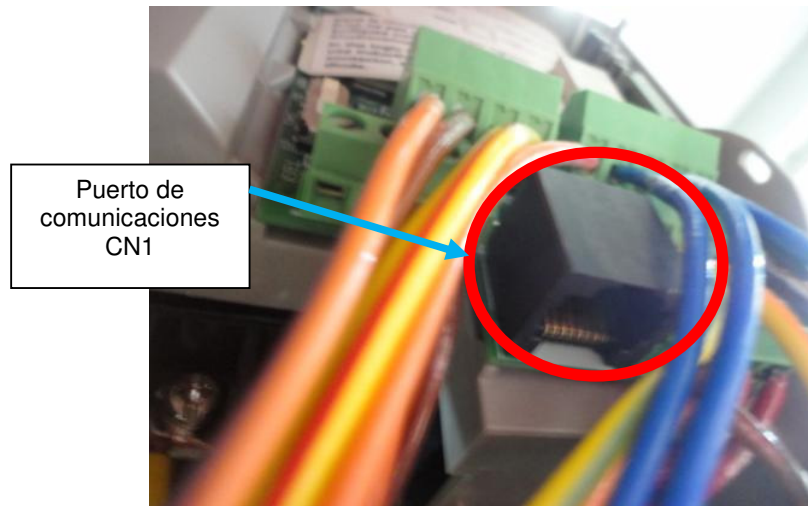


Figura 10.33: Puerto de comunicaciones CN1 del drive Altivar 31.

En la PC, en el administrador de dispositivos, configurar el puerto de comunicaciones del PC respectivo con la configuración mostrada en la Fig. 10.34, en este caso, es el puerto COM16. Se configura el puerto COM 16 con los parámetros indicados en la Fig. 10.34, dado que son los valores de los parámetros tbR y tFO del menú COP correspondientes al ajuste de fábrica; es decir, tbR=19200 y tFO=8E1, que corresponde a 8 bits de datos, paridad par y 1 bit de parada.

Al Iniciar el programa Power Suite v2.0., es posible que dentro del menú árbol mostrado a la izquierda del programa, existan equipos y configuraciones realizadas en prácticas anteriores, en tal caso, proceder a borrarlas tal como se explica en la sección 8.4 del capítulo 8.

A continuación, dentro del menú árbol del software, seleccionar “Mis equipos” y dentro del menú Fichero, elegir la opción Nuevo, y luego Equipo, como se muestra en la Fig. 10.35.

Dentro de la ventana Equipo, configurar la pestaña Equipo de la forma mostrada en la Fig. 10.36. La referencia correspondiente es ATV31HU15M2, como se observa en la Fig. 10.27. Crear una nueva configuración como se muestra en la Fig. 10.37. Asignarle el nombre de “confATV31”. Configurar la pestaña Comunicación como se muestra en la Fig. 10.38 y luego aceptar. Transferir la configuración del equipo al PC, para ello presionar el botón indicado en la Fig. 10.39. Aparece una ventana de diálogo indicando que es necesario presionar ALT+F para continuar. Luego de presionar la combinación de teclas, aparece un mensaje indicando que el equipo ha sido detectado y posteriormente, una ventana solicitando continuar como se muestra en la Fig. 10.40. Luego aparece un mensaje indicando que la transferencia ha terminado; luego de aceptar, seleccionar en el menú árbol, el equipo ATV31 y presionar el botón Conectar al equipo, como se muestra en la Fig. 10.41. Nuevamente aparece la ventana de la Fig. 10.40 y finalmente se muestra la ventana mostrada en la Fig. 10.42. En el menú Visualización, se accede a la opción Tabla de parámetros para observar los valores de todos los parámetros de cada menú del drive. En la Fig. 10.43, se muestran los valores de los diferentes parámetros junto con los valores de fábrica.

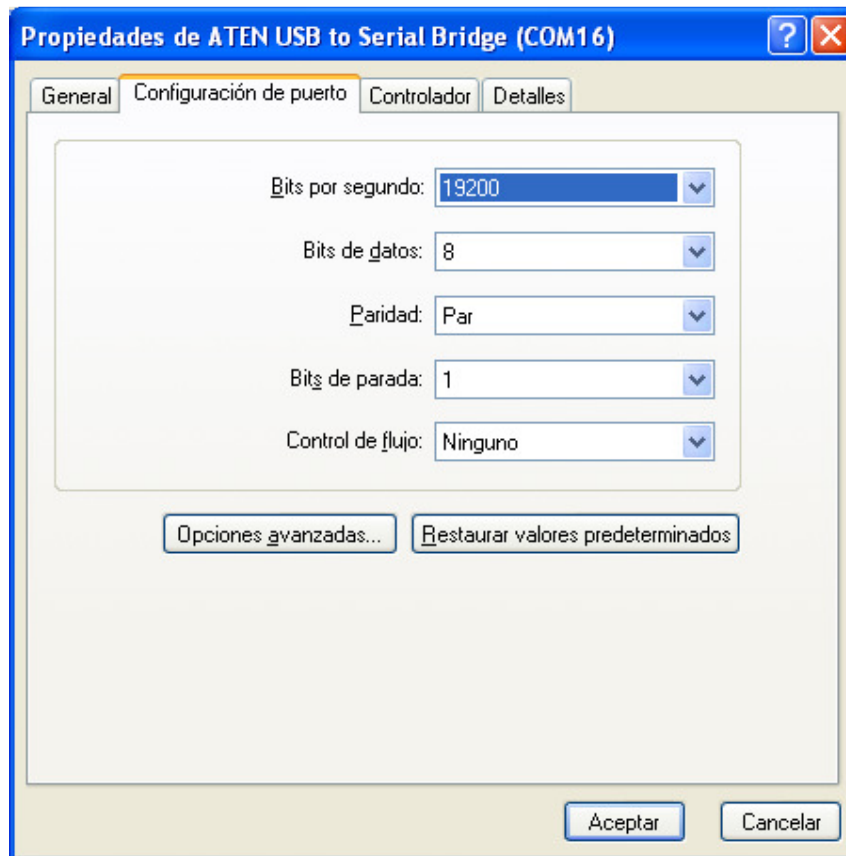


Figura 10.34: Configuración del puerto serial del PC.

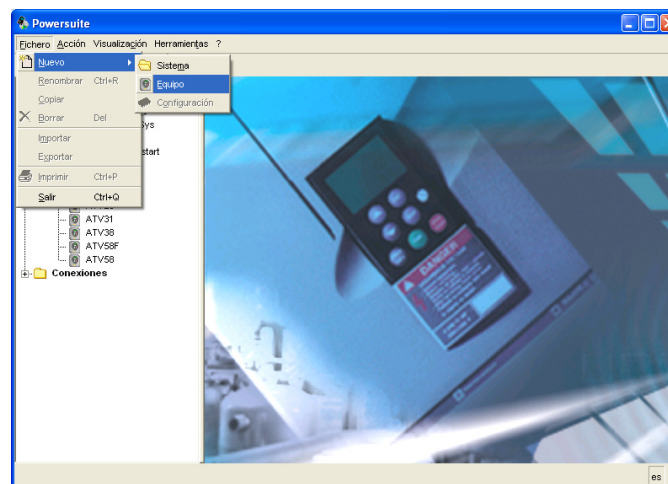


Figura 10.35: Agregar nuevo equipo dentro del programa Power Suite v2.0.

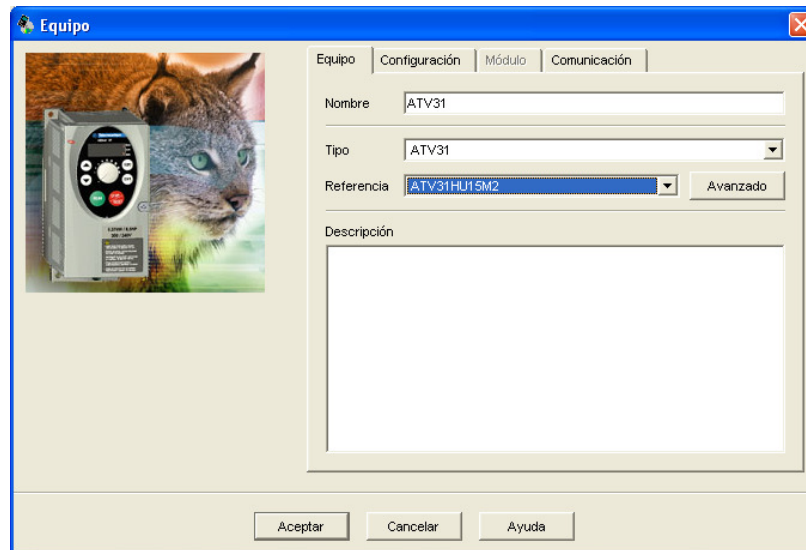


Figura 10.36: Configuración de la pestaña Equipo dentro del programa Power Suite v2.0.

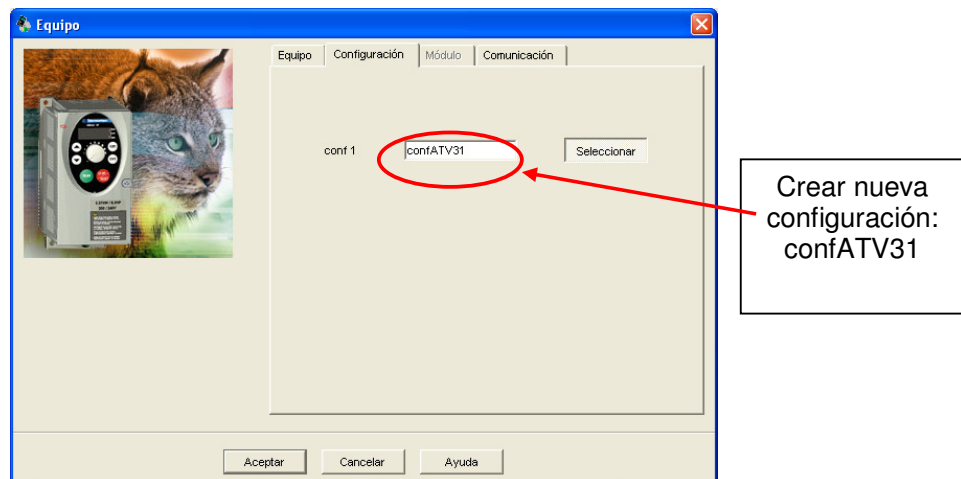


Figura 10.37: Creación de nueva configuración dentro de la pestaña Configuración ubicada en la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.

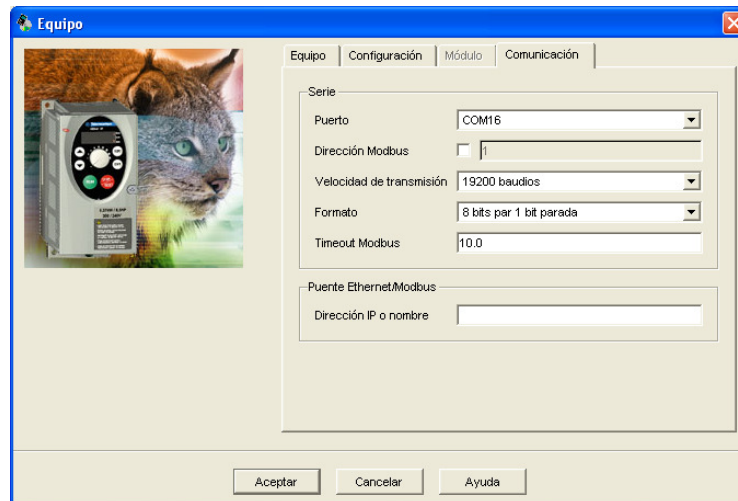


Figura 10.38: Configuración de la pestaña Comunicación dentro de la ventana Equipo del programa Power Suite v2.0.

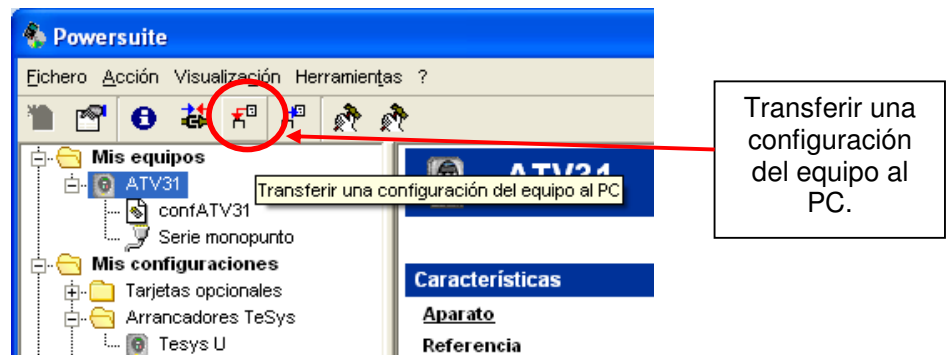


Figura 10.39: Botón para transferir una configuración del equipo al PC en el programa Power Suite v2.0.

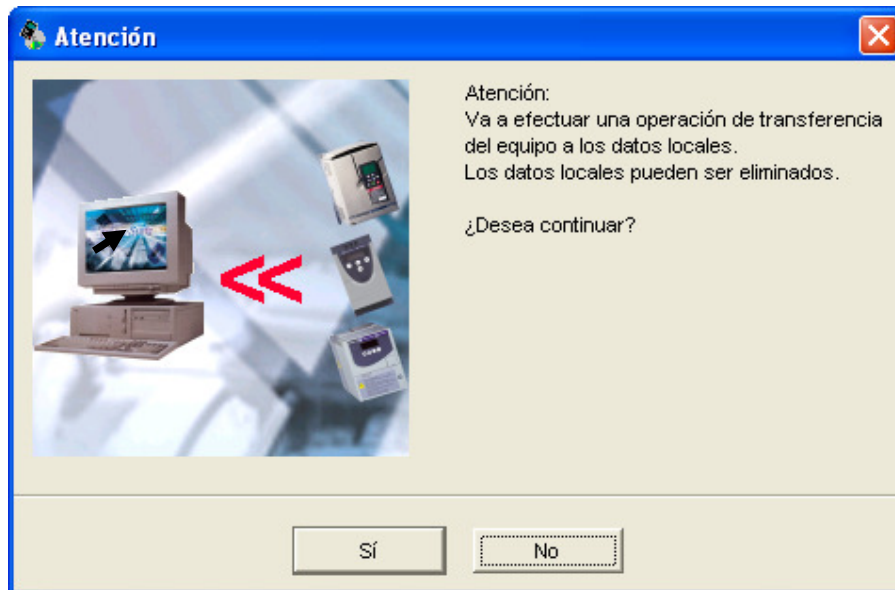


Figura 10.40: Advertencia indicando que se transmitirán los parámetros del equipo hacia el PC.

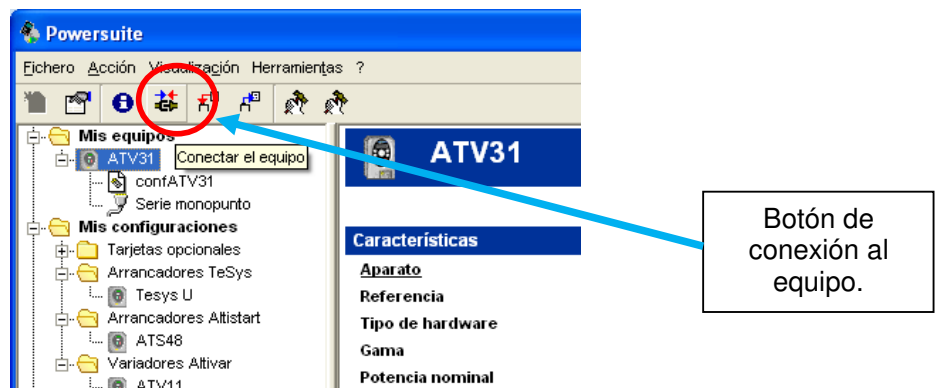


Figura 10.41: Botón de conexión al equipo en el programa Power Suite v2.0.

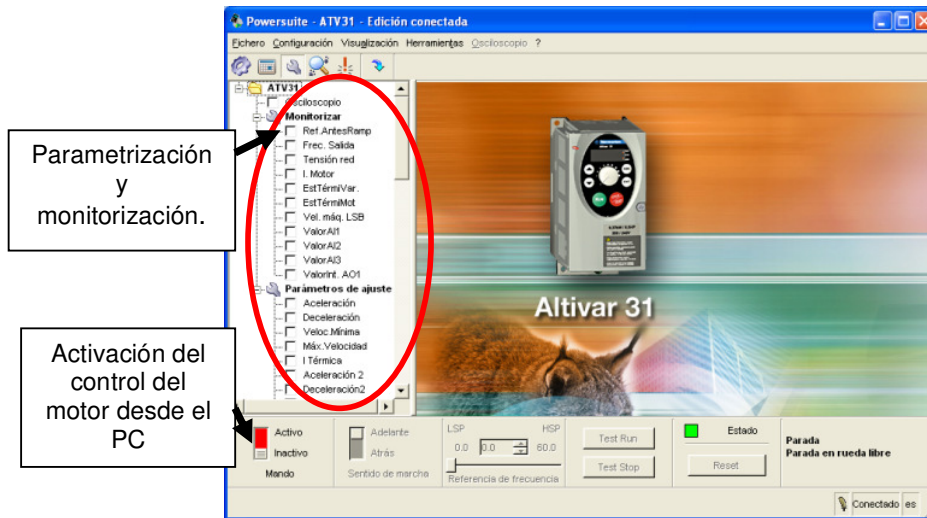


Figura 10.42: Ventana para manejar el drive desde el PC.

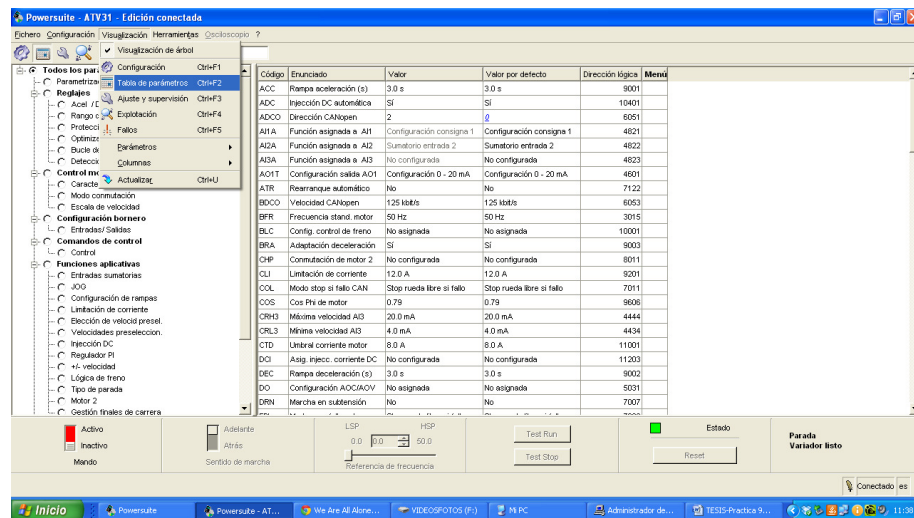


Figura 10.43: Tabla de parámetros del drive dentro del menú Visualización de la ventana de conexión al equipo.

Para regresar a la ventana de la Fig. 10.42, acceder al menú Visualización y luego acceder a la opción Ajuste y supervisión. A continuación, acceder al menú Visualización y elegir la opción Configuración; aparece la ventana mostrada en la Fig. 10.44. El código del motor de inducción MV1007, a

emplearse en la experimentación es el 20835-2, cuyos datos de placa se muestran en la Fig. 10.45.

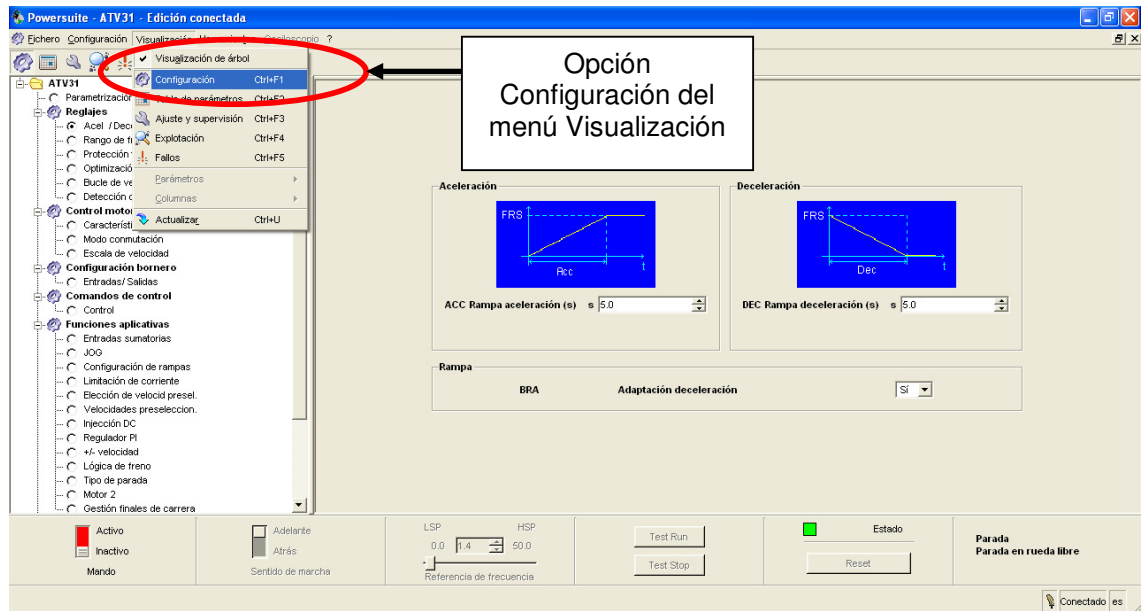


Figura 10.44: Opción Configuración dentro del menú Visualización de la ventana de conexión al equipo.

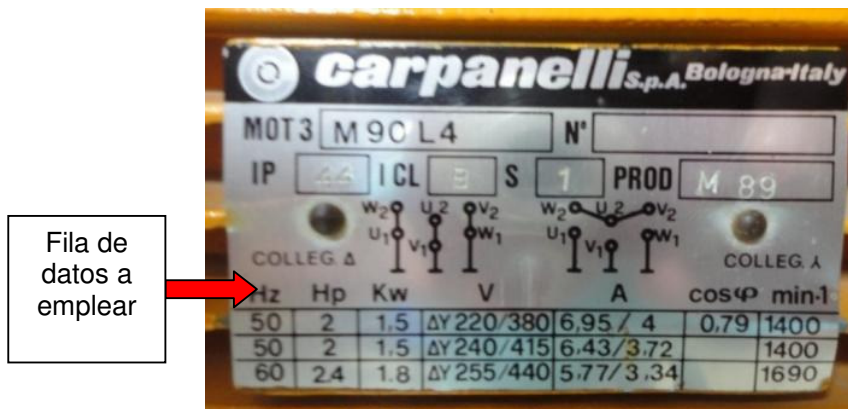


Figura 10.45: Placa del motor MV1009 de código de inventario 20835-2

En el menú árbol, acceder a la opción Parametrización rápida y configurar el parámetro BFR de la siguiente forma:

- BFR: 50Hz. Frecuencia estándar del motor. Corresponde a 50Hz para la norma IEC. Este parámetro pertenece al menú drC-.

La Parametrización se muestra en la Fig. 10.46.

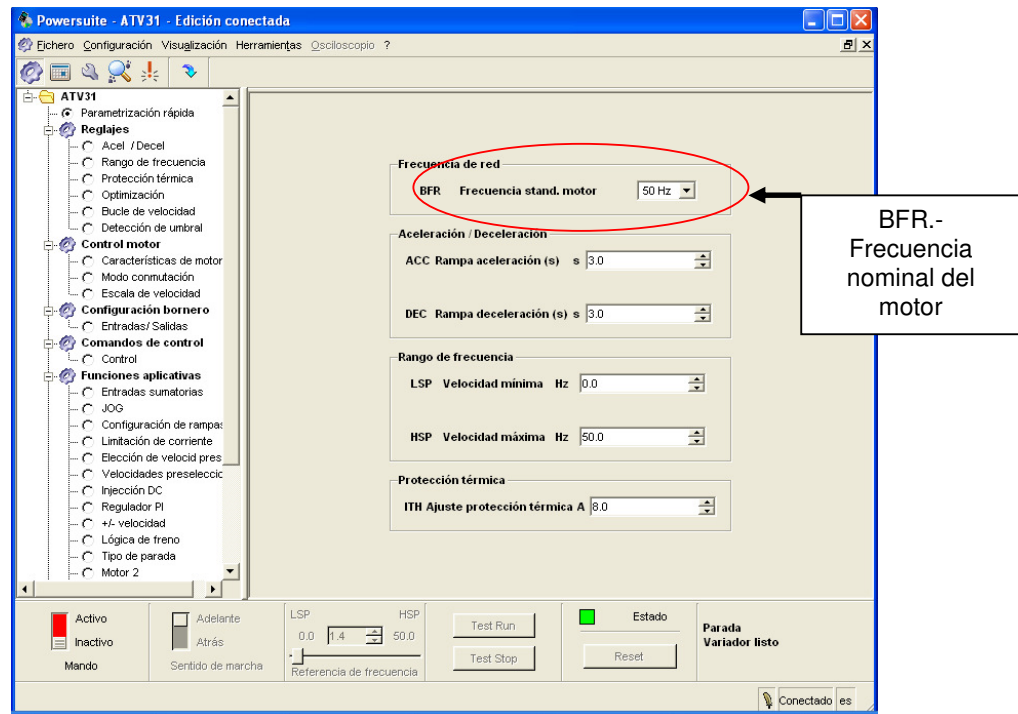


Figura 10.46: Ajuste de BFR dentro de la opción Parametrización rápida.

En el menú árbol, acceder a la opción Características de motor del menú Control motor y configurar los parámetros indicados de la siguiente forma:

- UNS: 220V. Tensión nominal del motor que aparece en la placa de características. Este parámetro pertenece al menú drC-.
- FRS: 50Hz. Frecuencia nominal del motor que aparece en la placa de características. Este parámetro pertenece al menú drC-.

Cabe recalcar que el fabricante indica que para el drive empleado, con referencia ATV31HU15M2, la relación UNS/FRS no debe exceder a 7. En este caso esta relación es igual a 4.4 por lo que los valores asignados a UNS y FRS son adecuados.

- NCR: 6.9A. Corriente nominal del motor que aparece en la placa de características. Este parámetro pertenece al menú drC-.
- COS: 0.710. Cos Phi del motor que aparece en la placa de características. Este parámetro pertenece al menú drC-.
- NSP: 1400 rpm. Velocidad nominal del motor que aparece en la placa de características. Este parámetro pertenece al menú drC-.

Los parámetros rSC y tUn no se configuran. La parametrización en el software, se muestra en la Fig. 10.47.

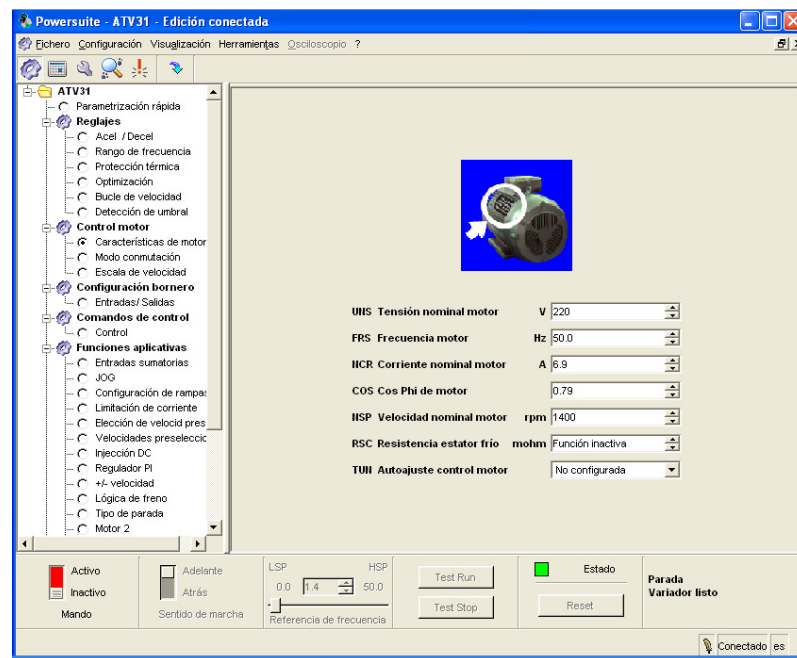


Figura 10.47: Ajuste de las características del motor dentro del menú Control motor.

En el menú árbol, acceder a la opción Entradas/Salidas del menú Configuración bornero y configurar los parámetros siguientes:

➤ TIPO DE CONTROL

- tCC: Tipo de control 2/3 hilos: Control 3 hilos (3C); aparece el mensaje mostrado en la Fig. 10.48. Se procede a confirmar, dado que ni los parámetros rrS, tCt ni las entradas lógicas han sido configuradas. Este parámetro pertenece al menú I-O-.

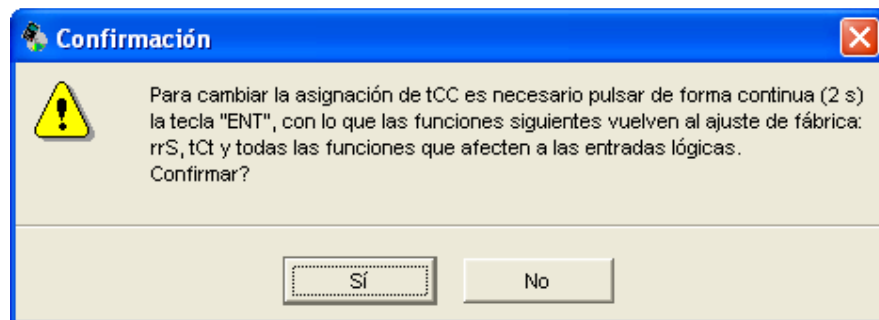


Figura 10.48: Mensaje de retorno al ajuste de fábrica de parámetros rrS, tCt y entradas lógicas al cambiar el parámetro TCC.

Por defecto, en el control de 3 hilos (3C), LI1 corresponde a la detención del motor, mientras que LI2 corresponde a la marcha del mismo.

- rrS: Asignación marcha atrás: Entrada lógica LI3. Al recibir LI3, un uno lógico correspondiente a 24V, el motor girará en sentido contrario. Este parámetro pertenece al menú I-O-.

La forma de conexión de las botoneras al drive se mostrará posteriormente.

➤ ESCALA DE E/S

- AO1t: Configuración de salida analógica AO1: Se elige Configuración 0-20 mA. La salida analógica AO1 puede ser de corriente o de voltaje. Si es de corriente, existen dos opciones: 0-20mA o 4-20mA; en ambos casos la salida analógica está disponible en las borneras AOC y COM. Si la salida analógica es de voltaje, existe una opción: 0-10V; en este caso la salida analógica está disponible en las borneras AOV y COM. Este parámetro pertenece al menú I-O-.

➤ ASIGNACION DE SALIDAS

- DO: Configuración AOC/AOV: Par del motor. Este parámetro pertenece al menú I-O-. En las terminales AOC y COM se conecta un resistor cuya valor de resistencia es de 250Ω.

La parametrización en el software, se muestra en la Fig. 10.49.

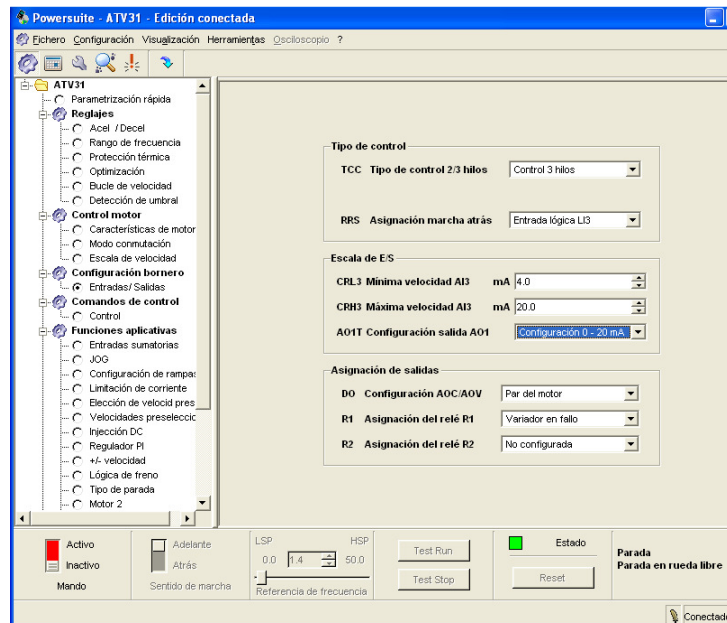


Figura 10.49: Ajuste de la opción Entradas/Salidas dentro del menú Control motor.

En el menú árbol, acceder a la opción Control del menú Comandos de control y configurar el parámetro FR1:

➤ REFERENCIA

- Fr1: Configuración consigna 1: Entrada analógica AI1. De esta forma, se asigna la entrada analógica AI1 a la consigna 1 (Fr1). Como se observa en la Fig. 10.50, la consigna Fr1 le indica al variador la referencia de frecuencia que debe imprimir al motor; para ello, es necesario que el parámetro RFC se encuentre asignado a Fr1. Al final de la sección 10.2 se menciona que el rango de voltaje que tolera la entrada analógica AI1 es de 0-10V. Este parámetro se encuentra en el menú Ctl-.

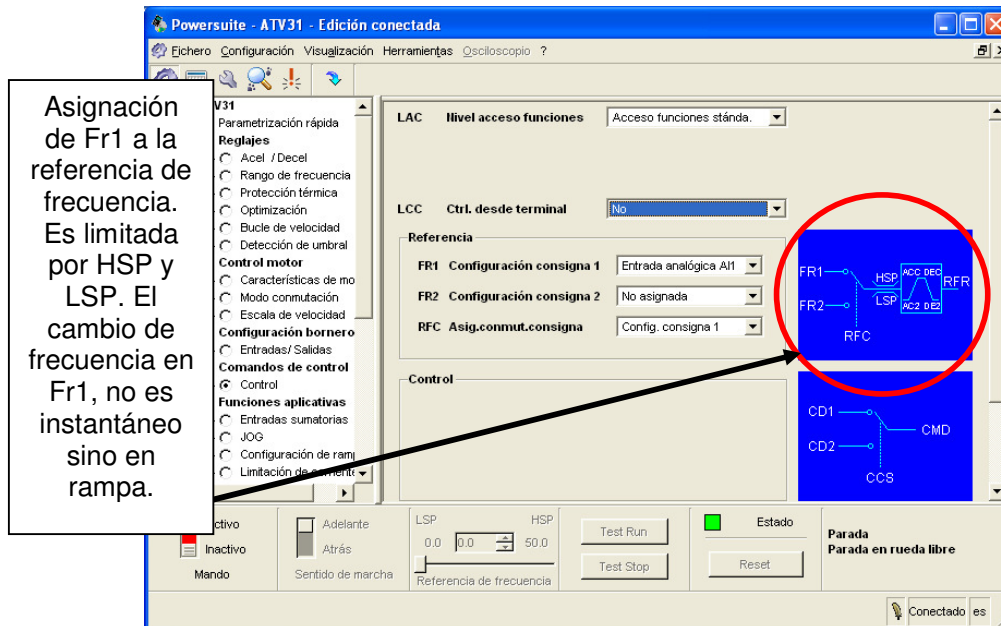


Figura 10.50: Ajuste de la opción Control dentro del menú Comandos de control.

En el menú árbol, acceder a la opción Acel/Decel del menú Reglajes y configurar los parámetros siguientes:

➤ ACCELERACIÓN

- ACC: Rampa de aceleración de frecuencia: 5 segundos. Este parámetro se encuentra en el menú SET-.

➤ DECELERACIÓN

- dEC: Rampa de deceleración de frecuencia: 5 segundos. Este parámetro se encuentra en el menú SET-.

La parametrización se muestra en la Fig. 10.51.

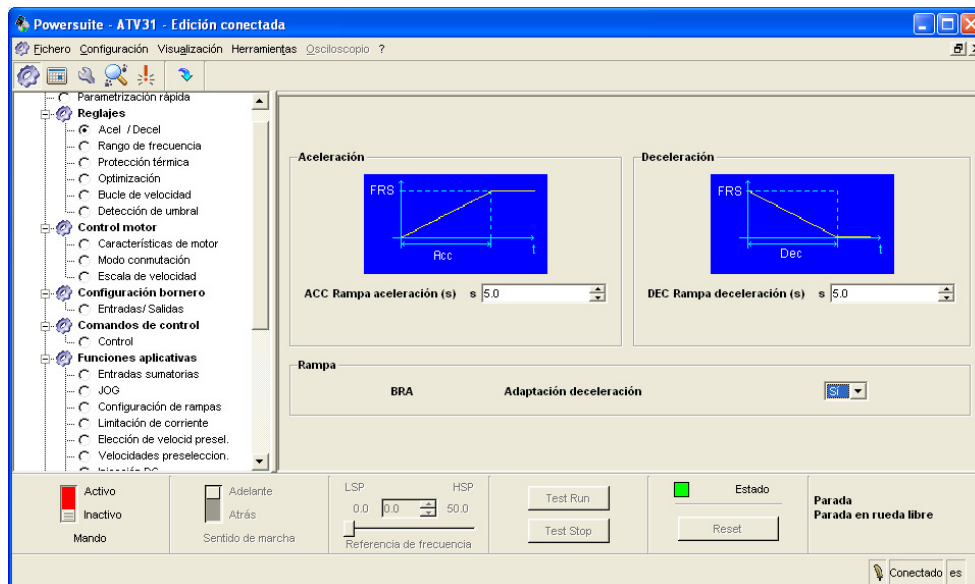


Figura 10.51: Ajuste de la opción Acel/Decel dentro del menú Reglajes.

En el menú árbol, acceder a la opción Rango de frecuencia del menú Reglajes y configurar los parámetros siguientes:

- LSP. Corresponde a la mínima velocidad con consigna de frecuencia mínima: 0Hz.
- HSP: Corresponde a la máxima velocidad con consigna de frecuencia máxima Velocidad máxima: 50Hz. Este parámetro no puede superar a tFr.
- tFr. Frecuencia máxima de salida: 60Hz. Corresponde a un 20% más de frecuencia que el valor de bFr. En caso de que el valor de bFr sea 60Hz, el máximo valor de tFr es de 72Hz.

La parametrización se muestra en la Fig. 10.52. En el menú árbol, acceder a la opción Protección térmica del menú Reglajes. El fabricante del drive

recomienda configurar el parámetro I_{tH} con el valor de la corriente nominal que se observa en la placa del motor, es decir 6.9A. En la Fig. 10.53, se observa el ajuste.

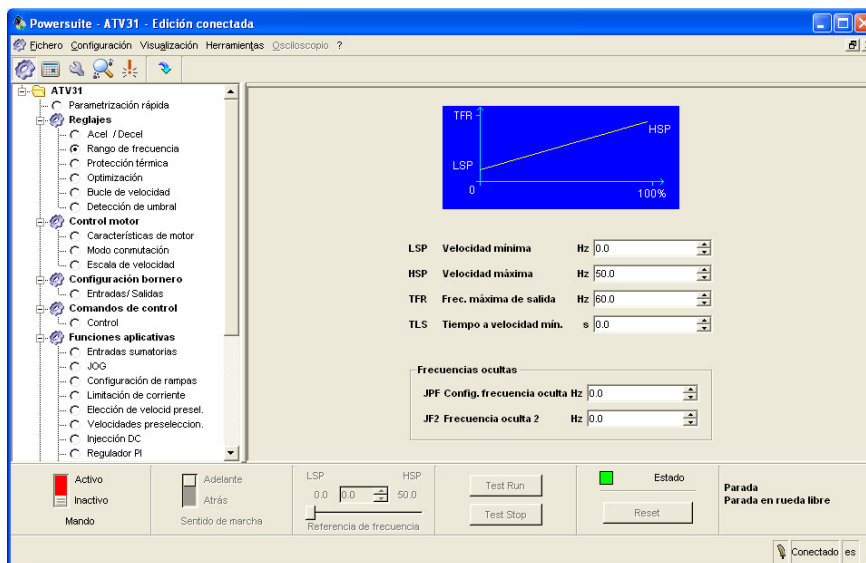


Figura 10.52: Ajuste de la opción Rango de frecuencia dentro del menú Reglajes.

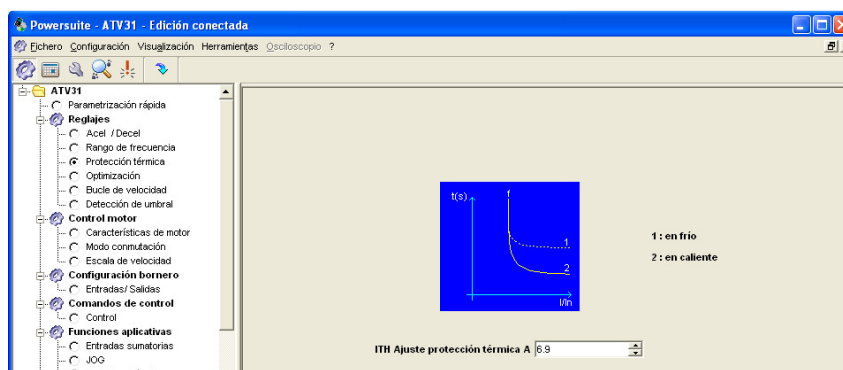


Figura 10.53: Ajuste de la opción Protección térmica dentro del menú Reglajes.

La protección térmica del motor se logra a través de cálculos continuos de la energía térmica I^2t , la cual se relaciona con la gráfica mostrada en la Fig.

10.54 [8]. Por citar un ejemplo: para cualquier valor de frecuencia y para una corriente de línea del motor de 1.2 veces la corriente nominal (6.9A), es decir 8.28A, luego de 600 segundos (10 minutos), el variador se desconecta del motor y se genera el fallo OLF que indica que se ha producido una sobrecarga en el motor; este conteo inicia a partir del momento en el que el motor arranca y empieza a operar a 8.28A. La memoria del estado térmico vuelve a cero al desconectar el variador, por lo que se sugiere comprobar la temperatura del motor antes de volver a arrancar el motor. Gracias a este parámetro es posible prescindir de un relé térmico. Sin embargo, no está de más incluirlo en el panel. Finalmente, actualizar los parámetros ingresados por medio del software en el drive. Para ello, acceder en el menú Visualización, elegir la opción Actualizar, tal como se muestra en la Fig. 10.55.

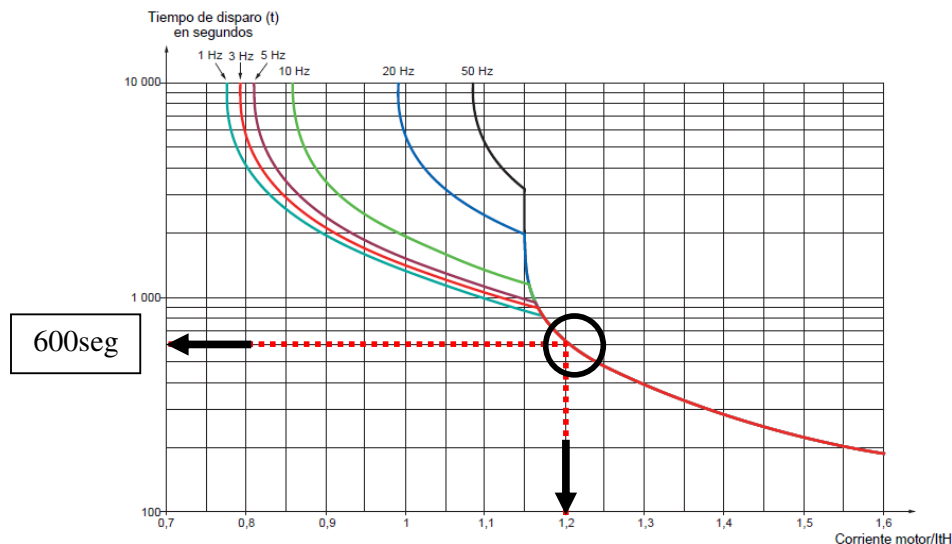


Figura 10.54: Protección térmica del motor en base al cálculo I^2t .

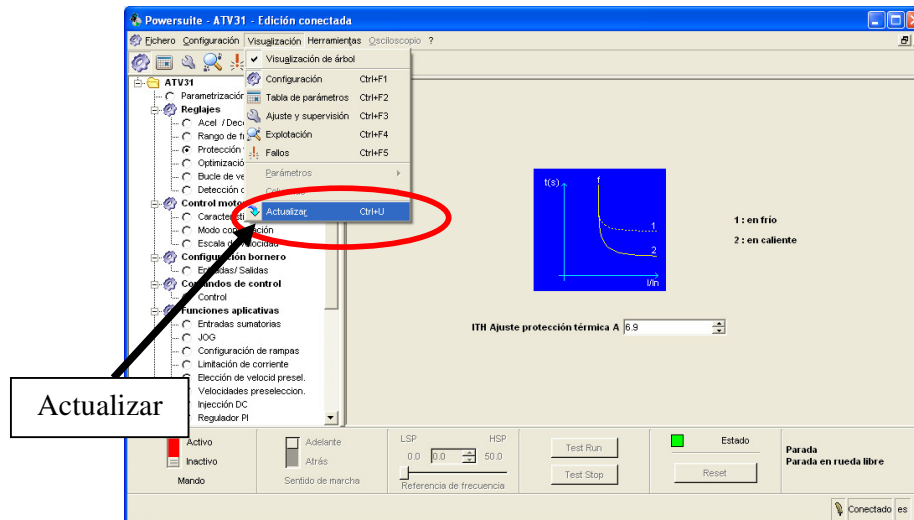


Figura 10.55: Opción para actualizar en el drive, los parámetros ingresados en Power Suite.

En la ventana de explotación se puede observar el valor instantáneo de los parámetros del drive. Esta opción es útil para observar el estado de las entradas digitales del drive. La forma de acceso a la ventana de explotación se muestra en la Fig. 10.56.

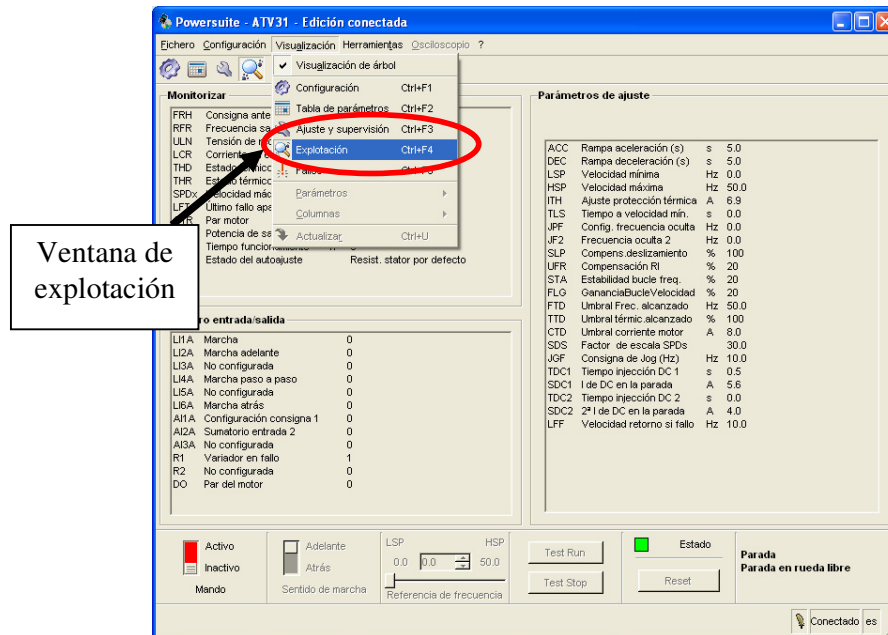


Figura 10.56: Acceso a la ventana de explotación.

En el menú árbol, acceder a la opción Resum. entradas bornera como se muestra en la Fig. 10.57. Es posible verificar la asignación de las diferentes entradas lógicas y analógicas del drive. Proceder a cerrar el software Power Suite. Ajustar el selector ON/OFF en la posición izquierda y reponer el disyuntor.

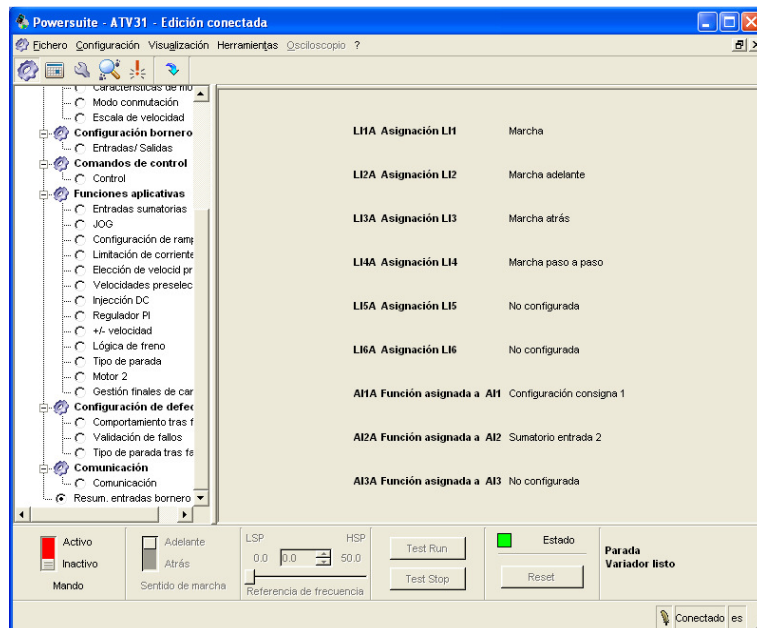


Figura 10.57: Acceso a la ventana de explotación.

10.4. Arranque, inversión de giro, variación de velocidad y detención del motor empleando el control de tres y dos hilos.

En primer lugar, se procede a arrancar, detener e invertir el giro del motor empleando los dos tipos de control: control de dos hilos y de tres hilos. En primer lugar, se observará el control de tres hilos, cuya configuración para el modo SOURCE se muestra en la Fig. 10.58 [8].

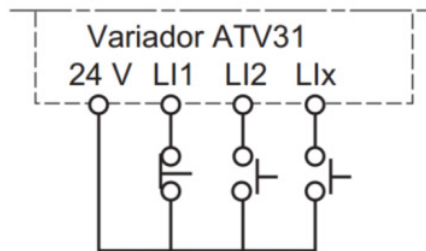


Figura 10.58: Control de tres hilos.

El funcionamiento de LI1 es de detención, el de LI2 es de marcha de acuerdo a la configuración de fábrica. En la sección anterior, se asignó la marcha en reversa a la entrada lógica LI3; es posible asignarla a LI4, LI5 o LI6.

Para implementar el control de tres hilos, realizar las conexiones mostradas en la Fig. 10.59. En la sección anterior, se asignó a la entrada analógica 1 (AI1) a la configuración de consigna 1 (Fr1). El rango de voltaje permisible en la entrada analógica 1 es de 0-10V. En la Fig. 10.59 se muestra la conexión del potenciómetro de precisión hacia las terminales +10, COM y AI1.

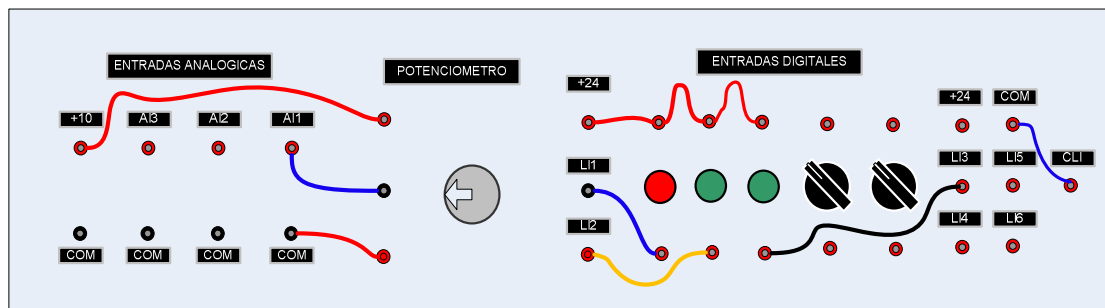


Figura 10.59: Implementación del control de tres hilos en modo SOURCE y conexión del potenciómetro de precisión a las terminales COM, 10 y AI1.

Observar que es necesario conectar las terminales COM y CLI para elegir el modo SOURCE, esto lo indica el fabricante en la imagen en el reverso de la puerta de acceso a las borneras del drive, tal como se muestra en la Fig. 10.60.

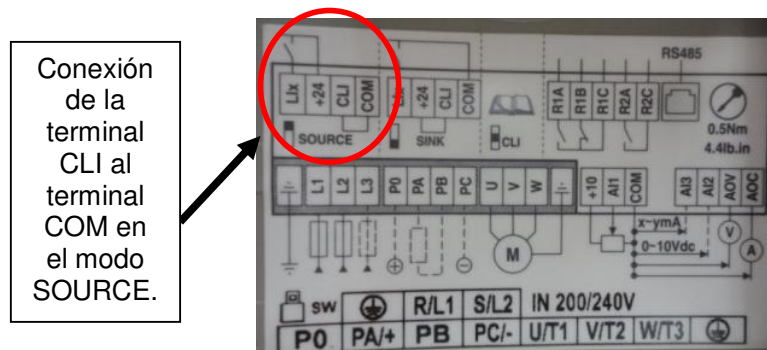


Figura 10.60: Conexión de entradas lógicas y entre las terminales CLI y COM.

En la Figura 10.61 se muestra el selector SW1 que permite elegir entre el modo SOURCE y el modo SINK. Se observa que en la Fig. 10.59, se ha implementado el modo SOURCE.

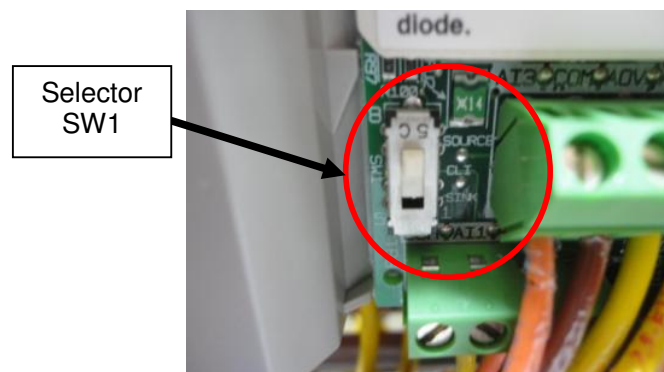


Figura 10.61: Selector SW1 para elegir entre modo SOURCE y modo SINK.

Proceder a accionar el disyuntor, luego ajustar el selector ON/OFF a la posición derecha y finalmente ajustar el selector MOTOR en la posición derecha. Conectar el drive al PC empleando el equipo y la configuración implementada en la sección anterior. Emplear el modo RECORDER del

osciloscopio Fluke 192B para adquirir el voltaje DC del taco-generador MV1024 y la corriente RMS hacia la terminal U1. Girar completamente y de forma delicada el potenciómetro de precisión en sentido anti-horario. Luego, presionar la botonera verde conectada a LI2 para arrancar el motor. La interfaz del drive muestra la referencia de frecuencia en cero, dado que la entrada analógica AI1 recibe 0V; esto se muestra en la Fig. 10.62.



Figura 10.62: Interfaz del drive indicando el valor cero correspondiente a la mínima referencia de frecuencia.

Girar en sentido horario el potenciómetro hasta que la frecuencia del drive sea de 10Hz. Luego presionar la botonera verde conectada a LI3 para verificar el cambio de giro y a continuación presionar la botonera roja correspondiente a la señal de STOP. Comprobar en la ventana de explotación la variación de los valores lógicos de las entradas digitales. En la Fig. 10.63, se muestra la variación del voltaje DC del taco-generador DC correspondiente a la velocidad del drive y de la corriente RMS hacia la terminal U1 durante los cambios en las botoneras.

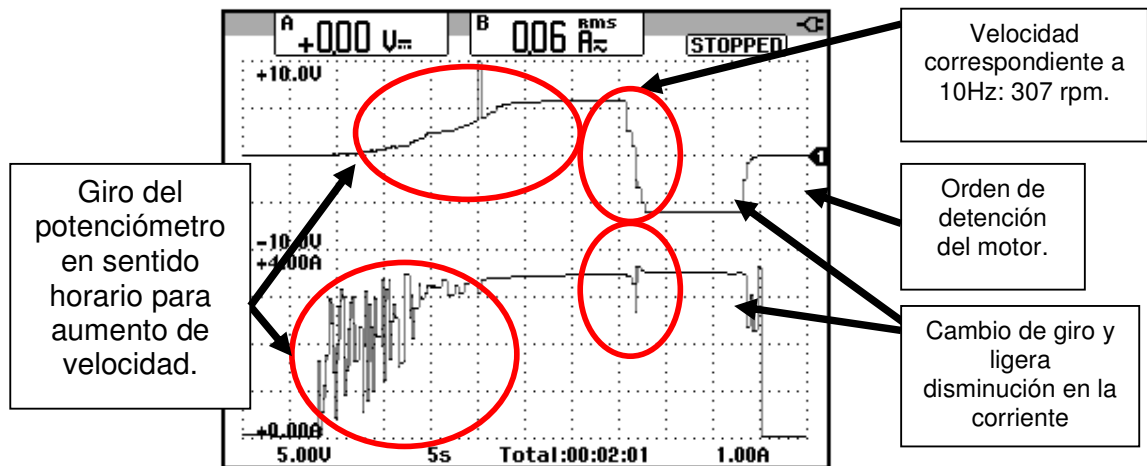


Figura 10.63: Variación de la velocidad y de la corriente RMS del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención en el modo de control de tres hilos.

En caso de no haber accionado el selector MOTOR que acciona el contactor del mismo nombre, aparece el fallo OPF en la interfaz del drive; este fallo se denomina pérdida de la fase del motor, el cual se debe a que el drive no está conectado al motor. Empleando el software POWER SUITE proceder a reiniciar o “resetear” el drive desde la ventana de control del motor mostrada en la Fig. 10.68. Luego de reiniciar el drive, pasar a cambiar el selector de mando a inactivo. Cerrar el programa Power Suite, reponer el selector MOTOR, luego el selector ON/OFF y finalmente el disyuntor. A continuación, se observará el control de dos hilos (2C), cuya configuración para el modo SOURCE se muestra en la Fig. 10.64. En este modo, se puede observar que es necesario el uso de selectores y no de botoneras como ocurre en el control de tres hilos (3C) [8].

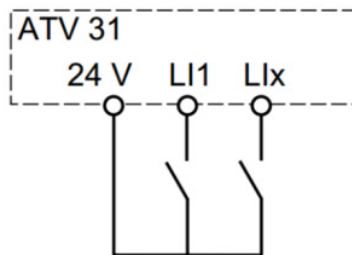


Figura 10.64: Control de dos hilos.

El funcionamiento de LI1 es de detención y marcha del motor; si el interruptor LI1 está abierto, el drive interpreta la orden de detención del motor, mientras que si está cerrado el drive interpreta la marcha. El funcionamiento de la entrada LI adicional será de marcha en reversa; la entrada LI adicional es LI3, lo cual debe ser configurado.

Para implementar el control de tres hilos en modo SOURCE, realizar las conexiones mostradas en la Fig. 10.65. En la posición indicada, las terminales de los selectores se encuentran en circuito abierto. Mantener la conexión del potenciómetro y entre COM y CLI.

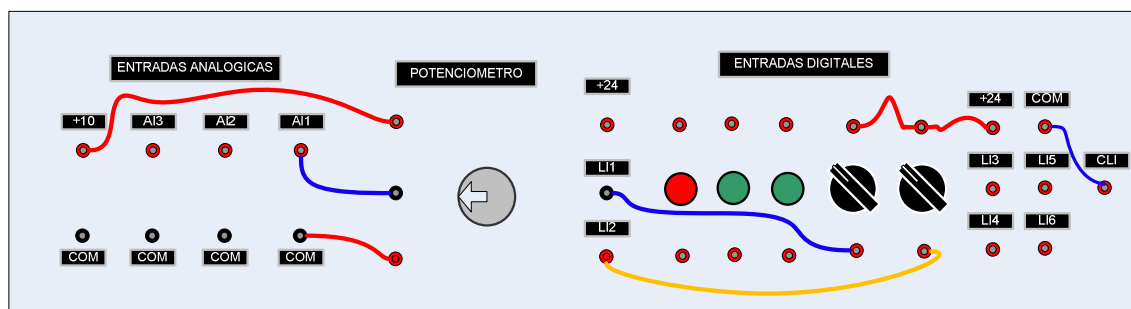


Figura 10.65: Implementación del control de dos hilos (2C) en modo SOURCE

Proceder a accionar el disyuntor, luego ajustar el selector ON/OFF a la posición derecha. Conectar el drive al PC empleando el equipo y la configuración implementada en la sección anterior.

Acceder a la opción Configuración del menú Visualización y en el menú árbol, seleccionar la opción Entradas/Salidas del menú Configuración bornero. Cambiar el parámetro tCC a 2C; aceptar el mensaje de la Fig. 10.48. Luego, configurar el parámetro tCt a “Detección por transición”, el cual equivale a “trn”. Este parámetro indica que es necesario cambiar de estado (transición o flanco) para activar la marcha a fin de evitar un re-arranque imprevisto tras una interrupción de la alimentación. La marcha en reversa, asignarla a LI2.

Finalmente, acceder al menú Visualización y elegir la opción Actualizar. La configuración de tCC, de tCt y de rrS se muestra en la Fig. 10.66.

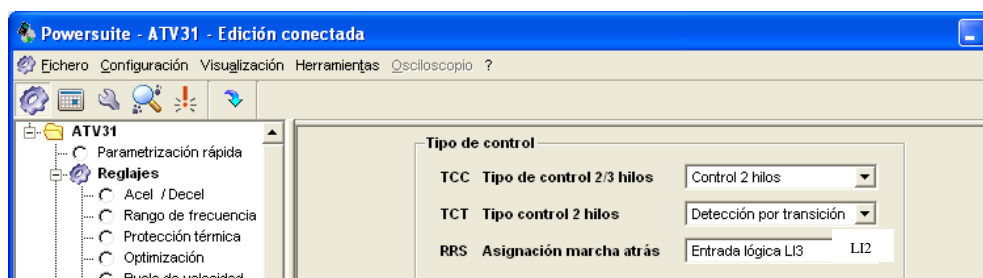


Figura 10.66: Configuración del modo de control de dos hilos (2C) en el software Power Suite.

De forma similar que en el modo de control de tres hilos (3C), emplear el modo RECORDER del osciloscopio Fluke 192B para adquirir el voltaje DC del taco-generador MV1024 y la corriente RMS hacia la terminal U1.

Accionar el selector MOTOR. Girar completamente y de forma delicada el potenciómetro de precisión en sentido anti-horario. Luego, cambiar la posición del selector conectado a LI1 para arrancar el motor. Nuevamente, la interfaz del drive muestra la referencia de frecuencia en cero.

Girar en sentido horario el potenciómetro hasta que la frecuencia del drive sea de 10Hz. Al cambiar la posición del selector conectado a LI3 para verificar el cambio de giro se observa que este no ocurre; proceder a cambiar la posición del selector conectado a LI1 a su posición inicial y luego se observa que el motor cambia de giro. A continuación cambiar la posición del selector conectado a LI3 a su posición inicial y drive procede a la detención del motor. Comprobar en la ventana de explotación la variación de los valores lógicos de las entradas digitales. En la Fig. 10.67, se muestra la variación del voltaje DC del taco-generador correspondiente a la velocidad del drive y de la corriente RMS hacia la terminal U1 durante los cambios en los selectores.

Se destaca que en el modo de control de dos hilos por transición, es necesario, desactivar las señales de marcha o de marcha en reversa para detener al motor, es decir, que las señales de marcha tienen prioridad sobre la señal de detención.

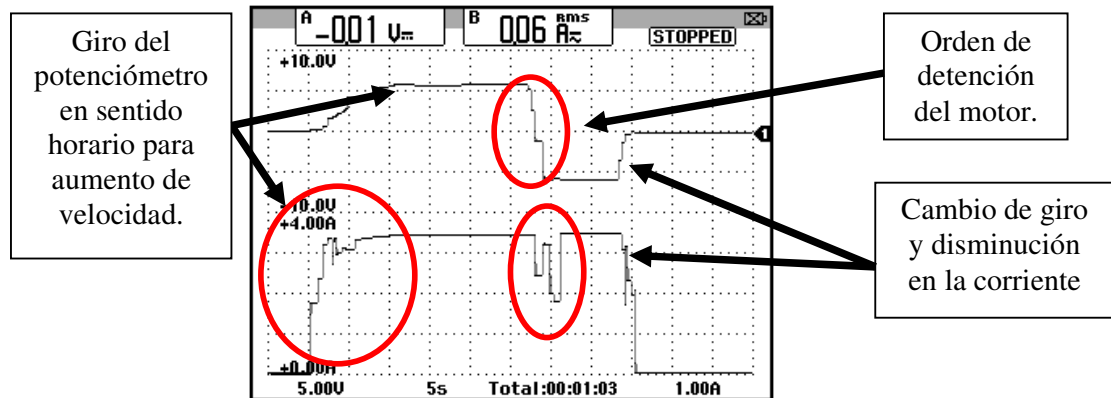


Figura 10.67: Variación de la velocidad y de la corriente RMS del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención en el modo de control de dos hilos.

10.5. Arranque, inversión de giro y detención del motor empleando Power Suite. Visualización del estado térmico del variador y del motor.

Es posible arrancar el motor desde el PC empleando POWER SUITE. Para ello, en el selector de mando elegir la opción Activo. Revisar que el eje del motor no se encuentre bloqueado y aceptar el mensaje presionando las teclas ALT y F; se habilita el selector de frecuencia y el de sentido de marcha junto con los botones de Test Run y Test Stop. Ajustar el selector de frecuencia en el máximo valor, es decir, 50Hz. Elegir la opción Ajuste y supervisión dentro del menú Visualización y dentro del menú árbol, activar las opciones: Frec. Salida, Tensión red, I. motor, EstTérmiVar. y Est.TérmiMot.

Emplear el modo RECORDER, para adquirir el voltaje DC del tacogenerador MV1024 y la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1.

Arrancar el motor presionando el botón Test Run.

En la Fig. 10.68, se muestra la ventana de control del motor junto con los parámetros que se seleccionaron previamente.



Figura 10.68: Ventana de control del motor en el software Power Suite.

El parámetro EstTérmiVar y el parámetro EstTérmiMot indican el porcentaje de calentamiento del motor y del variador, respectivamente. Estos parámetros, disminuyen si el motor no se encuentra en uso. Sin embargo, el parámetro EstTérmiMot varía con mayor rapidez. En la Fig. 10.68 los valores de EstTérmiVar y de EstTérmiMot son 22 y 14 respectivamente; mientras que luego de cinco minutos se observa que en la Fig. 10.69, estos son de 20 y 7 respectivamente. En la Fig. 10.70, se observa la variación del voltaje DC del tacogenerador MV1024 y la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1.

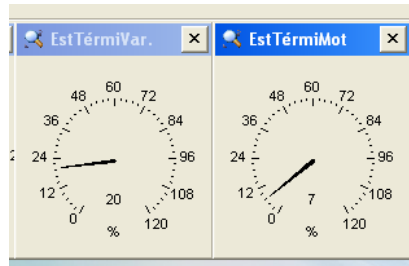


Figura 10.69: Estado térmico del variador y del motor luego de cinco minutos de mantener el motor sin uso.

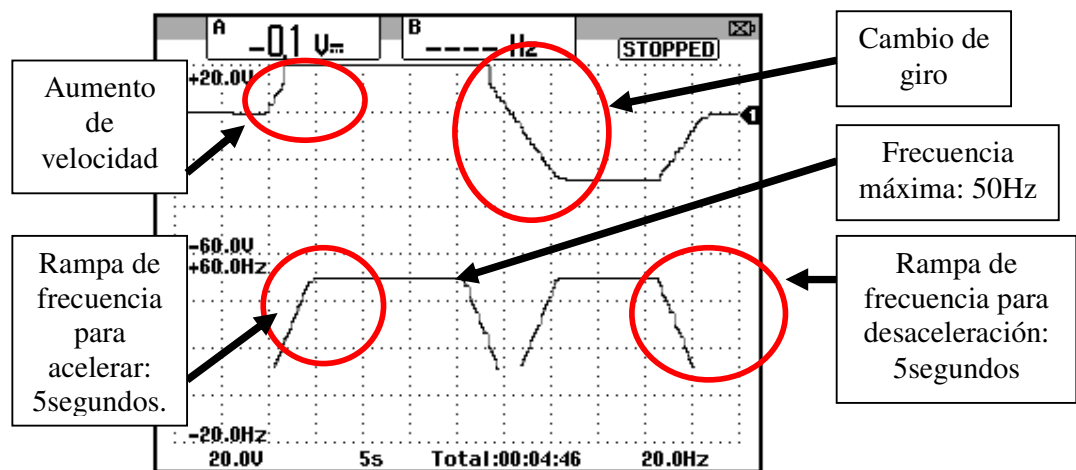


Figura 10.70: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor en vacío durante el arranque, inversión de giro y detención empleando el software Power Suite.

La frecuencia impuesta al motor corresponde a la frecuencia de la señal fundamental de la corriente en el estator del mismo. El máximo valor de frecuencia (FrS) es 50Hz, que corresponde a la máxima frecuencia de la corriente del motor, tal como se observa en la Fig. 10.70.

Cambiar el selector de mando a la posición Inactivo y aceptar el mensaje correspondiente. En el menú Visualización, acceder a Configuración. Dentro del menú árbol, elegir la opción Entradas/Salidas del menú Configuración

bornero y elegir el modo de control de tres hilos. Verificar que la Asignación Marcha atrás sea realizada por medio de LI3. Luego, acceder al menú Visualización para actualizar estos cambios en el drive.

Desconectar el drive del PC y proceder a des-energizar el panel eléctrico para luego implementar el control de tres hilos, mostrado en la Fig. 10.59.

Proceder a energizar el drive: disyuntor, selector ON/OFF y MOTOR. Emplear el modo SCOPE del osciloscopio para adquirir el voltaje DC en las terminales U1-V1 y la corriente DC hacia la terminal U1. Emplear una escala de tiempo de 500ms.

10.6. Procedimiento de autoajuste.

A continuación, se procede a realizar un autoajuste para optimizar la precisión y el tiempo de repuesta del variador. El autoajuste mide la resistencia del estator del motor para optimizar los algoritmos de control. Para ello, acceder al menú drC- y acceder al parámetro tUn y elegir la opción "yes", tal como se muestra en la Fig. 10.71.



Figura 10.71: Procedimiento de autoajuste del drive Altivar 31.

En la Fig. 10.72, se observa la forma de onda del voltaje DC en las terminales U1-V1 y la corriente DC hacia la terminal U1. Estas señales las

aplica el drive al motor durante el autoajuste; el tipo de voltaje aplicado al motor no es alterno sino directo, por lo que la corriente es también directa. El valor máximo de la corriente es el valor nominal es decir 6.9A. Luego de realizado el autoajuste, el drive muestra en la interfaz el mensaje “dOnE”, tal como se muestra en la Fig. 10.73.

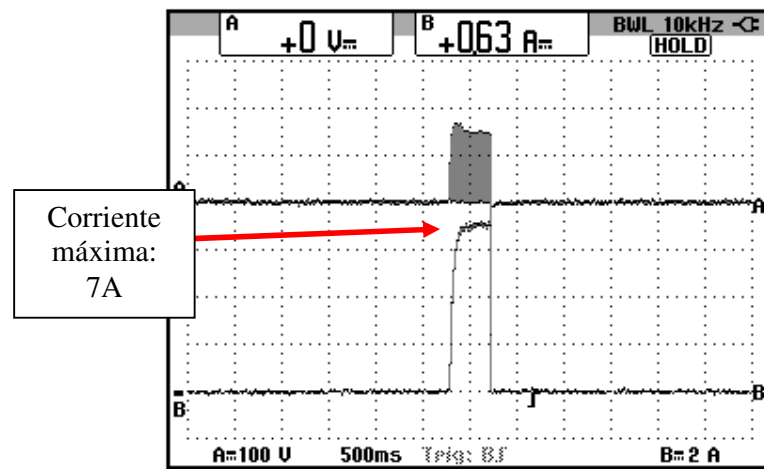


Figura 10.72: Forma de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando en vacío durante el autoajuste (Ch1: V-motor, Ch2: I-motor)



Figura 10.73: Mensaje de confirmación de finalización del autoajuste.

10.7. Método de control de la relación voltaje/frecuencia por par constante y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz.

A continuación, se procede a observar la relación que existe entre el voltaje RMS línea-línea y la frecuencia del motor. El drive dispone de cuatro métodos para el control de la relación entre estas dos variables, seleccionados en el parámetro U_{Ft} del menú drC-.

- Par constante: para motores conectados en paralelo o motores especiales. Opción “L” del parámetro U_{Ft}.
- Par variable: para bombas o ventiladores. Opción “P” del parámetro U_{Ft}.
- Control vectorial sin captador (sensorless flux vector control): para aplicaciones de torque constante. Opción “n” del parámetro U_{Ft}.
- Ahorro energético: para aplicaciones de par variable sin necesidades dinámicas importantes. Comportamiento cercano a la relación “P” en vacío y a la relación “n” en carga.

No se implementan los métodos de control 2 y 4 dado que no se disponen de cargas con par variable en el Laboratorio.

Estos métodos de control se muestran en la Fig. 10.74. Un_S y Fr_S son parámetros del menú drC- correspondientes al voltaje y frecuencia nominales del motor respectivamente. Para construir la gráfica voltaje versus frecuencia, el drive emplea estos dos parámetros.

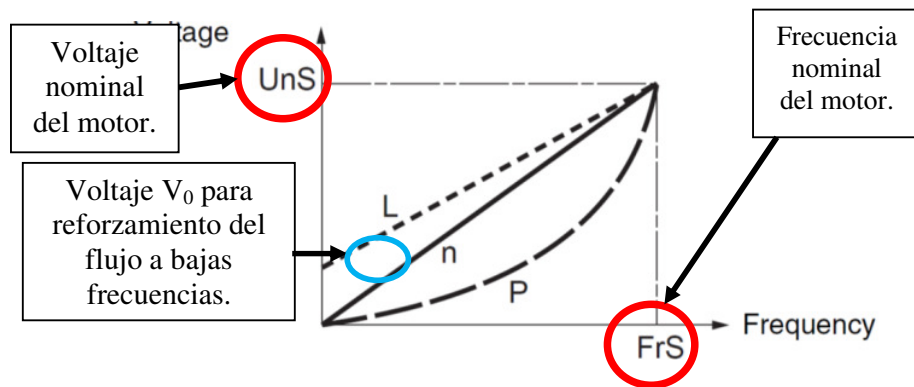


Figura 10.74 Métodos de control de la relación voltaje/frecuencia.

En primer lugar se observa el método de control de par constante. Para ello, acceder al menú dRC-, elegir el parámetro UfT y luego seleccionar la opción “L”, tal como se muestra en la Fig. 10.75.

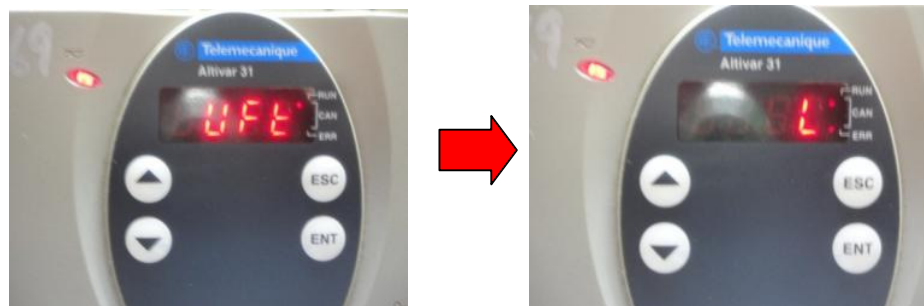


Figura 10.75: Selección de par constante (L) en el parámetro UfT.

Girar completamente en sentido horario y de forma delicada, el potenciómetro de precisión, para fijar la máxima frecuencia de 50Hz. Arrancar el motor. Emplear el freno MV1045 para aplicar carga mecánica hasta que la corriente de línea del motor sea de 4A. Luego de ello, detener el motor. En la Fig. 10.76, se muestra la variación del torque del motor y de la corriente hacia la terminal U1 con un ajuste de frecuencia de 50Hz.

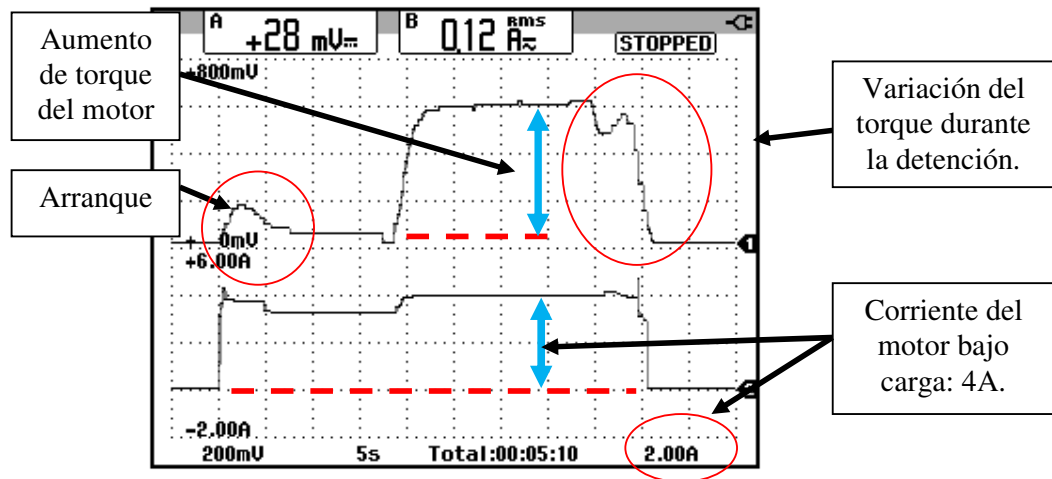


Figura 10.76: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante el arranque, aumento de carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y posterior detención.

Durante las pruebas siguientes, es necesario revisar el estado térmico del variador y del motor, empleando Power Suite. Emplear el osciloscopio en modo RECORDER para observar la variación de las dos variables mecánicas del motor: torque y velocidad bajo carga mecánica. Esto se observa en la Fig. 10.77.

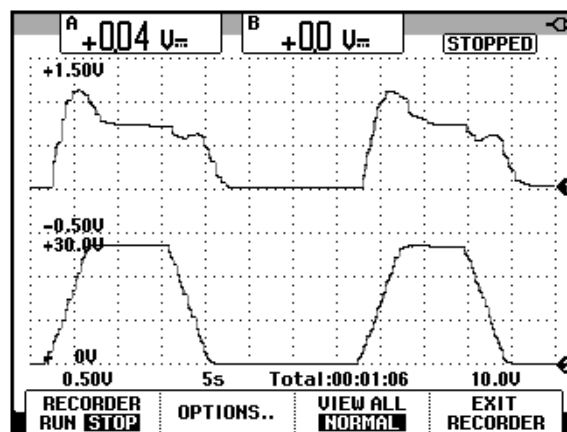


Figura 10.77: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control de par constante.

En la Fig. 10.78, se muestra la variación del torque del motor y de la corriente hacia la terminal U1 bajo carga mecánica. En la Fig. 10.79, se muestra la variación del torque del motor y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 bajo la acción de carga mecánica.

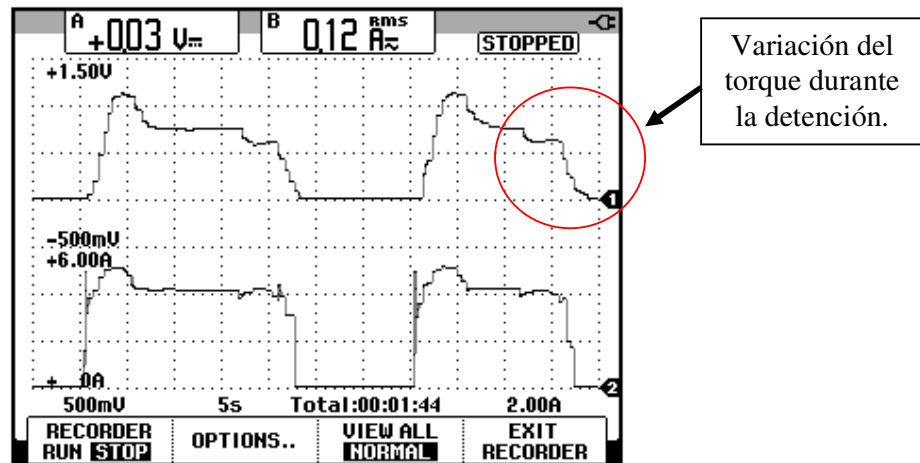


Figura 10.78: Variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.

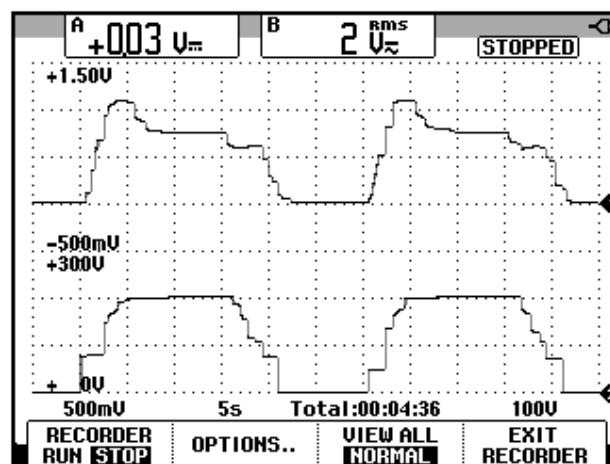


Figura 10.79: Variación del torque y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.

En el menú I-O- configurar el parámetro dO con el valor rFr. De esta forma, a la salida analógica AOC se le asigna la frecuencia del motor; la salida analógica fue configurada previamente para que sea de tipo 0-20mA, por ello, se puede mantener la conexión entre el banco MV1100 y el panel. En la Fig. 10.80, se muestra la asignación.

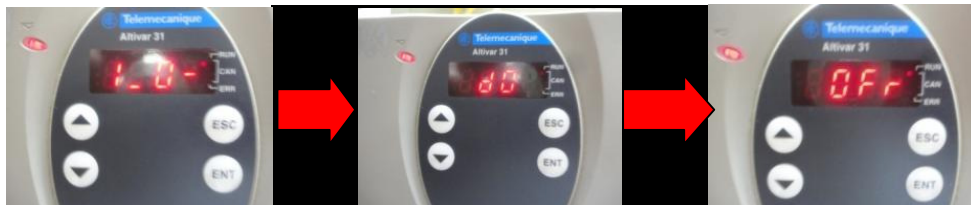


Figura 10.80: Asignación de frecuencia del motor a la salida analógica.

Debido a que el drive dispone únicamente de una salida analógica, no es posible visualizar la variación de torque y de frecuencia simultáneamente. En la Fig. 10.81, se muestra la variación de la frecuencia del motor y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 con un ajuste de frecuencia de 50Hz. Se observa que la duración de la rampa de aceleración y desaceleración es de 5 segundos. Adicionalmente se observa que las pendientes voltaje/tiempo y frecuencia/tiempo son constantes a pesar de ser ligeramente diferentes, por lo que la relación voltaje/frecuencia es constante a excepción del arranque, lo cual se comprueba en la Fig. 10.81.

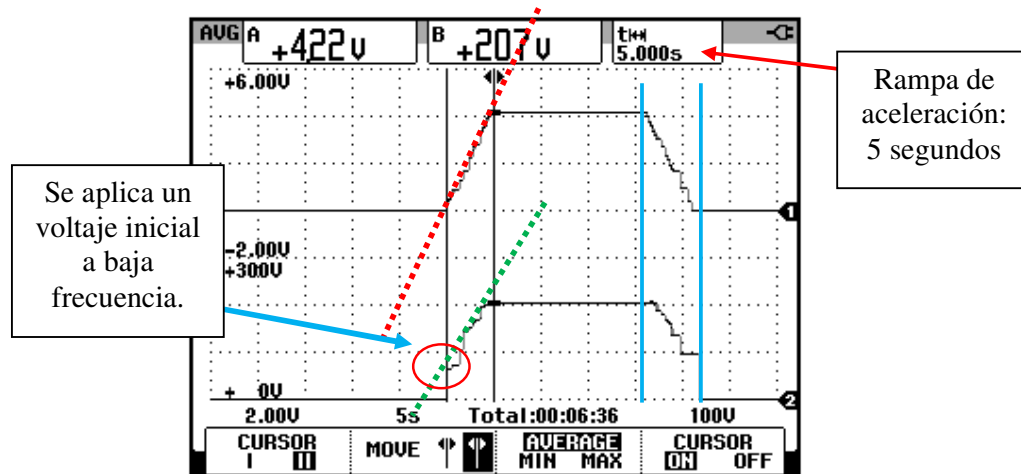


Figura 10.81: Variación de la frecuencia del motor y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del mismo bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz.

Girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de tal forma que la frecuencia impuesta al motor en el arranque sea de 0Hz. Se procede a obtener la tabla 10.1. En pasos de 5Hz, adquirir:

- El voltaje RMS entre las terminales U1-V1 empleando el multímetro Fluke 87V.
- Velocidad del eje del motor empleando el tacómetro Amprobe Tach20.
- El voltaje DC correspondiente al torque inducido empleando el osciloscopio Fluke 192B. Reconfigurar el parámetro dO del menú I-O, con la opción Otr.
- La corriente hacia la terminal U1 empleando el osciloscopio Fluke 192B. Emplear el modo RECORDER.

Se procede a arrancar el motor. Verificar el estado térmico del motor y del variador.

En la Fig. 10.82, se muestra la variación del voltaje DC correspondiente al torque del motor para los diferentes valores de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	Voltaje U1-V1 (V_{RMS})	Velocidad (rpm)	Torque (V_{DC})	Corriente (A_{RMS})
5	88	133	0.272	3.82
10	113	265	0.453	3.77
15	134	404	0.594	3.95
20	153	549	0.697	4.12
25	169	698	0.719	4.27
30	184	848	0.717	4.32
35	198	999	0.715	4.40
40	211	1150	0.675	4.38
45	222	1300	0.615	4.28
50	221	1440	0.635	4.01

Tabla 10.1: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, voltaje proporcional al torque del motor y corriente RMS hacia la terminal U1 bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor a 50Hz.

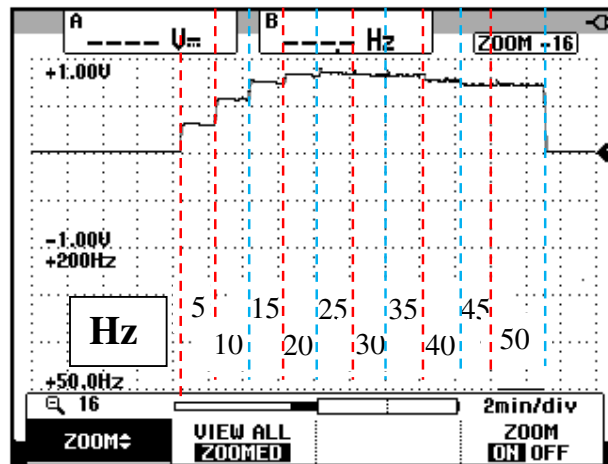


Figura 10.82: Variación del voltaje DC proporcional al torque del motor, para diferentes ajustes de frecuencia.

En la Fig. 10.83, se muestra la variación del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 con respecto a la frecuencia. Se observa que para $f=5\text{Hz}$, se aplica un voltaje inicial de 89V. La relación voltaje/frecuencia es aproximadamente constante. En la Fig. 10.84, se muestra la variación de la velocidad del motor con respecto a la frecuencia de la corriente del motor; esta variación es lineal. Si el aumento de velocidad es lineal entonces la aceleración del motor es constante, por lo que el torque neto lo es también. En la Fig. 10.85, se muestra la variación del torque inducido con respecto a la frecuencia. En la Fig. 10.86, se muestra la variación de la corriente del motor con respecto a la frecuencia.

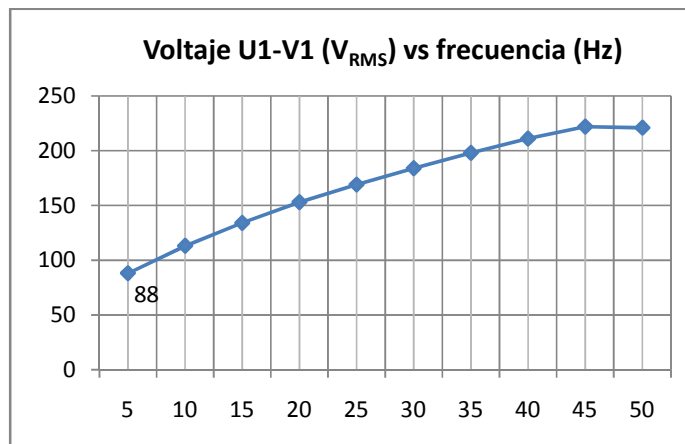


Figura 10.83: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

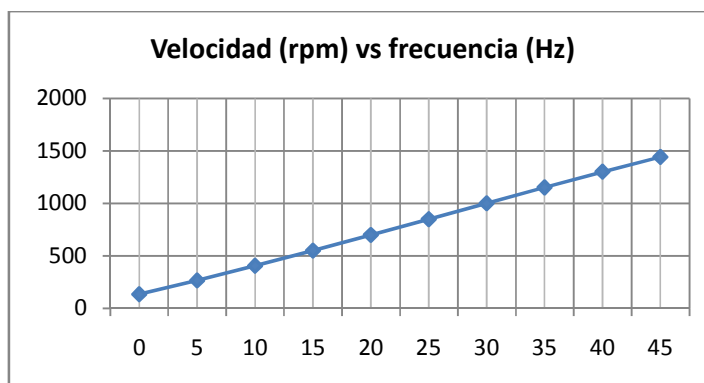


Figura 10.84: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

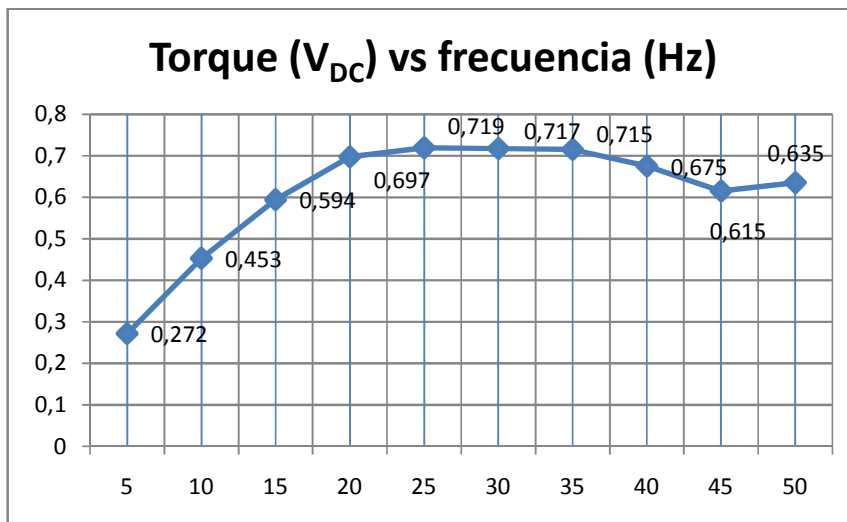


Figura 10.85: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

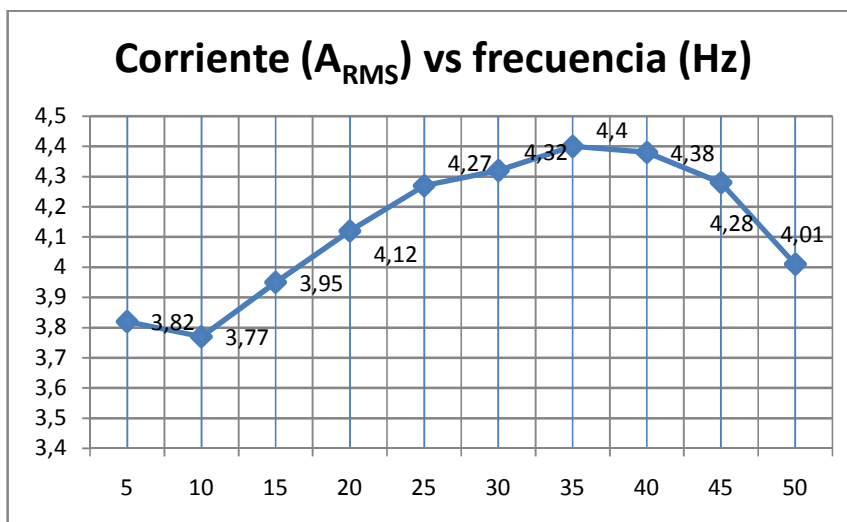


Figura 10.86: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

La velocidad de sincronismo, es decir, la velocidad a la que gira el campo giratorio en un motor de inducción se calcula de la siguiente forma:

$$n_s = \frac{120 f}{P} \quad [10.1]$$

El deslizamiento s de un motor de inducción se calcula de la siguiente forma:

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} * 100 \quad [10.2]$$

Donde n_m es la velocidad del eje del motor. En base a las fórmulas 10.1 y 10.2, es posible construir la Tabla 10.2 que muestra la variación del deslizamiento con respecto a la frecuencia de operación del variador. El deslizamiento mínimo es 4, mientras que el máximo valor es de 11.7.

La frecuencia a la que gira el campo giratorio, es la frecuencia de la corriente del estator y es la frecuencia que impone el variador.

En la Fig. 10.87 se muestra la variación del deslizamiento con respecto a los diferentes valores de frecuencia.

Frecuencia f [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	150	133	11.3
10	300	265	11.7
15	450	404	10.2
20	600	549	8.5
25	750	698	6.93
30	900	848	5.78
35	1050	999	4.86
40	1200	1150	4.17
45	1350	1300	3.70
50	1500	1440	4

Tabla 10.2: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

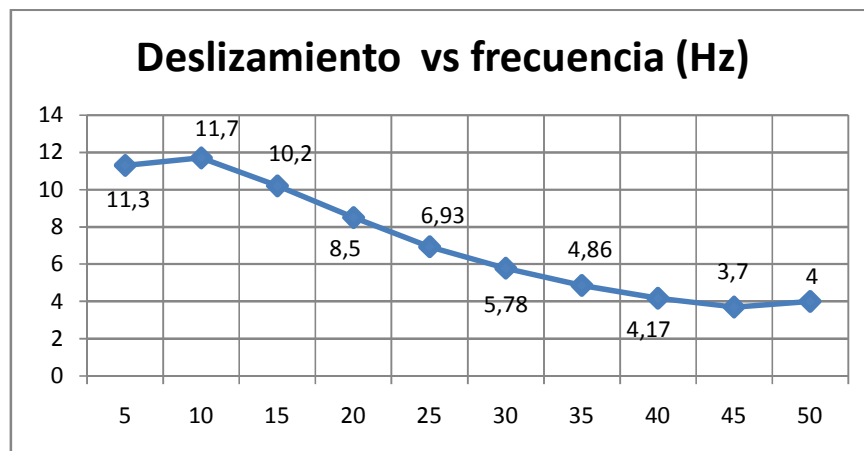


Figura 10.87: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante.

10.8. Formas de onda del voltaje y de la corriente del motor para las frecuencias de operación de 5Hz, 30Hz y 50Hz.

En la Fig. 10.88 se muestran las formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando a 5Hz. En la Fig. 10.89 se muestran las formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando a 30Hz. En la Fig. 10.90 se muestran las formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando a 50Hz. En la Fig. 10.91 se muestran las formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando a 50Hz con escala de tiempo de 1ms.

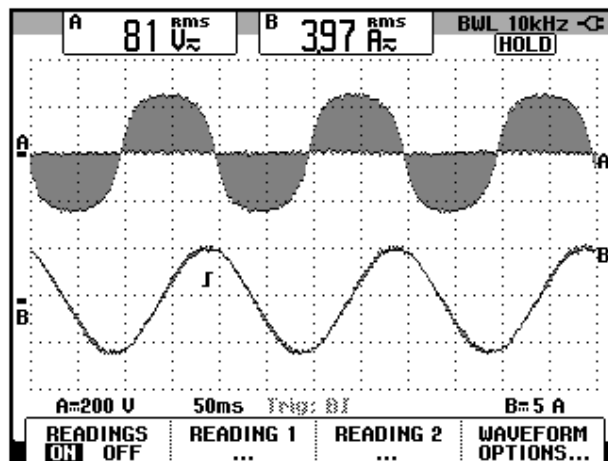


Figura 10.88: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 5Hz.

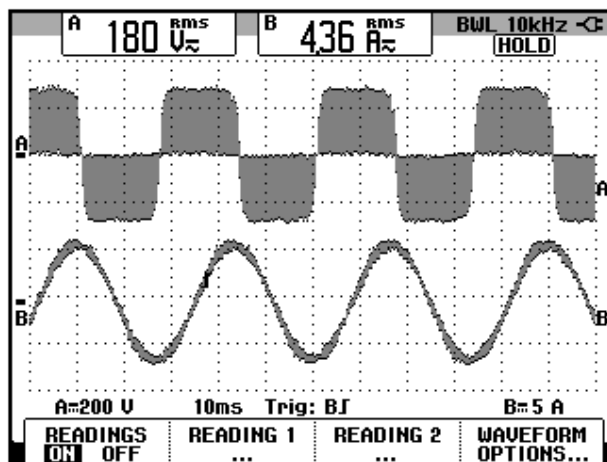


Figura 10.89: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 30Hz.

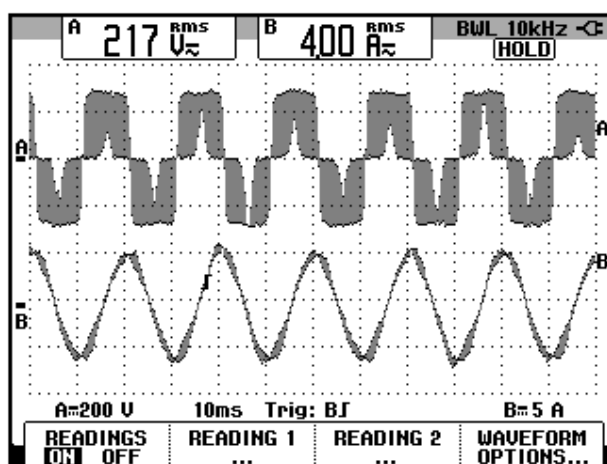


Figura 10.90: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 50Hz.

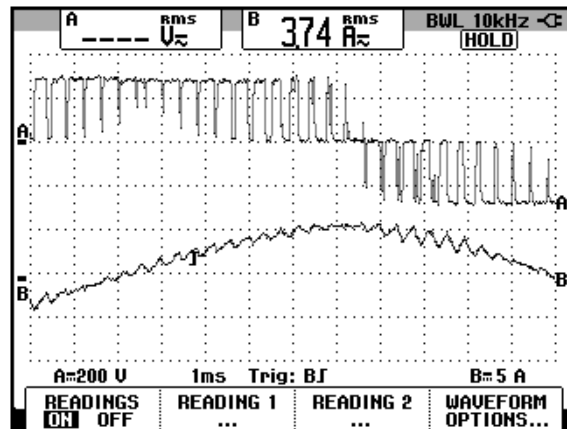


Figura 10.91: Formas de onda del voltaje en las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea y con una frecuencia de 50Hz con escala de tiempo de 1ms.

10.9. Método de control de la relación voltaje/frecuencia por control vectorial del flujo sin sensor y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz.

A continuación, acceder al menú dRC-, elegir el parámetro UfT y luego seleccionar la opción “n”, tal como se muestra en la Fig. 10.92. El método de control de la relación voltaje/frecuencia se realiza empleando el control vectorial del flujo sin sensor.

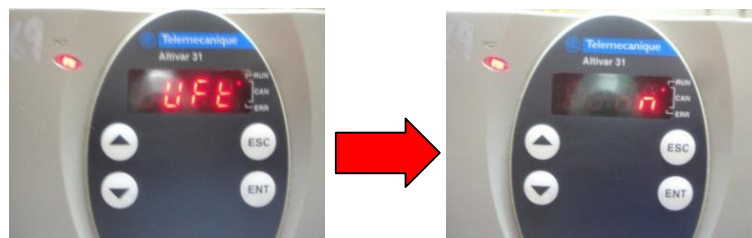


Figura 10.92 Selección de control vectorial del flujo sin sensor (n) en el parámetro UfT.

En la Fig. 10.93, se muestra la variación del torque inducido y de la velocidad del motor, durante el arranque y la detención del mismo. Al igual que en la Fig. 10.77, se observa que durante el arranque, el torque no cambia bruscamente, lo cual sí ocurre durante un arranque directo. En la Fig. 10.94, se muestra la variación del torque inducido y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor. En la Fig. 10.95, se muestra la variación de la frecuencia del motor y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1.

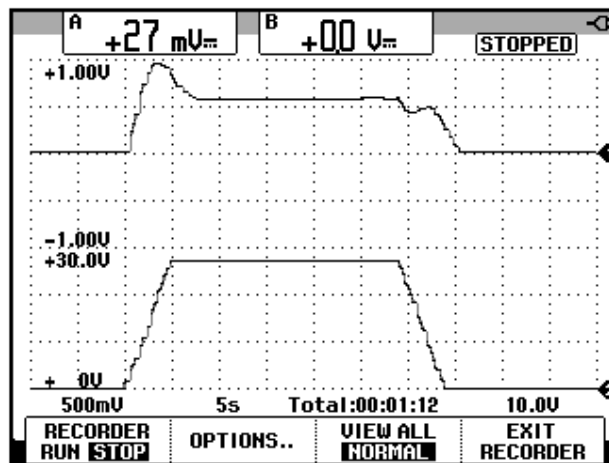


Figura 10.93: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor.

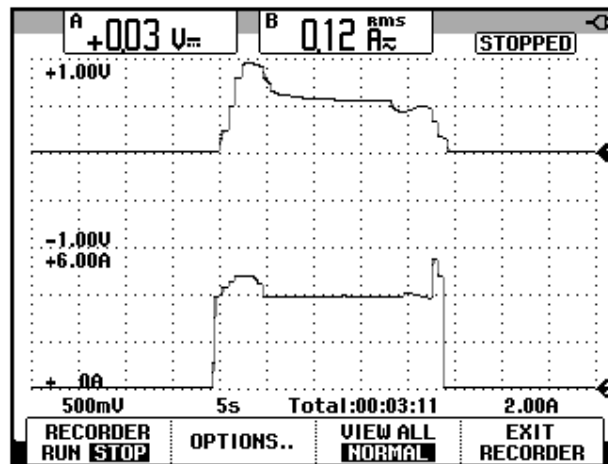


Figura 10.94: Variación del torque y de la corriente del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor.

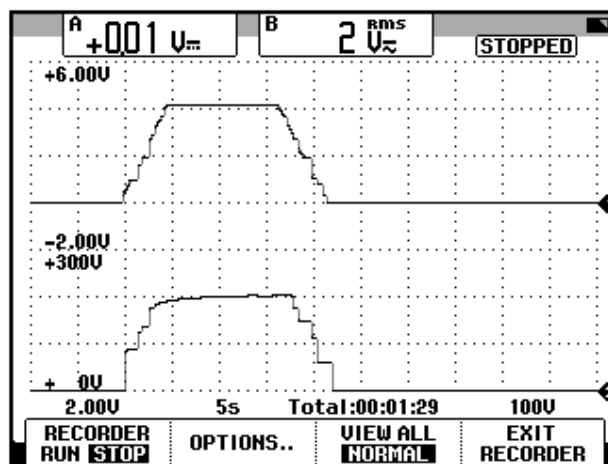


Figura 10.95: Variación de la frecuencia y del voltaje RMS en las terminales U1-V1 del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea a 50Hz con control vectorial de flujo sin sensor.

Girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de tal forma que la frecuencia impuesta al motor en el arranque sea de 0Hz. Se procede a obtener la tabla 10.3; adquirir las mismas mediciones de la tabla 10.1.

Se procede a arrancar el motor. Verificar el estado térmico del motor y del variador. A pesar de que el método de control de flujo se realiza por el método de control vectorial de flujo sin sensor, se requiere un voltaje inicial al operar con la mínima frecuencia.

Frecuencia (Hz)	Voltaje U1-V1 (V_{RMS})	Velocidad (rpm)	Torque (V_{DC})	Corriente (A_{RMS})
5	88	148	0.411	3.92
10	119	295	0.676	4.06
15	140	443	0.818	4.33
20	158	590	0.858	4.44
25	174	738	0.838	4.50
30	188	887	0.818	4.51
35	202	1034	0.777	4.54
40	214	1182	0.716	4.49
45	218	1327	0.695	4.21
50	218	1473	0.694	4.02

Tabla 10.3: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor y voltaje proporcional al torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor a 50Hz empleando el control vectorial de flujo sin sensor.

En la Fig. 10.96, se muestra la variación del voltaje DC correspondiente al torque del motor junto con la corriente RMS hacia la terminal U1, para los diferentes valores de frecuencia. En la Fig. 10.97, se muestra la variación del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 con respecto a la frecuencia. La relación voltaje/frecuencia es aproximadamente constante a partir de 10Hz hasta 40Hz. En la Fig. 10.98, se muestra la variación de la velocidad del motor con respecto a la frecuencia de la corriente del motor; esta variación es lineal. Si el aumento de velocidad es lineal entonces la aceleración del motor es constante, por lo que el torque neto lo es también. En la Fig. 10.99, se muestra la variación del torque inducido con respecto a la frecuencia. En

la Fig. 10.100, se muestra la variación de la corriente del motor con respecto a la frecuencia.

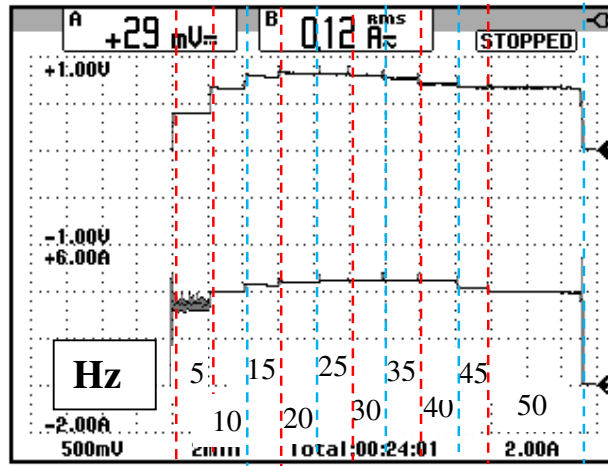


Figura 10.96: Variación del voltaje DC proporcional al torque del motor, para diferentes ajustes de frecuencia empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

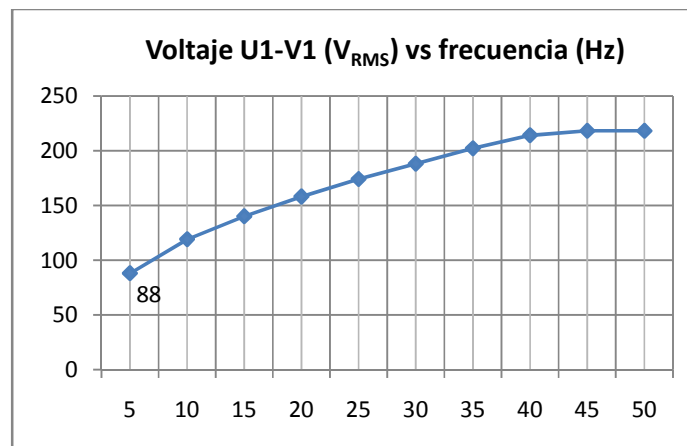


Figura 10.97: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

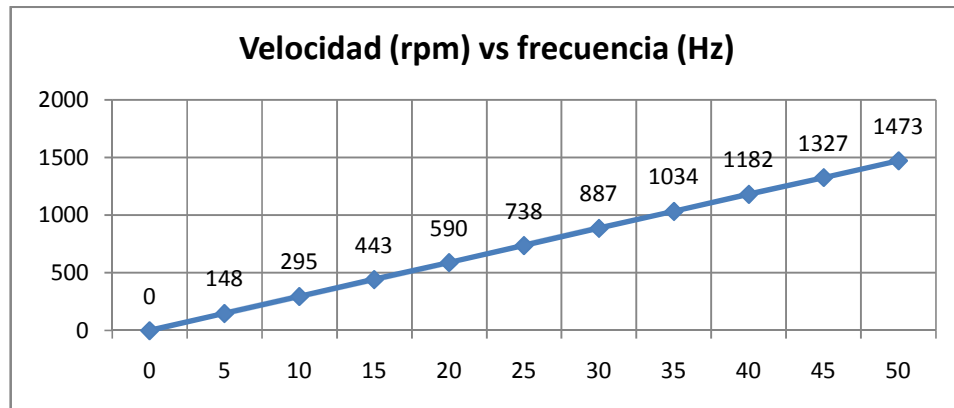


Figura 10.98: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

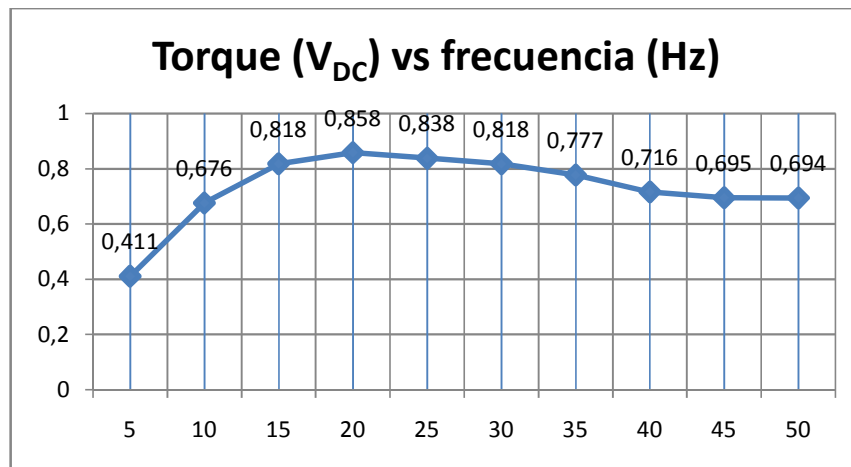


Figura 10.99: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

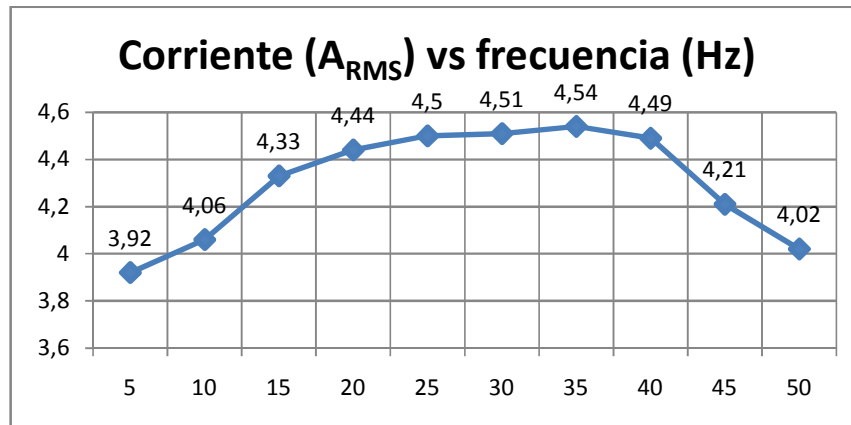


Figura 10.100: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

En base a las fórmulas 10.1 y 10.2, es posible construir la Tabla 10.4 que muestra la variación del deslizamiento con respecto a la frecuencia de operación del variador. En la Fig. 10.101 se muestra la variación del deslizamiento con respecto a los diferentes valores de frecuencia. Se observa que el deslizamiento, no es menor a 1.33 ni mayor a 1.8 para el rango de frecuencias analizado, es decir, casi constante, lo cual no ocurre en el método de control de par constante (L). En la Tabla 10.3 se observa que la velocidad del motor es muy cercana a la velocidad de sincronismo empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

Frecuencia f [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	150	148	1.33
10	300	295	1.67
15	450	443	1.56
20	600	590	1.67
25	750	738	1.6
30	900	887	1.44
35	1050	1034	1.52
40	1200	1182	1.5
45	1350	1327	1.70
50	1500	1473	1.8

Tabla 10.4: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

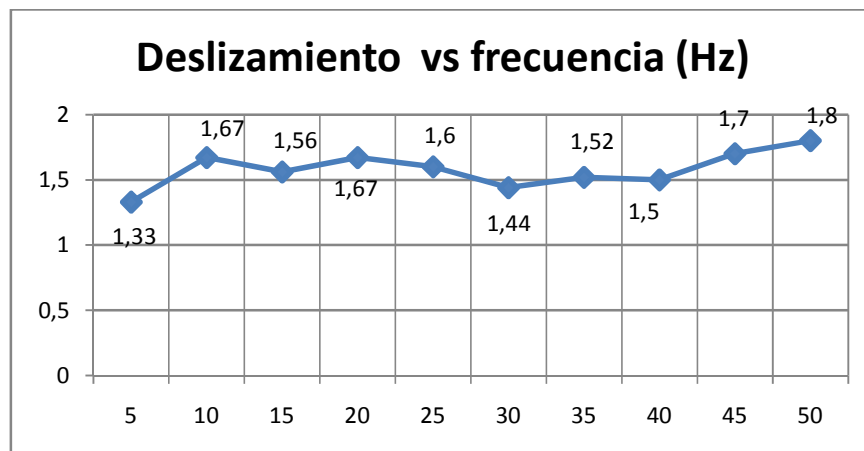


Figura 10.101: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor.

10.10. Efecto del parámetro SLP (control de deslizamiento) en el deslizamiento del motor. Efecto del parámetro StA en la frecuencia de la corriente de línea del motor.

A continuación, se procede a observar el efecto del parámetro SLP del menú SEt-. Este parámetro se denomina “compensación de deslizamiento”. Aparece sólo si el parámetro UFt, del menú drC-, es “n” o “nLd”; el ajuste de fábrica corresponde a 100. Los valores de la tabla 10.4 fueron obtenidos con SLP=100. Fijar el parámetro SLP en 5. La tabla 10.5 muestra la variación del deslizamiento para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 50Hz. Adquirir la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor, empleando el modo SCOPE del osciloscopio. La velocidad síncrona, es calculada empleando la frecuencia de la corriente y no la frecuencia mostrada en la interfaz del variador.

Frecuencia interfaz variador [Hz]	Frecuencia corriente [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	5.02	150.6	131	13
10	10	300	266	11.3
15	15.08	452.4	409	10.59
20	20.05	601.5	554	7.90
25	25.03	750.9	703	6.38
30	30.07	902.1	855	5.22
35	35.06	1051.8	1004	4.54
40	40.03	1200.9	1154	3.91
45	45.01	1350.3	1303	3.50
50	50.03	1500.9	1443	3.86

Tabla 10.5: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante y SLP=5.

Comparando la tabla 10.4 con la tabla 10.5, es posible observar que el deslizamiento aumenta para cada una de las frecuencias del rango analizado; es decir, que la diferencia de velocidad entre la velocidad de sincronismo y la velocidad del eje del motor aumenta. Es posible observar, que el deslizamiento disminuye al aumentar la frecuencia de operación. El máximo valor de deslizamiento es 13, mientras que el mínimo es 3.86.

Fijar el parámetro SLP en 150. La tabla 10.6 muestra la variación del deslizamiento para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 50Hz. Al igual que en la tabla 10.5, la velocidad síncrona, es calculada empleando la frecuencia de la corriente y no la frecuencia mostrada en la interfaz del variador. Se observa que si $SLP > 100$, la frecuencia de la corriente difiere considerablemente de la frecuencia mostrada en la interfaz, lo cual no ocurre en los datos de la tabla 10.5.

Frecuencia interfaz variador [Hz]	Frecuencia corriente [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	6.047	181.4	158	13.5
10	11.67	350.1	310	11.7
15	16.85	505.5	461	10.2
20	21.88	656.4	609	7.37
25	26.82	804.6	757	6.16
30	31.70	951	904	5.05
35	36.61	1098.3	1052	4.21
40	41.42	1242.6	1198	3.59
45	46.54	1396.2	1347	3.67
50	51.83	1554.9	1496	3.85

Tabla 10.6: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control de par constante y $SLP=150$.

Reajustar el parámetro SLP en 100. Ajustar el parámetro ACC del menú SEt- en 10. Se procede a observar el efecto del parámetro StA del menú SEt-. En la Fig. 10.102 se muestra la variación de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 para StA=5 y para StA=95. El motor se mantiene operando con una carga mecánica que requiere 4A de corriente de línea. Reajustar StA en 20 y ACC en 5.

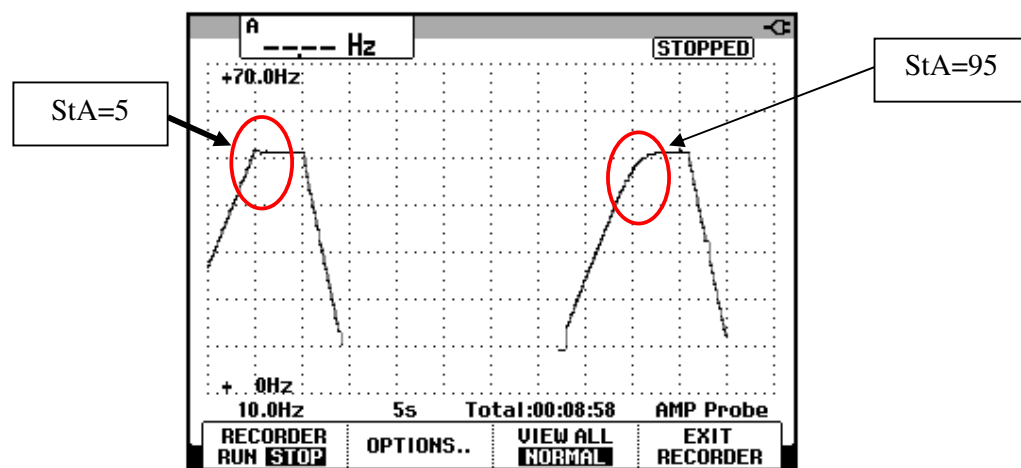


Figura 10.102: Variación de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor para dos valores de StA: 5 y 95.

10.11. Variación del torque, corriente RMS, velocidad y voltaje RMS empleando los métodos de frenado por seguimiento de rampa y por rueda libre. Variación del torque, corriente DC, velocidad y voltaje DC empleando el método de control de frenado por inyección de corriente DC. Forma de onda del voltaje y corriente DC aplicado al motor durante el frenado por inyección de corriente DC.

A continuación, se procede a observar la variación de señales del motor durante los diferentes tipos de frenado que dispone el variador. El primer

método de frenado consiste en emplear una rampa de seguimiento o de desaceleración; este es el método de frenado que viene configurado de fábrica.

Configurar el parámetro dEC en 10. Este parámetro pertenece al menú SEt-. Revisar el estado térmico del variador y del motor durante las pruebas siguientes.

En la Fig. 10.103 se muestra la variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor durante el arranque y el frenado. En la Fig. 10.104 se muestra la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor durante el arranque y el frenado. La rampa de disminución de la velocidad dura 10 segundos por lo que su valor es igual al del parámetro dEC.

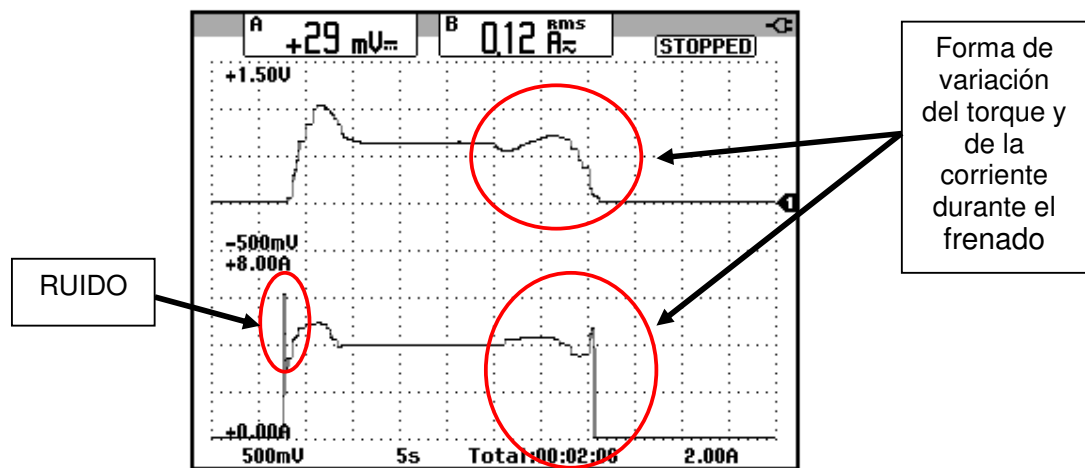


Figura 10.103: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por seguimiento de rampa.

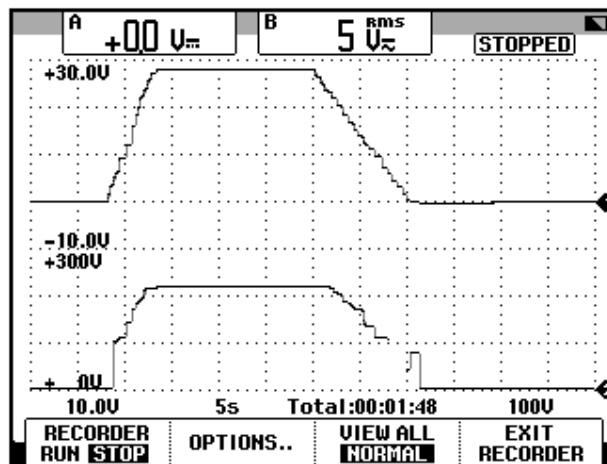


Figura 10.104: Variación de la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por seguimiento de rampa.

Frenado en rueda libre es el segundo método de frenado. Acceder al menú FUn-, luego al submenú StC- y a continuación elegir el parámetro Stt; fijar el valor de este parámetro en nSt correspondiente al frenado por parada libre. La configuración se muestra en la Fig. 10.105. En la Fig. 10.106 se muestra la variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor durante el arranque y el frenado. Observar que el torque inducido se reduce a cero de forma exponencial a pesar de que la corriente RMS y voltaje RMS (Fig. 10.107) se reducen a cero instantáneamente. En la Fig. 10.107 se muestra la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor durante el arranque y el frenado; el último dura aproximadamente 1 segundo. Tomar en consideración que el motor opera bajo carga mecánica. En el capítulo 8 se vio la forma de disminución de velocidad del motor de inducción MV1009 al operar sin carga mecánica aplicada.



Figura 10.105: Configuración del tipo de frenado por rueda libre.

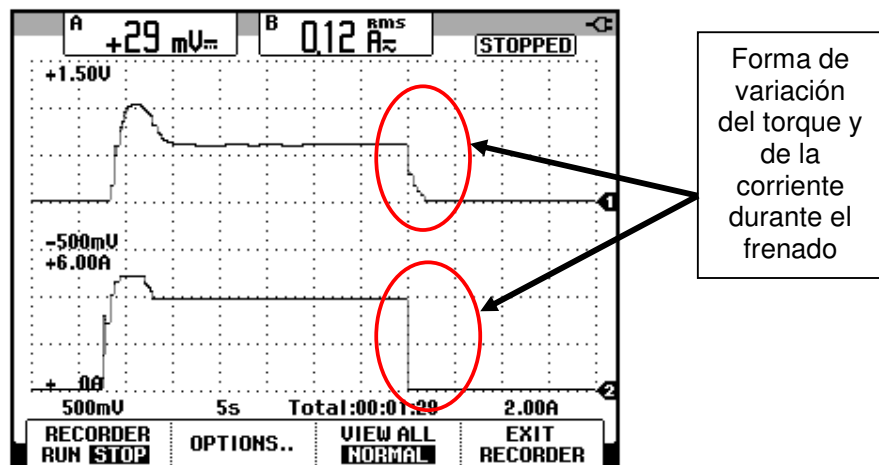


Figura 10.106: Variación del torque y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por rueda libre.

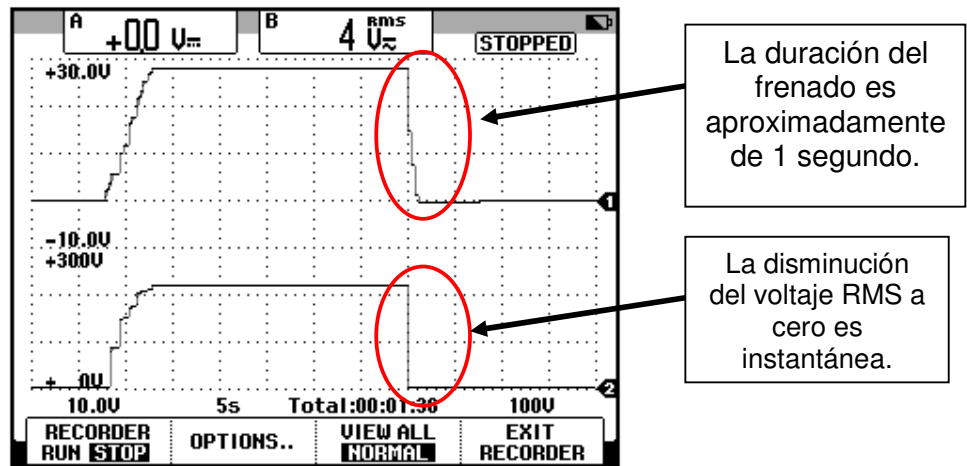


Figura 10.107: Variación de la velocidad y del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por rueda libre.

El tercer método de frenado se realiza mediante inyección de corriente directa al estator del motor. Al inyectar corriente DC en el estator, se genera un campo magnético fijo y por ende no giratorio, el cual magnetiza el rotor en una posición fija con la consecuente detención del eje del motor. Acceder al menú FUn-, luego al submenú StC- y a continuación elegir el parámetro Stt; fijar el valor de este parámetro en dCl correspondiente al frenado por inyección de corriente DC. Dentro del submenú StC- configurar los siguientes parámetros:

- El parámetro dC1 mantenerlo en "no". Este parámetro corresponde a la inyección de corriente DC a través de una entrada lógica.
- El parámetro IdC configurarlo en 5.6. Este parámetro corresponde al nivel de corriente de frenado por inyección de corriente DC .

- El parametro tdC configurarlo en 0.5. Este parámetro corresponde al tiempo total del frenado por inyección de corriente DC.

Salir del submenú StC- y acceder al submenú AdC- del menú FUn- y configurar el parámetro AdC en “no”; este parámetro configura la inyección automática de corriente DC.

En la Fig. 10.108 se muestra la variación del torque y de la corriente DC hacia la terminal U1 del motor durante el arranque y el frenado. En la Fig. 10.109 se muestra la velocidad y del voltaje DC entre las terminales U1-V1 del motor durante el arranque y el frenado. En la Fig. 10.110 se muestra la forma de onda del voltaje aplicado entre las terminales U1-V1 del motor y de la corriente hacia la terminal U1 del motor. Su duración es de 0.250 segundos. La corriente máxima es de 5A aproximadamente. Observar que la escala de tiempo está ajustada en 50ms. El frenado dura 250ms.

Debido a que la aplicación del voltaje DC es menor a 1 segundo, no fue posible visualizarlo en la Fig. 10.109.

Seleccionar el tipo de frenado por seguimiento de rampa y el parámetro dEC del menú SEt- ajustarlo en 5.

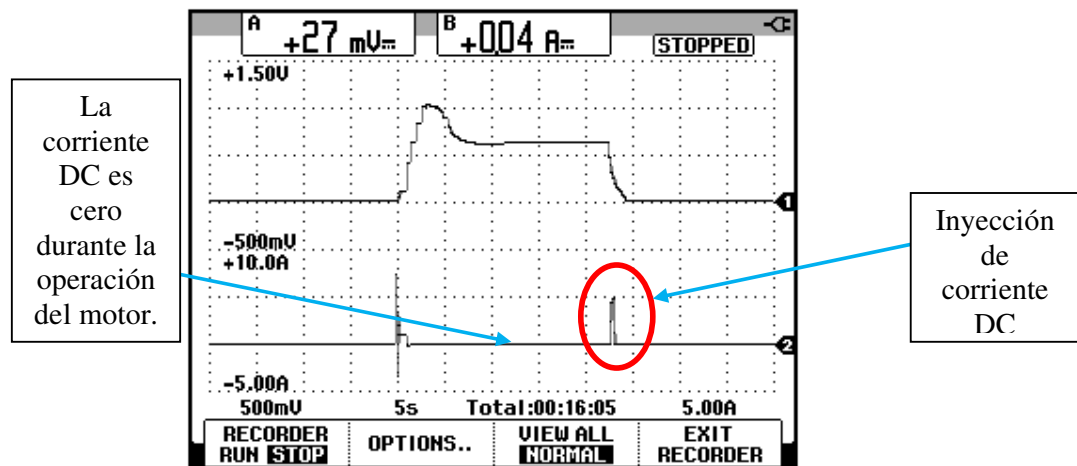


Figura 10.108: Variación del torque y de la corriente DC hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC.

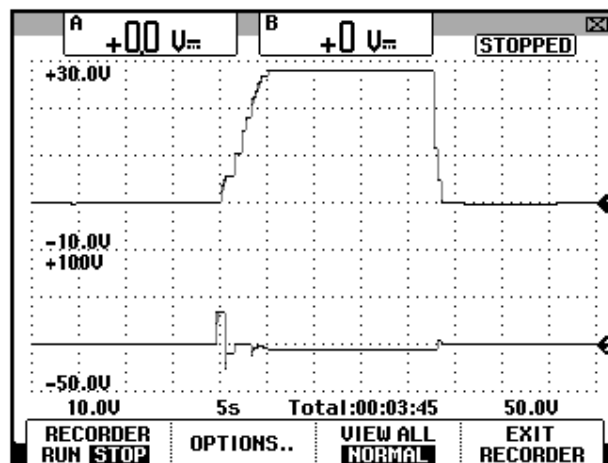


Figura 10.109: Variación de la velocidad y del voltaje DC entre las terminales U1-V1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC.

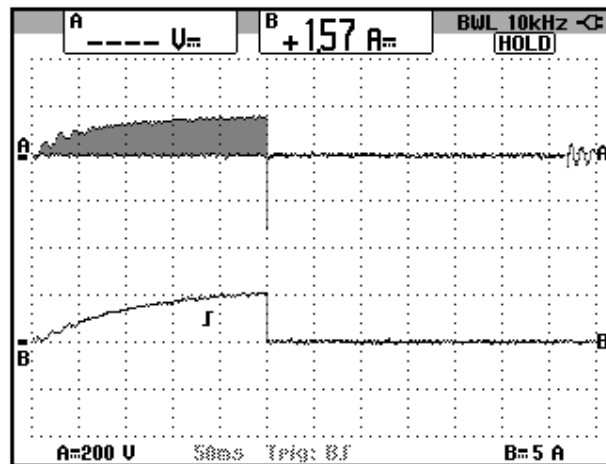


Figura 10.110: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1-V1 y de la corriente hacia la terminal U1 del motor operando bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y empleando el modo de frenado por inyección de corriente DC.

10.12. Forma de onda de la corriente de entrada al drive y análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434 para las frecuencias de operación de 15Hz, 30Hz y 50Hz.

Para adquirir la forma de onda de la corriente de entrada al drive, es necesario conocer los cables que se conectan a las terminales de alimentación del drive; estos son los cables con las marquillas A4 y B4 los cuales se muestran en la Fig. 10.111.

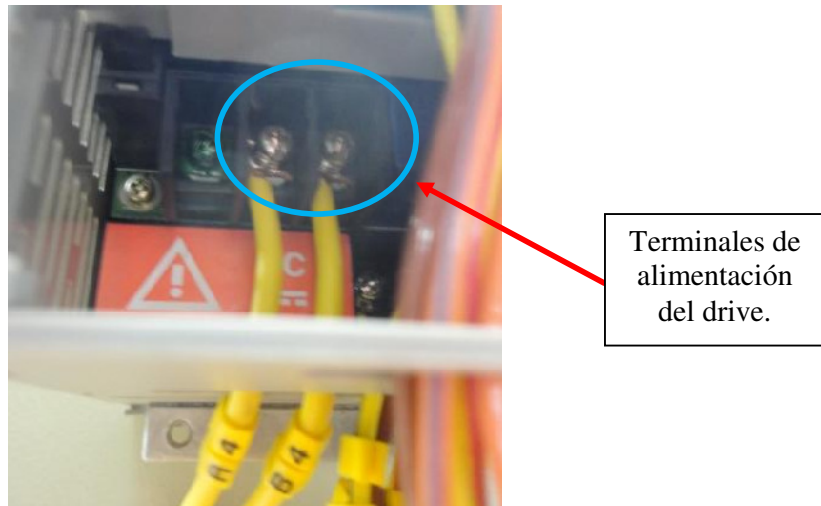


Figura 10.111: Cables A4 y B4 conectados a las terminales de alimentación del drive Altivar 31.

En la Fig. 10.112 se muestra la punta de prueba de corriente, Fluke 80i-110s AC/DC, conectada al cable cuya marquilla es A4.

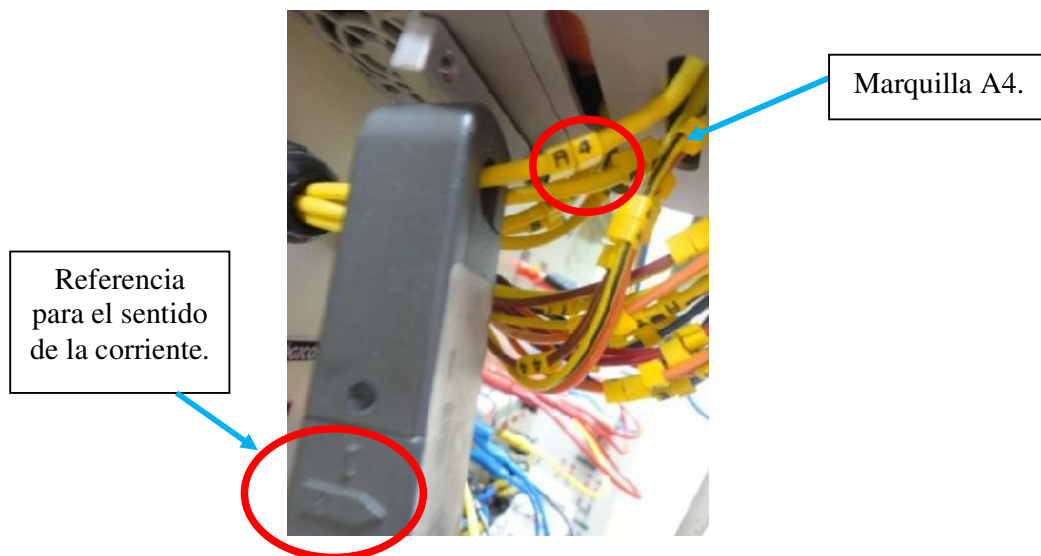


Figura 10.112: Punta de prueba de corriente, Fluke 80i-110s AC/DC, conectada al cable cuya marquilla es A4.

En la Fig. 10.113 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Altivar 31 operando a 50Hz. Observar el marcador del trigger del osciloscopio; se ajustó el trigger del osciloscopio en el canal B. Observar que la corriente RMS de entrada es mayor a dos veces la corriente de línea del motor; el valor pico de la corriente de entrada es 32A. En la Fig. 10.114 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Altivar 31 operando a 30Hz. En la Fig. 10.115 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Altivar 31 operando a 15Hz.

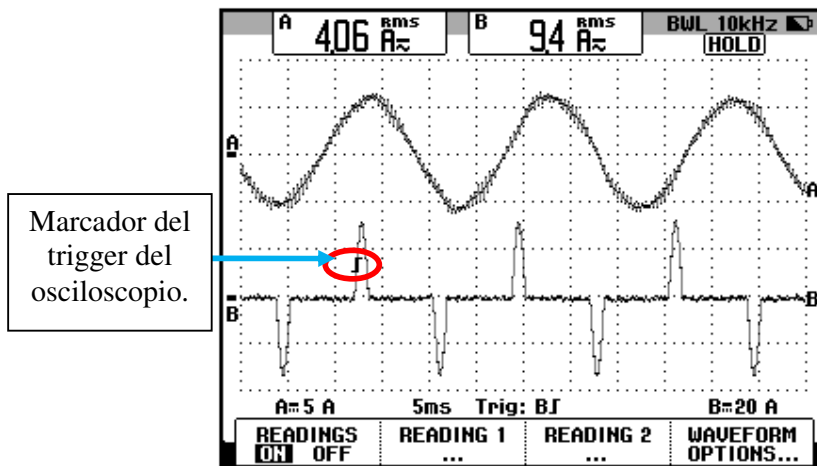


Figura 10.113: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

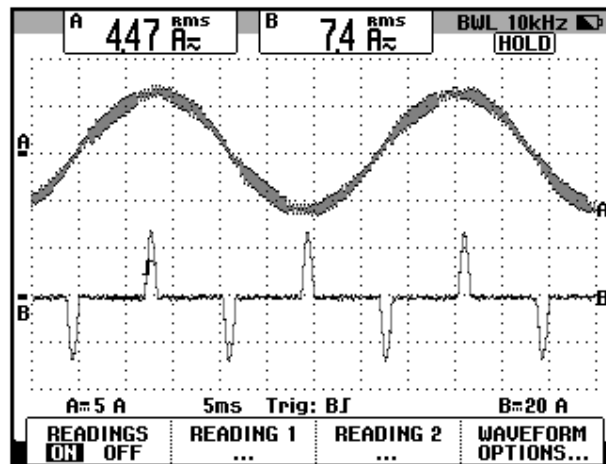


Figura 10.114: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

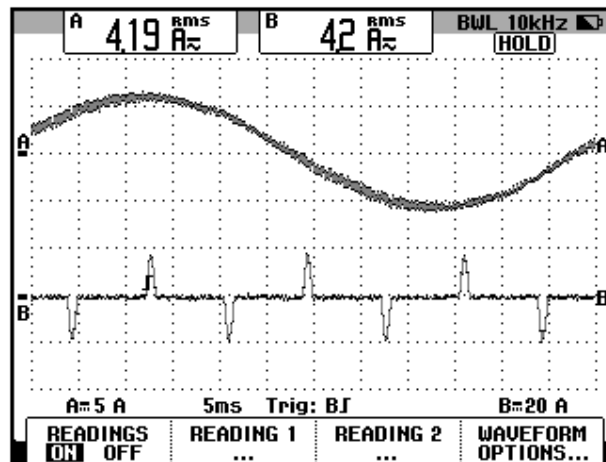


Figura 10.115: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

Para observar las componentes armónicas de la corriente de entrada al drive, configurar el analizador de energía Fluke 434 tal como se muestra en

la Fig. 10.116. Elegir la configuración **1 Φ IT**. Es importante configurar la frecuencia de operación en 60Hz, dado que es la frecuencia nominal del voltaje de la red eléctrica del Laboratorio. En la Fig. 10.117 se muestra la conexión entre el analizador de energía y el sistema eléctrico analizado.

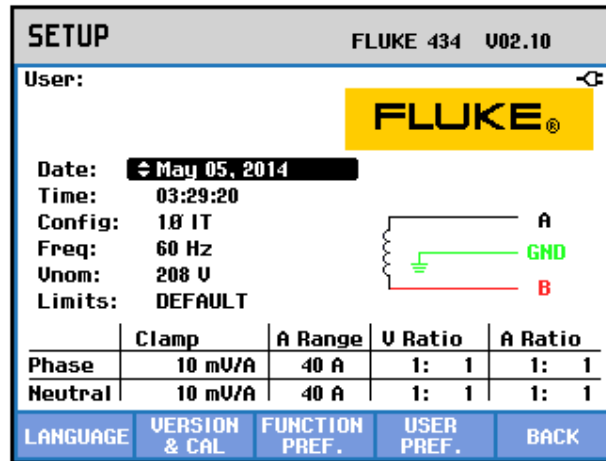


Figura 10.116: Ajuste del menú SETUP del analizador de energía.

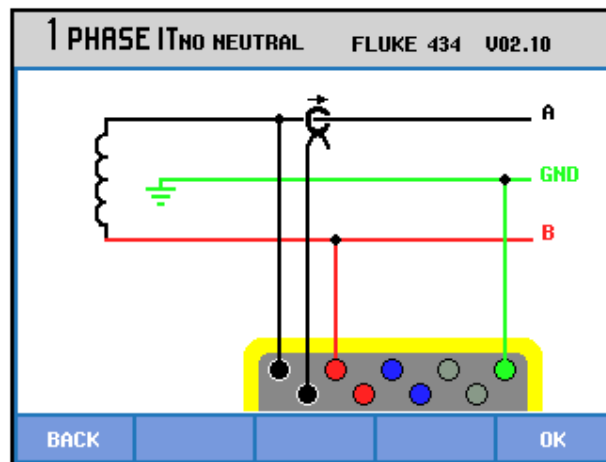


Figura 10.117: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.

Debido a que el panel eléctrico Altivar no dispone de borneras para acceder a las terminales de alimentación del drive, en las cuales sea posible conectar las puntas de prueba de voltaje del analizador de energía, no se deben conectar las mismas durante la práctica. Durante la realización de este documento, fue necesario conectarlas a las terminales de alimentación del drive para comprobar que el análisis de los armónicos de la corriente de entrada al drive, provisto por el analizador, no depende del voltaje de alimentación al drive; por ello durante la práctica es posible prescindir de esta conexión.

En la Fig. 10.118 se muestra la gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 50Hz. A partir de la armónica 15 es posible despreciar las componentes armónicas. En la Fig. 10.119 se muestra la tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 50Hz.

En la Fig. 10.120 se muestra la gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 30Hz. A partir de la armónica 17 es posible despreciar las componentes armónicas. En la Fig. 10.121 se muestra la tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 30Hz.

En la Fig. 10.122 se muestra la gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 15Hz. A partir de la armónica 21 es posible despreciar las componentes armónicas. En la Fig.

10.123 se muestra la tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 15Hz.

Se observa que el drive Altivar 31 introduce, a las redes eléctricas del Laboratorio, señales armónicas impares principalmente. A medida que la frecuencia de operación disminuye, las componentes armónicas aumentan de magnitud.

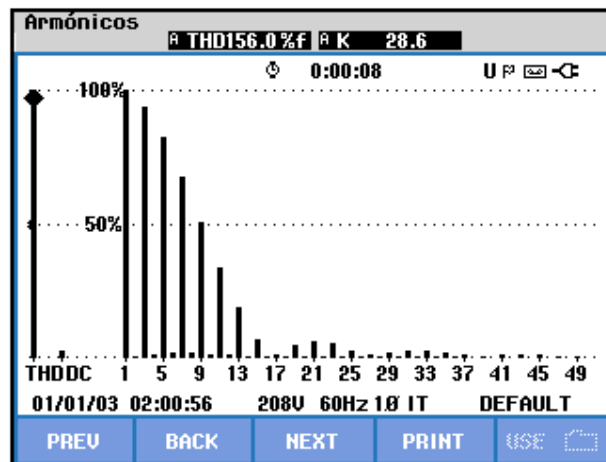


Figura 10.118: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS	
Amp	A
THD% _f	157.0
H3% _f	93.9
H5% _f	82.7
H7% _f	68.0
H9% _f	51.2
H11% _f	34.6
H13% _f	19.7
H15% _f	8.0
01/01/03 02:03:19 208V 60Hz 1Ø IT DEFAULT	
PREV	BACK
NEXT	PRINT
USE	

Figura 10.119: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

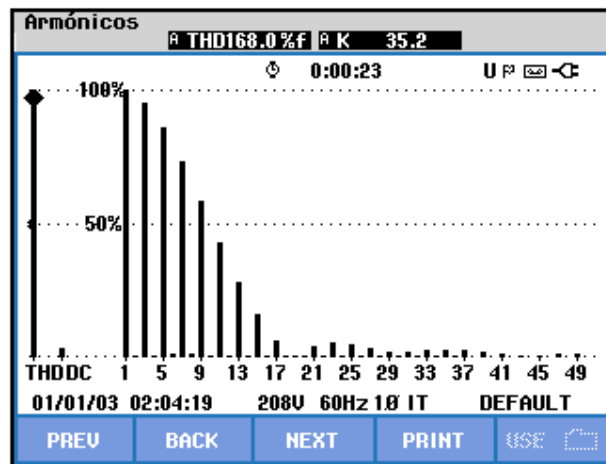


Figura 10.120: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS	
Amp	A
THD%f	168.4
H3%f	95.0
H5%f	85.7
H7%f	73.2
H9%f	58.5
H11%f	43.3
H13%f	28.7
H15%f	16.1
01/01/03 02:04:34 208V 60Hz 1Ø IT DEFAULT	
PREV	BACK
NEXT	PRINT
USE	

Figura 10.121: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

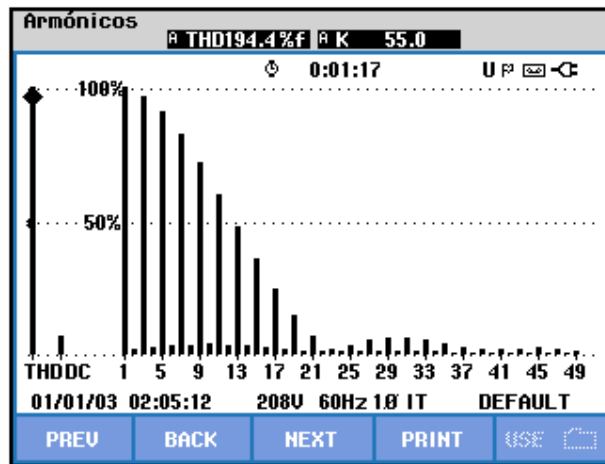


Figura 10.122: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS	
Amp	A
THD% _f	194.8
H3% _f	96.8
H5% _f	90.7
H7% _f	82.6
H9% _f	72.3
H11% _f	60.9
H13% _f	48.7
H15% _f	36.9
01/01/03 02:05:24 208V 60Hz 1Ø IT DEFAULT	
PREV	BACK
NEXT	PRINT
USE	

Figura 10.123: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

10.13. Ajuste de velocidades preseleccionadas.

Confirmar que el disyuntor se encuentre repuesto. Realizar las conexiones mostradas en la Fig. 10.124.

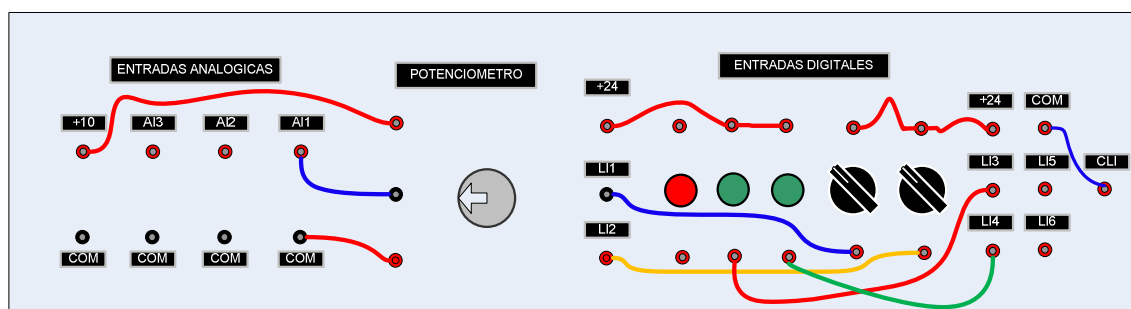


Figura 10.124: Implementación del control de dos hilos (2C) en modo SOURCE.

Encender el drive, acceder al menú IO-, luego al parámetro tCC y elegir la opción 2C. Es necesario presionar por dos segundos la tecla ENT hasta que

el cambio se realice. Dentro del menú IO-, confirmar los valores de los siguientes parámetros:

- tCt con el valor "trn".
- rrS con el valor LI2. Este parámetro selecciona la entrada lógica que comanda la marcha en reversa.

A continuación, acceder al parámetro PSS del menú FUN-, tal como se muestra en la Fig. 10.125.



Figura 10.125: Acceso al submenú PSS-.

El submenú PSS- permite preseleccionar 2, 4, 8 ó 16 velocidades que necesitan 1, 2, 3 ó 4 entradas lógicas, respectivamente. Por ejemplo, para obtener 16 velocidades o combinaciones, se requieren 4 estados lógicos determinados por las entradas lógicas. En la Fig. 10.126, se muestran las combinaciones de las entradas lógicas para activar las distintas velocidades preseleccionadas. Si el estado lógico de los parámetros SP16, SP8, SP4 y SP2 es cero, la velocidad preseleccionada es determinada por la referencia indicada por la entrada analógica AI1, la cual está conectada al potenciómetro de precisión.

16 velocidades LI (PS16)	8 velocidades LI (PS8)	4 velocidades LI (PS4)	2 velocidades LI (PS2)	Referencia de vel.
0	0	0	0	Referencia ¹
0	0	0	1	SP2
0	0	1	0	SP3
0	0	1	1	SP4
0	1	0	0	SP5
0	1	0	1	SP6
0	1	1	0	SP7
0	1	1	1	SP8
1	0	0	0	SP9
1	0	0	1	SP10
1	0	1	0	SP11
1	0	1	1	SP12
1	1	0	0	SP13
1	1	0	1	SP14
1	1	1	0	SP15
1	1	1	1	SP16

Figura 10.126: Combinaciones de los parámetros PS16, PS8, PS4 y PS2 para activar las distintas velocidades preseleccionadas.

A continuación, es necesario configurar la entrada lógica que activa el parámetro PS2. Para ello, dentro del submenú PSS-, acceder al parámetro PS2 y elegir la opción LI3, tal como se muestra en la Fig. 10.127. Luego, es necesario configurar la entrada lógica que activa el parámetro PS4. Para ello, dentro del submenú PSS-, acceder al parámetro PS2 y elegir la opción LI4, tal como se muestra en la Fig. 10.128.



Figura 10.127: Configuración del parámetro PS2 con el valor LI3.



Figura 10.128: Configuración del parámetro PS4 con el valor LI4.

Para cambiar el estado lógico de PS2 o de PS4, se emplean las botoneras verdes conectadas a LI3 y LI4, respectivamente. Esto se muestra en la Fig. 10.124.

Dentro del submenú PSS-, configurar los parámetros PS8 y PS16 con el valor “no”. De esta forma, es posible tener 4 velocidades: aquella indicada por el potenciómetro, el valor indicado por SP2, por SP3 y por SP4. Por ende, es necesario configurar los valores de estas 3 velocidades.

En el submenú PSS-, configurar los parámetros siguientes:

- SP2: 40.
- SP3: 30.
- SP4: 20.

Girar completamente en sentido horario, el potenciómetro de precisión y proceder a arrancar el motor empleando el selector conectado a LI1. El estado inicial de los selectores es el que se muestra en la Fig. 10. 124.

En la Fig. 10.129 se muestra la variación de velocidad del eje del motor ilustrando el uso de las velocidades preseleccionadas. Para habilitar la velocidad correspondiente a 20Hz, es necesario presionar simultáneamente las botoneras verdes. El motor opera en vacío.

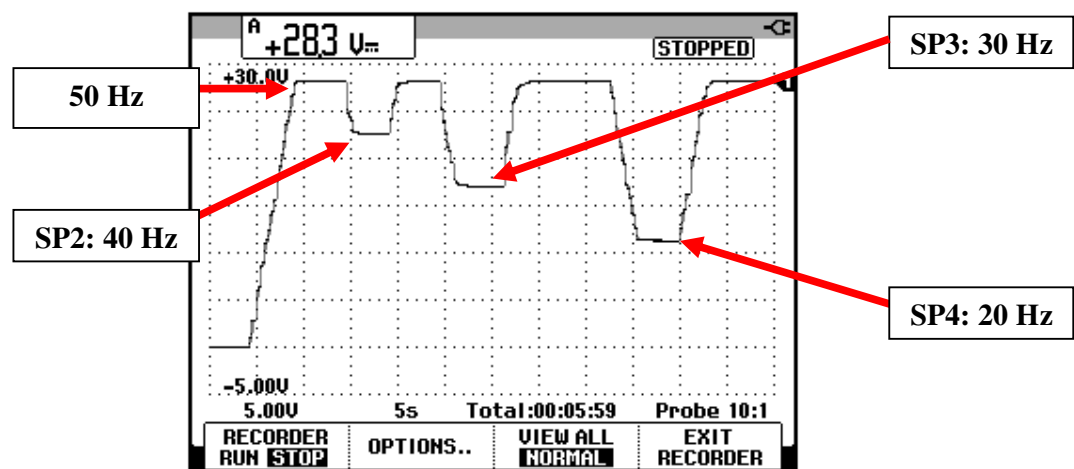


Figura 10.129: Variación de la velocidad del motor empleando velocidades preseleccionadas.

10.14. Cambio de velocidad empleando lógica de relés cableada.

En esta sección, se busca implementar la lógica mostrada en la Fig. 10.130 para realizar el cambio de velocidad en marcha y en reversa.

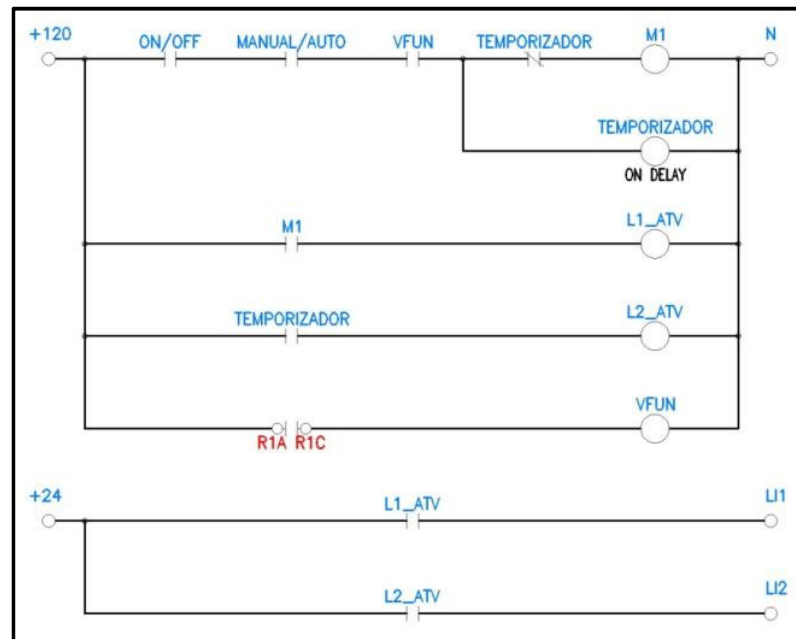


Figura 10.130: Lógica de relés para el cambio de velocidad en marcha y reversa.

En la Fig. 10.19 se muestra la ubicación de los contactos MANUAL/AUTO y ON/OFF mientras que en la Fig. 10.12 de las bobinas de los relés junto con sus contactos auxiliares, respectivamente.

La función del relé interno del drive Altivar, R1 es configurable en el parámetro r1 del menú IO-; su configuración de fábrica es FLt y es la que se emplea durante esta experimentación. Si ocurre alguna falla en el variador, el relé R1 se activa, conmutando el estado de sus contactos auxiliares. El contacto normalmente abierto de R1 se encuentra en las borneras R1A y R1C, mientras que el contacto normalmente cerrado de R1 se ubica en las borneras R1B y R1C. En la lógica de relés de la Fig. 10.130 se emplea el contacto normalmente abierto; cuando el variador no presenta fallo alguno, la bobina del relé VFUN se energiza. Para activar las bobinas de los relés

M1 y TEMPORIZADOR, es necesario que los selectores ON/OFF y MANUAL/AUTO se encuentren en la posición derecha. Al energizarse la bobina M1, uno de sus contactos auxiliares permite la energización de la bobina de L1ATV, la cual cierra su contacto auxiliar normalmente abierto y permite que la entrada lógica LI1 reciba 24V, lo cual arranca el motor con la velocidad establecida por el potenciómetro. Junto con la energización de M1, se energiza el relé TEMPORIZADOR, el cual energiza la bobina L2ATV luego de transcurrida la temporización. Al energizarse la bobina L2ATV, cierra su contacto auxiliar normalmente abierto permitiendo que la entrada lógica LI2 reciba 24V, causando que el motor gire en sentido contrario a una velocidad establecida por el potenciómetro.

Previo a la experimentación, realizar las conexiones mostradas en la Fig. 10.131. Observar que no se emplean las botoneras ni los selectores para el arranque del motor. Esta etapa debe ser realizada cuidadosamente y se requiere la supervisión de un ayudante académico. Confirmar las conexiones, en base a la Fig. 10.129.

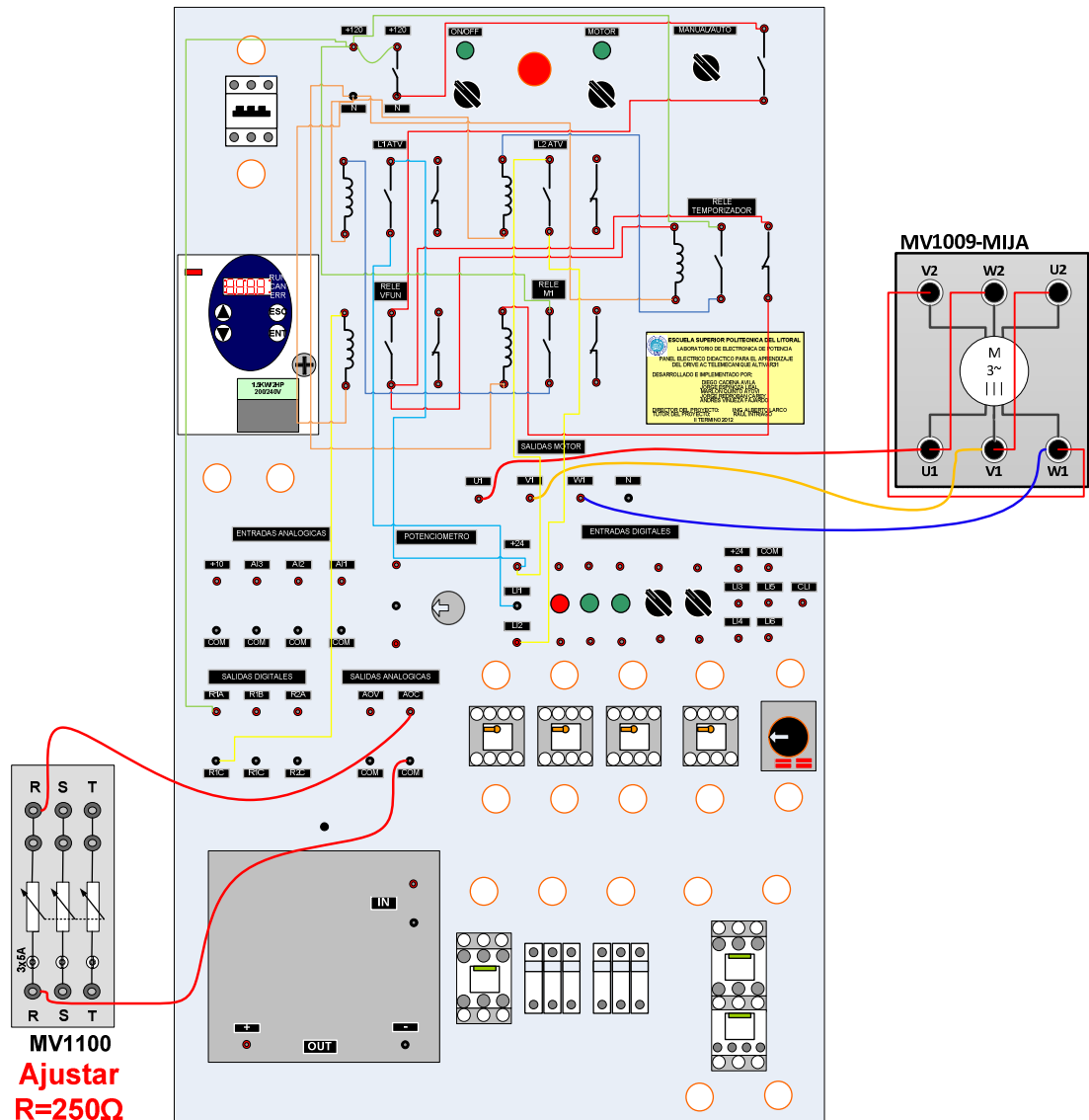


Figura 10.131: Implementación de la lógica de relés en el panel Altivar.

Ajustar la perilla de temporización del relé TEMPORIZADOR en 0.4 tal como se muestra en la Fig. 10.132; esta temporización equivale a 24 segundos.

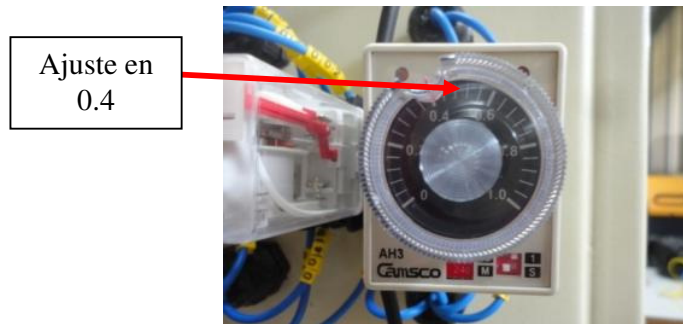


Figura 10.132: Ajuste de la perilla de temporización del relé Temporizador en 0.4.

Girar completamente y delicadamente en sentido horario el potenciómetro de precisión, de tal forma que la referencia de velocidad sea máxima.

Accionar el disyuntor, cambiar a la posición derecha, los selectores ON/OFF, MOTOR.

En la Fig. 10.133 se muestra el estado de los relés previo al accionamiento del selector MANUAL/AUTO. De izquierda a derecha: relé L1 ATV-, relé L2 ATV, relé VFUN, relé M1 y relé temporizador. Sólo la bobina de VFUN está energizada. En esta etapa, el motor está detenido.



Figura 10.133: Estado de los relés previo al accionamiento del selector MANUAL/AUTO.

En la Fig. 10.134 se muestra el estado de los relés luego del accionamiento del selector MANUAL/AUTO. Las bobinas de los relés L1ATV, VFUN, M1 y

TEMPORIZADOR están energizadas. Empieza la temporización del relé TEMPORIZADOR; esto se indica con la activación del led ON. En esta etapa el motor arranca.



Figura 10.134: Estado de los relés luego del accionamiento del selector MANUAL/AUTO.

En la Fig. 10.135 se muestra el estado de los relés luego de finalizada la temporización del relé TEMPORIZADOR. Las bobinas de los relés L2ATV, VFUN y TEMPORIZADOR están energizadas. Finaliza la temporización del relé TEMPORIZADOR; esto se indica con la activación del led UP. En esta etapa el sentido de giro del motor, cambia.



Figura 10.135: Estado de los relés luego de finalizada la temporización del relé TEMPORIZADOR.

En la Fig. 10.136 se muestra la variación de la velocidad. Para reiniciar el proceso, cambiar la posición del selector MANUAL/AUTO, a la posición izquierda y luego a la posición derecha. El motor permanece 15 segundos girando en una dirección. La temporización, no es precisa, dado que la escala del relé temporizador no es precisa; esto se comprueba ajustando la perilla de temporización en su máxima posición. La forma de lograr la temporización precisa se realiza mediante prueba y error.

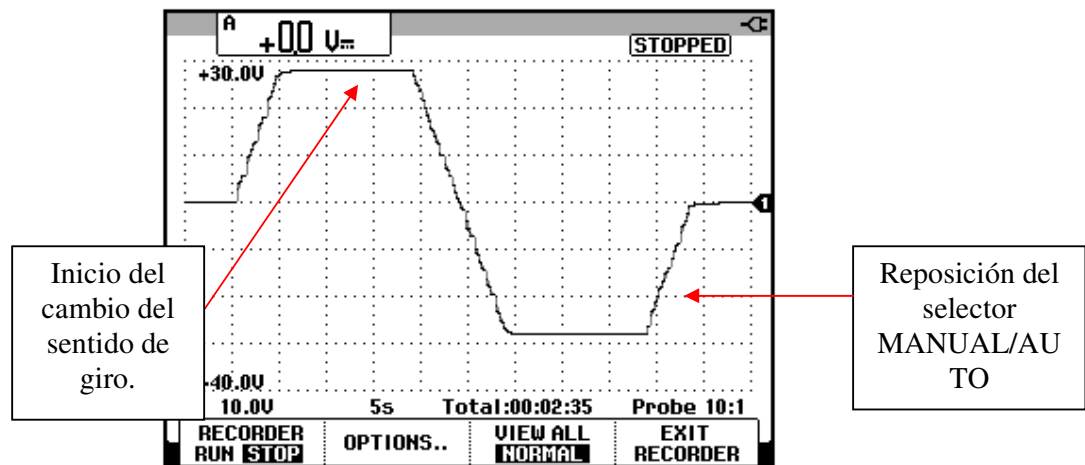


Figura 10.136: Arranque, cambio de giro y detención del motor empleando la lógica de relés.

10.15. Empleo del variador en lazo cerrado para el control del voltaje de un generador DC auto-excitado acoplado a un motor de inducción.

En esta sección se busca emplear el variador Altivar 31 en lazo cerrado. La variable a controlar es el voltaje generado por un generador DC auto-excitado. Al variar la carga eléctrica del generador DC, su voltaje generado varía de forma inversa; es decir, que si aumenta la corriente de armadura, el voltaje terminal del generador disminuye. El voltaje generado depende de la

velocidad del primo-motor y de su flujo de campo, pero se determinó experimentalmente que depende principalmente de la velocidad. El motor de inducción MV1009 actúa como primo-motor; su velocidad es controlada a través del drive Altivar 31. Empleando una entrada analógica del drive, se detecta la disminución del voltaje generado y el drive busca aumentar la velocidad del generador hasta llegar a la referencia impuesta por el potenciómetro de precisión. La tarjeta electrónica del panel Altivar realiza el aislamiento entre la referencia del drive (bornera COM) y la referencia de la señal de voltaje generado ubicada en una terminal del generador DC.

Acoplar la máquina MV1006 con el motor de inducción MV10010. Confirmar que el disyuntor se encuentre repuesto. Realizar la implementación del modo de control de dos hilos (2C), tal como se muestra en la Fig. 10.137. Tomar en consideración la posición de los selectores.

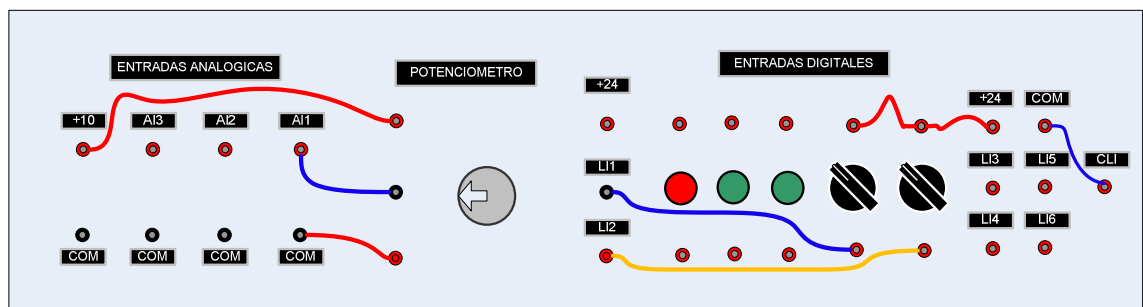


Figura 10.137: Implementación del modo de control de dos hilos (2C) para el control en lazo cerrado del voltaje de un generador DC.

Girar completamente y de forma delicada en sentido horario, el potenciómetro de precisión. Accionar los selectores ON/OFF y MOTOR. Arrancar el motor empleando el selector conectado a LI1. Empleando el

multímetro Fluke 87V, se busca determinar la terminal de armadura del generador que tiene polaridad positiva de acuerdo al sentido de giro del eje del motor; en nuestro caso es la terminal A2. Esto se muestra en la Fig. 10.138. Al activar la selectora conectada a LI2, el motor gira en sentido contrario y la terminal A2 tiene polaridad negativa tal como se muestra en la Fig. 10.139.

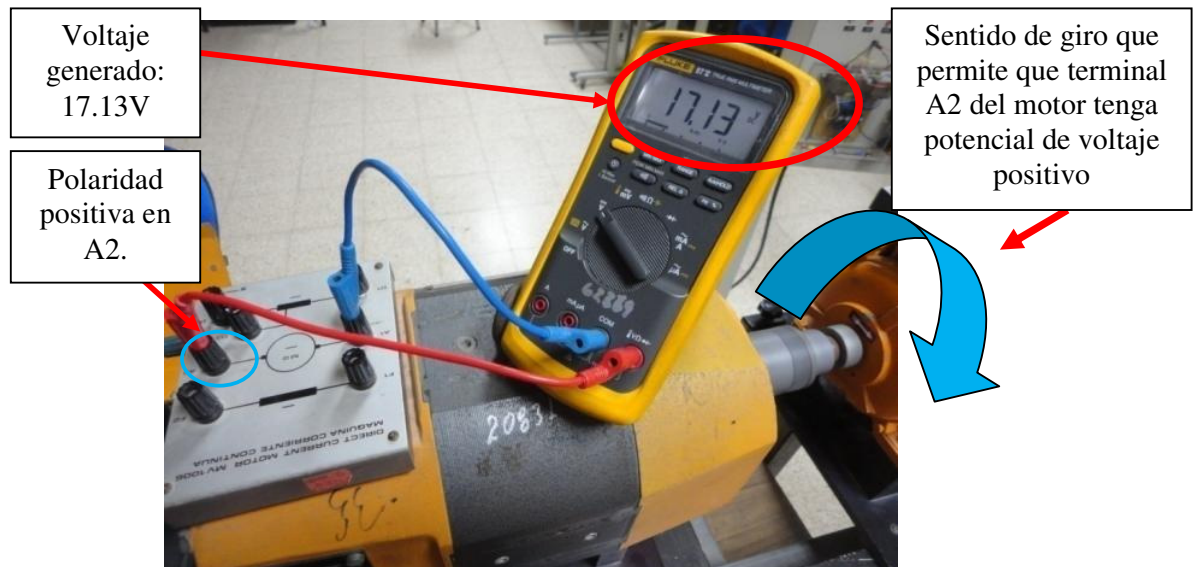


Figura 10.138: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje positivo en la terminal A2 del generador operando en marcha.

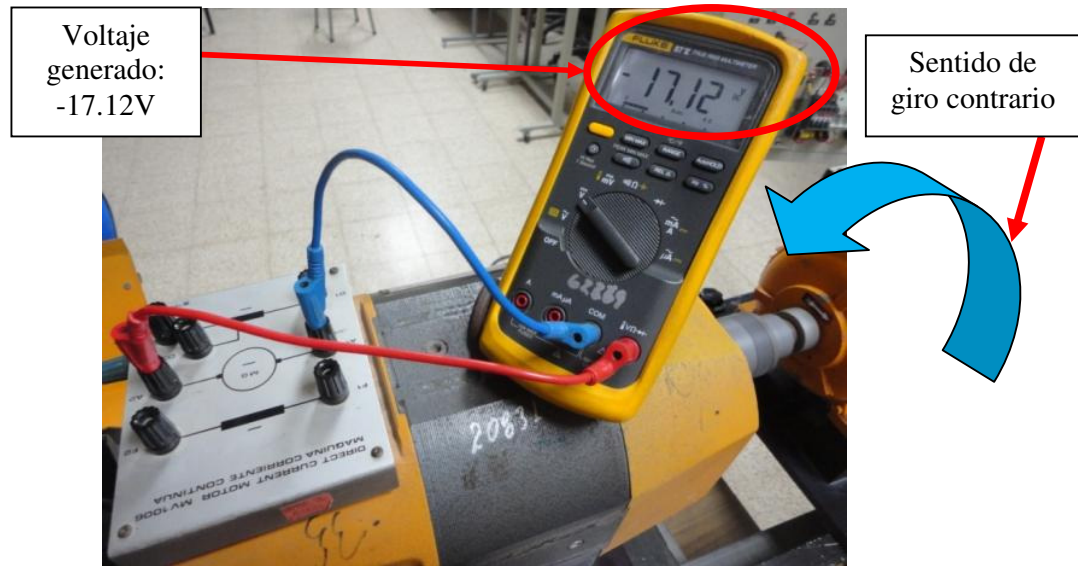


Figura 10.139: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje negativo en la terminal A2 del generador operando en reversa.

La amplitud del voltaje generado es baja incluso con el motor operando a su velocidad nominal; esto se debe a que no existe flujo de campo principal. En el capítulo 3 se mostraron los fundamentos de los motores DC junto con el circuito equivalente del motor DC. Al estar desconectadas las terminales de armadura, el voltaje terminal entre A1 y A2 es igual a la fuerza contraelectromotriz, es decir que $V_T = E_A$, donde $E_A = k\Phi\omega$. Se observa entonces que debe existir flujo de campo para que se genere voltaje entre A1 y A2; este flujo de campo es conocido como flujo de campo residual, el cual es mucho menor que el flujo principal y por esta razón el voltaje generado que se muestra en las Figs. 10.138 y 10.139, es relativamente bajo. Es posible emplear la fuente de voltaje MV1300 para entregar voltaje DC a las terminales de campo, F1 y F2, y producir un flujo principal, pero para esta experimentación es redundante entregar energía eléctrica a un generador de

energía eléctrica, entonces la alternativa que resta es que el generador produzca su propio flujo de campo principal. Para ello, es posible de que el flujo de campo aumente a partir del flujo residual; este tipo de generador se conoce como generador auto-excitado ya que produce su propio flujo de campo.

En el generador auto-excitado es necesario conectar las terminales de armadura a las terminales de campo, de tal forma que al girar el eje del motor empieza a circular corriente por los circuitos de campo y de armadura. Al circular la corriente de armadura por el circuito de campo se produce el aumento del flujo principal; dependiendo de la conexión inicial entre el circuito de campo y el circuito de armadura, la dirección del flujo principal está a favor ó está en contra del flujo residual. En el primer caso, el flujo remanente aumenta mientras que en el segundo caso, el flujo remanente se reduce; la consecuencia de la primera situación es que el voltaje terminal entre A1 y A2 aumenta mientras que en la segunda situación, el voltaje terminal entre A1 y A2 es menor que aquel mostrado en las Figs. 10.138 y 10.139. A continuación, conectar de forma directa, las terminales de la máquina MV1006. Esto se muestra en la Fig. 10.140.

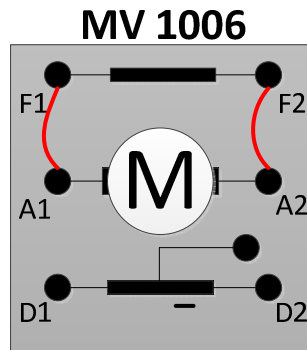


Figura 10.140: Conexión directa entre las terminales de armadura de la máquina MV1006.

Arrancar el motor empleando el selector conectado a LI1 y fijar su referencia de frecuencia en 50Hz. En la Fig. 10.141, se muestra la variación de la velocidad y del voltaje generado durante el arranque y posterior estabilización; la referencia positiva de la punta de prueba de voltaje es A2. Se observa que el voltaje generado es de 186V. Para comprobar lo manifestado anteriormente, proceder a conectar las terminales de la máquina MV1006 de forma cruzada tal como se muestra en la Fig. 10.142 y arrancarlo empleando el selector conectado a LI1.

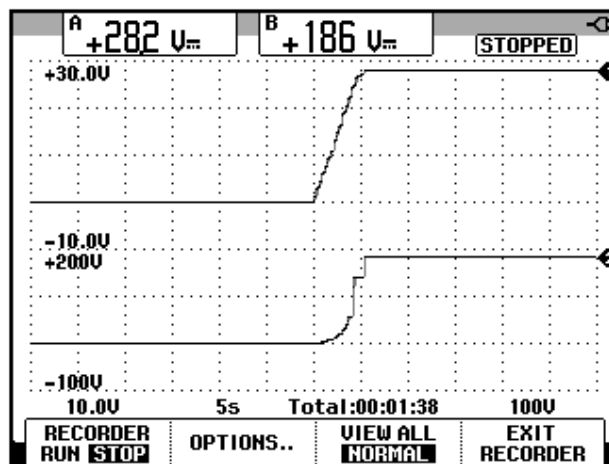


Figura 10.141: Variación de la velocidad y del voltaje generado empleando la conexión directa entre las terminales de la máquina MV1006.

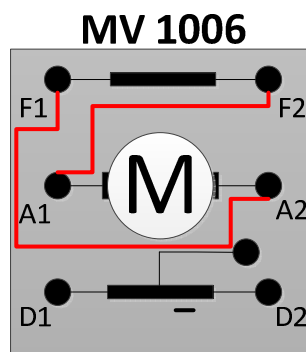


Figura 10.142: Conexión cruzada entre las terminales de armadura del motor MV1006.

En la Fig. 10.143, se muestra la variación de la velocidad y del voltaje generado durante el arranque y posterior estabilización; la referencia positiva de la punta de prueba de voltaje es A2. Se observa que el voltaje generado es cercano a 6V, lo cual es mucho menor al voltaje generado sin la conexión entre el circuito de campo y armadura.

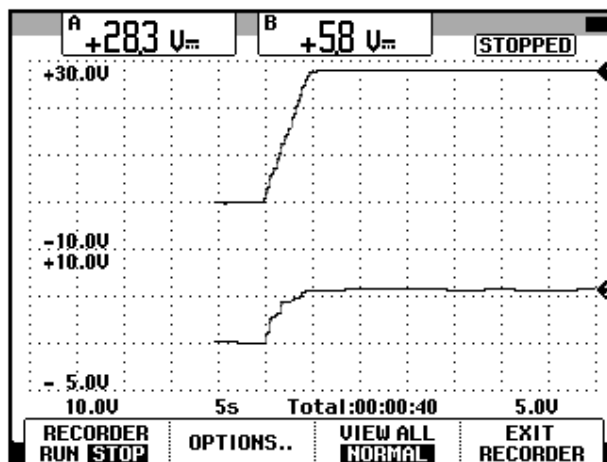


Figura 10.143: Variación de la velocidad y del voltaje generado empleando la conexión cruzada entre las terminales de la máquina MV1006.

Se comprueba que la conexión mostrada en la Fig. 10.140, es la conexión de la máquina MV1006 requerida para el control del voltaje generado en lazo cerrado. En la Fig. 10.138 se ha determinado el sentido de giro necesario del motor para poder obtener voltaje generado cercano al nominal de la máquina MV1006, es decir, 220V.

Dependiendo de la máquina MV1006 empleada para la práctica, es posible que la conexión que permite que el voltaje generado sea máximo, sea la conexión indirecta de las terminales. Esto es debido a que el flujo residual en otra máquina MV1006 pueda tener dirección contraria a la de la máquina MV1006 con la que se realiza este documento. El código de inventario de la máquina MV1006 empleada es 20831-3. En caso de que la máquina MV1006 no genere voltaje DC tal como se muestra en las Figs. 10.138 y 10.139, prescindir de cualquier conexión en la caja de borneras de esta

máquina y empleando la fuente MV1300, aplicar un voltaje DC en el circuito de campo; de esta forma se crea un flujo principal. Debido a que la curva de magnetización del hierro de la máquina presenta histéresis, en el momento que se desconecta la fuente DC, el flujo principal no se anula sino que permanece con un valor reducido, el cual corresponde al flujo remanente, es decir, que la máquina MV1006 empleada dispone en ese instante, de flujo remanente.

En la Tabla 10.7 se muestra la variación del voltaje generado y de la velocidad del motor para diferentes ajustes de frecuencia. Para la obtención de esta tabla, es necesario configurar el parámetro HSP del menú SEt- en 55. En la Fig. 10.144, se muestra la variación del voltaje generado para los diferentes valores de velocidad.

Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)	Voltaje generado (V)
5	152	1.95
10	301	4.29
15	450	7.40
20	597	11.69
25	746	21.05
30	894	81.4
35	1042	1010.7
40	1191	135.8
45	1139	160
50	1488	184.6
55	1635	208.2

Tabla 10.7: Voltaje generado y velocidad para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 55Hz para la máquina MV1006 operando como generador auto-excitado en vacío.

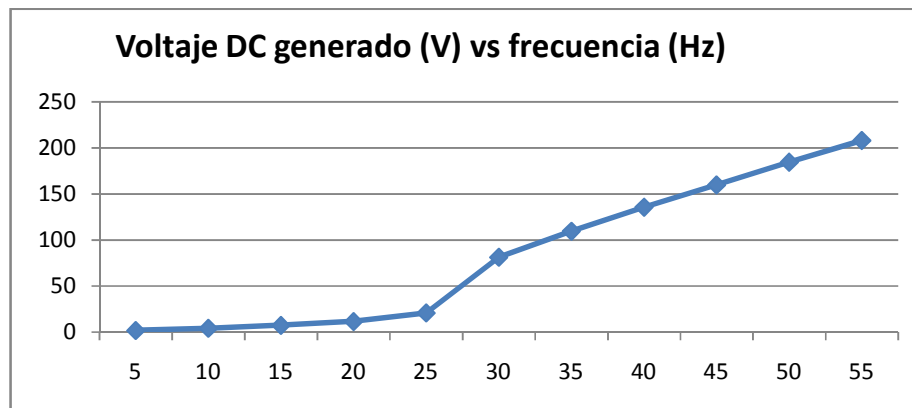


Figura 10.144: Voltaje generado para el rango de frecuencias comprendido entre 0Hz y 55Hz para la máquina MV1006 operando como generador auto-excitado en vacío.

Realizar las conexiones entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1962 tal como se muestra en la Fig. 10.145. Arrancar el motor empleando el selector conectado a LI1 y fijar la frecuencia de operación del drive en su valor máximo, es decir, 50Hz; a continuación, regular un divisor de tensión empleando el multímetro Fluke 87V, de tal forma que se disponga de aproximadamente 10.5V entre la terminal central del reóstato y la terminal derecha del mismo. En la Fig. 10.146, se muestra la medición del divisor de tensión.

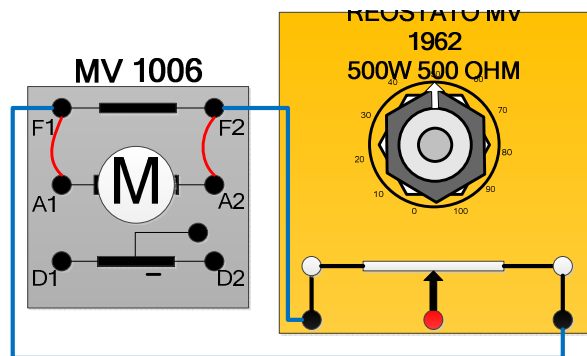


Figura 10.145: Conexión entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1962.

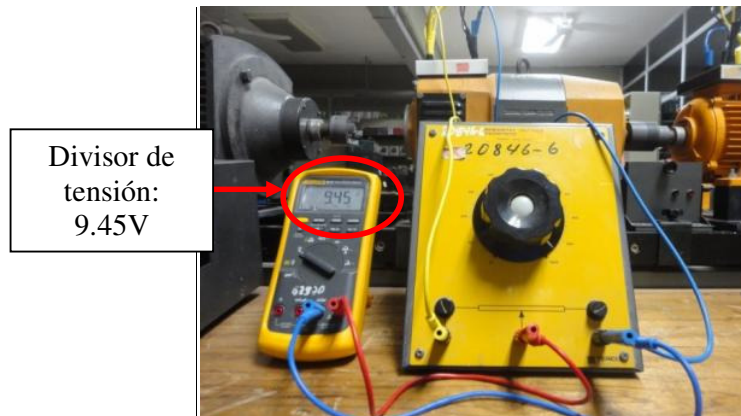


Figura 10.146: Divisor de tensión empleando el reóstato MV1962.

De esta forma se han identificado las terminales del reóstato MV1962 que deben ser conectadas a la tarjeta electrónica del panel Altivar; la terminal derecha corresponde a la referencia de voltaje.

Detener el motor y realizar la conexión mostrada en la Fig. 10.147. Realizar esta conexión verificando la referencia de voltaje del reóstato y de la tarjeta electrónica.

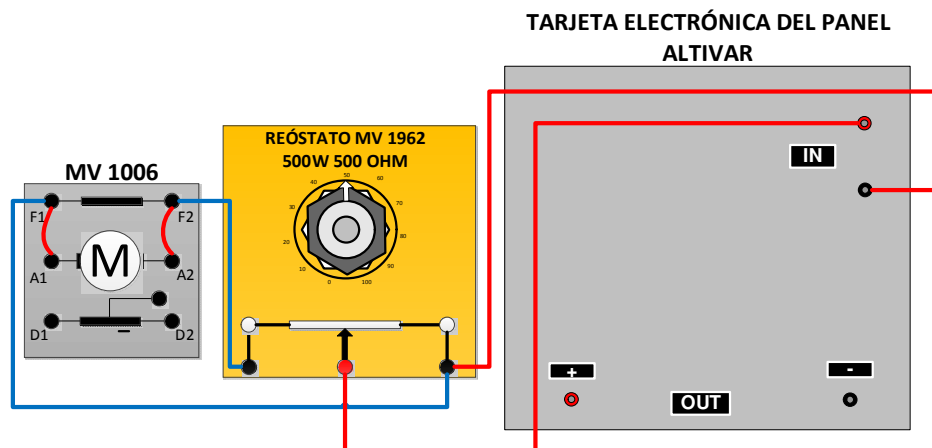


Figura 10.147: Conexiones entre la máquina MV1006, el reóstato MV1962 y la tarjeta electrónica del panel Altivar.

Arrancar el motor y fijar la máxima frecuencia de salida. Luego, empleando el multímetro Fluke 87V, medir el voltaje DC en las terminales de salida de la tarjeta electrónica del panel Altivar. Verificar que el voltaje en las terminales de entrada sea cercano al voltaje en las terminales de salida. En caso afirmativo, se verifica que la tarjeta electrónica del panel Altivar funciona correctamente. En la Fig. 10.148, se muestra que el voltaje de entrada es de 9.55V mientras que el voltaje de salida es de 9.50V. En la tabla 10.8, se muestra el voltaje de salida para diferentes valores del voltaje de entrada a la tarjeta electrónica del panel.

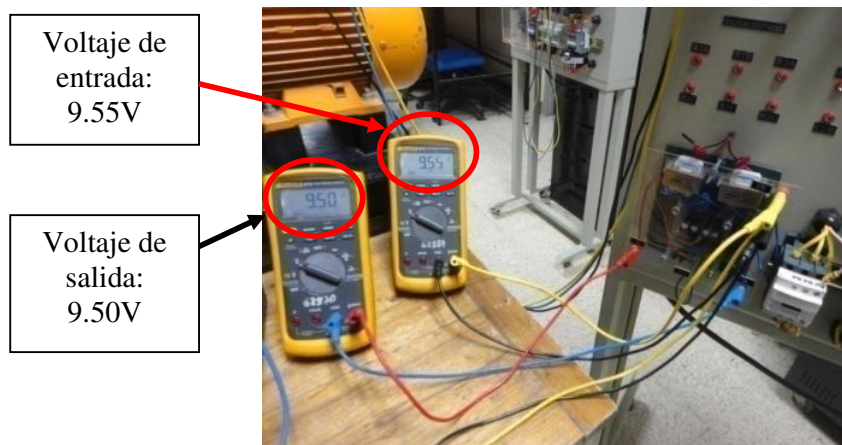


Figura 10.148: Voltaje de entrada y voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar.

Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)
0.507	-0.075
0.991	0.47
1.503	1.044
1.994	1.544
2.486	2.049
3.005	2.579
3.496	3.090
4.000	3.604
4.507	4.128
5.017	4.652
5.497	5.150
6.017	5.698
6.497	6.203
7.01	6.750
7.50	7.270
7.99	7.800
8.50	8.34
10.020	8.910
10.480	10.420
10.03	10.02

Tabla 10.8: Comparación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar.

En la Fig. 10.149 se muestra la relación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel. Se observa una relación lineal. Previo a la configuración del drive, se muestra en la Fig. 10.150, un cuadro sinóptico de la función PI del drive Altivar 31 [8].

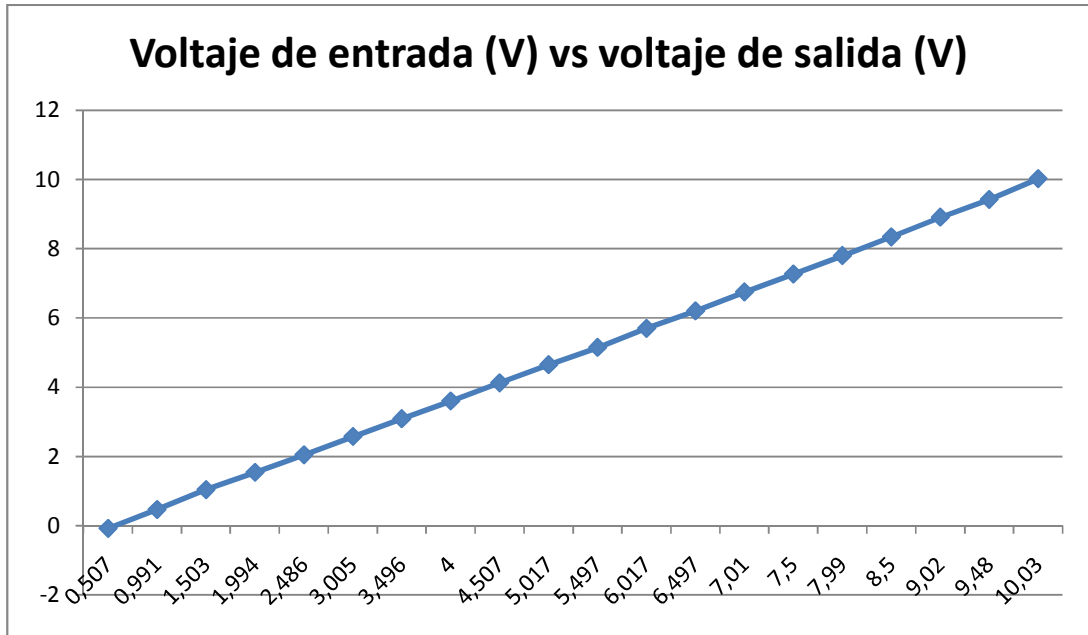


Figura 10.149: Voltaje de entrada vs voltaje de salida de la tarjeta electrónica.

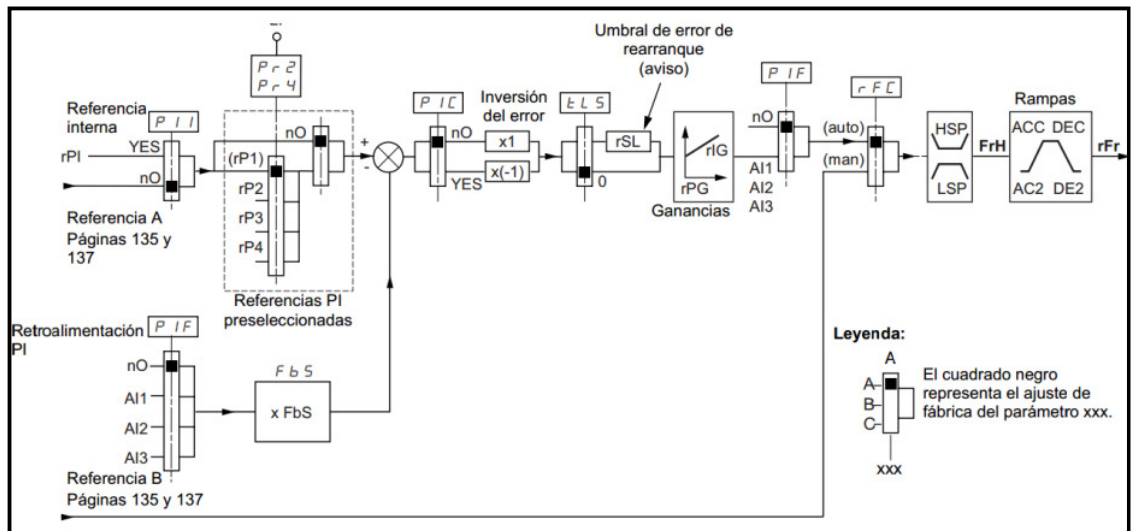


Figura 10.150: Sinóptico de la función PI del drive Altivar 31.

A continuación, se listan los pasos necesarios para configurar al drive Altivar 31.

- El motor debe girar en un solo sentido, por lo que el funcionamiento con el sentido de giro mostrado en la Fig. 10.139 está descartado. Para ello, fijar el parámetro rrS del menú IO- en “no” y adicionalmente, mantener el modo de control en dos hilos, es decir que el parámetro tCC del menú IO-, sea 2C.
- Se debe establecer una velocidad mínima y máxima de rotación. Para ello, dentro del menú SEt-, el parámetro HSP ajustarlo en 50Hz. La mínima velocidad de rotación se fija en 0Hz, por lo que el parámetro LSP del menú SEt-, ajustarlo en 0.

Es posible emplear una entrada digital que seleccione el funcionamiento del variador en lazo cerrado o lazo abierto. El funcionamiento en lazo cerrado fue previamente descrito. El funcionamiento en lazo abierto consiste en fijar un voltaje DC determinado en base a la referencia de frecuencia impuesta por el potenciómetro de precisión. Ante cambios en la carga eléctrica del generador, el drive no controla el voltaje DC generado. El funcionamiento en lazo cerrado, el manual del fabricante lo denomina “automático”, mientras que el funcionamiento en lazo abierto, se lo denomina “manual”. La configuración se muestra a continuación:

- Acceder al menú CtL- y configurar el parámetro rFC, relacionado a la conmutación de consigna; asignarle la entrada digital LI2. El selector conectado a LI2 permite alternar entre automático o manual. Si el estado lógico de LI2 es alto, el drive funciona manualmente, caso contrario, el variador opera de forma automática.

Al parámetro Fr1 del menú CtL-, asignarle la entrada analógica AI1. Esta entrada analógica es la referencia de voltaje generado cuando el variador opera automáticamente.

Al parámetro Fr2 del menú CtL-, asignarle también la entrada analógica AI1. Cuando el drive opera de forma manual, la entrada analógica AI1 es la referencia de frecuencia del motor MV10010.

- Para poder activar la función PI, es necesario descartar las funciones de velocidades preseleccionadas, para ello acceder al menú FUN-, luego al submenú PSS y finalmente a los parámetros PS4 y PS2 para asignarles “no”.
- De forma similar, la función de entradas sumatorias deben ser descartadas previo a la activación de la función PI, por lo que es necesario verificar que dentro del submenú SAI perteneciente al menú FUN-, los parámetros SA2 y SA3 tengan el valor de “no”.
- Para activar la función PI, basta con asignar la entrada analógica a la cual se conectará la variable a controlar, es decir el voltaje generado. Dentro del menú FUN-, acceder al submenú PI- y al parámetro PIF asignarle AI2; PIF se denomina “retorno del regulador PI”.
- El parámetro PIC determina el sentido de corrección; tiene dos posibles valores: “YES” y “nO”. La opción “nO” permite que el motor MV1009 aumente su velocidad en caso de que el error sea positivo; el error es la diferencia entre el voltaje de referencia en AI1 y el voltaje de realimentación en AI2. La opción YES permite que el motor MV1009 disminuya su velocidad en caso de que el error sea positivo.

En la experimentación propuesta, si el voltaje generado es menor que la referencia, el motor MV1009 debe aumentar su velocidad para incrementar el voltaje terminal del generador, por lo que el parámetro PIC se configura en "nO", es decir su ajuste de fábrica. Este parámetro se encuentra en el submenú PI- del menú FUN-.

- El funcionamiento del drive a bajas frecuencias reduce la capacidad de auto-ventilación del motor generando calentamiento de sus bobinas, por lo que es necesario fijar un límite de tiempo en el que el motor opera a mínima velocidad (LSP). Para ello, ajustar el parámetro tLS del menú SEt- en 20 segundos.

Realizar las conexiones mostradas en la Fig. 10.151. La carga eléctrica del generador consiste en la conexión en paralelo de los tres resistores del banco resistivo MV1100. Ajustar el volante de ajuste de resistencia del banco, de tal forma que la resistencia de un resistor sea de 280Ω . De esta forma, en el arranque del generador, la resistencia resultante del paralelo de las tres, es menor. Durante las pruebas siguientes se procede a aumentar la carga eléctrica, es decir la corriente que puede circular por la armadura de la máquina MV1006. La corriente máxima de la armadura de la máquina en mención es de 6A. Verificar que los tres resistores del banco MV1100 posean un fusible de 5A.

Cabe recalcar que en las terminales A2 y A1, sólo se debe conectar un cable en cada terminal, las derivaciones hacia el circuito de campo, reóstato y la carga eléctrica son conectadas a F2 y F1. Esto permite medir la corriente de armadura empleando la punta de prueba de corriente Fluke 80i-

110s a través del cable que conecta A2 y F2 o el cable que conecta A1 y F1.

Las conexiones se observan en la Fig. 10.150.

Confirmar que el interruptor trifásico MV1500 esté abierto, es decir, en la selección cero.

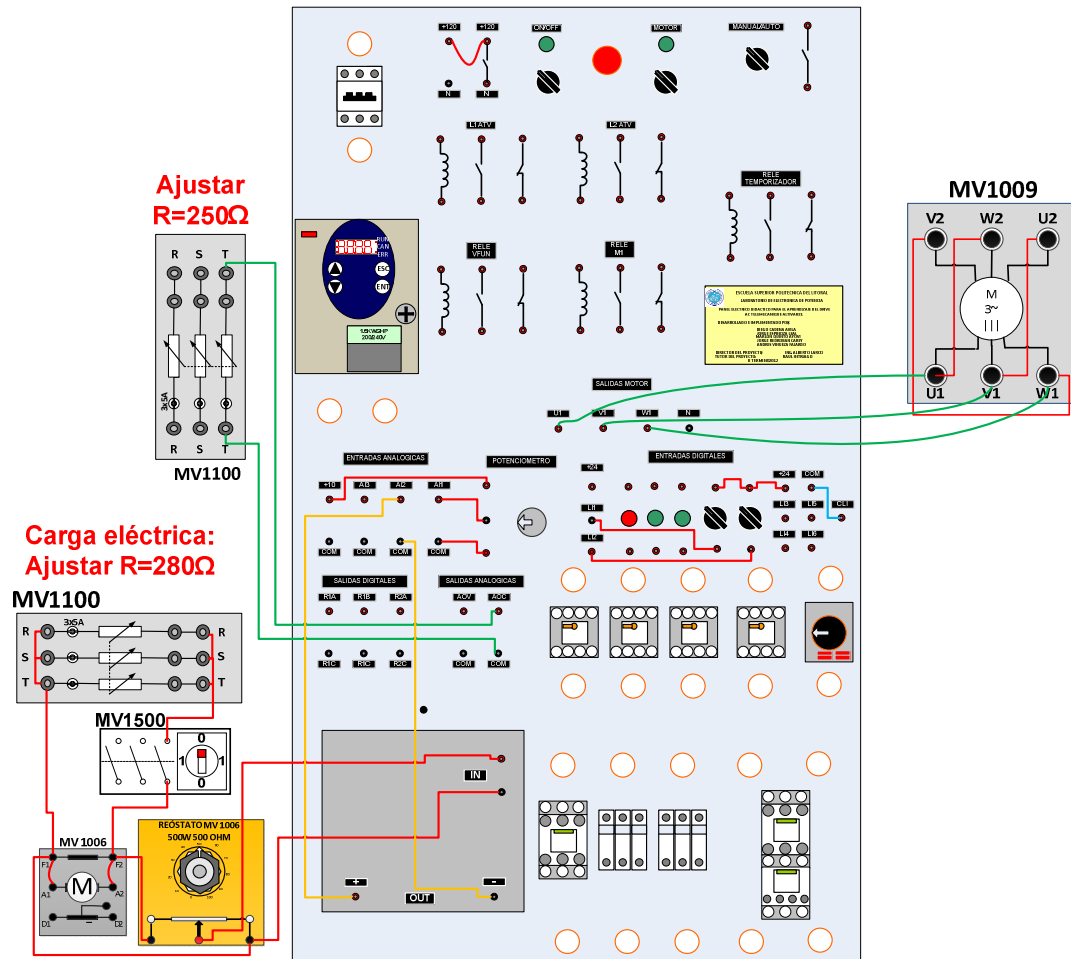


Figura 10.151: Conexiones para la prueba de lazo cerrado para el control de voltaje generado en el generador auto-excitado empleando el drive Altivar 31.

Ajustar el selector conectado a LI2 en la posición derecha para comprobar la operación del motor en modo manual, es decir lazo abierto, y luego arrancar

el motor empleando el selector conectado a LI1; confirmar que la velocidad del motor varía con el ajuste del potenciómetro de precisión. Detener el motor empleando el selector conectado a LI1. Girar el potenciómetro completamente en sentido anti-horario.

En las pruebas siguientes, revisar el estado térmico del motor y del variador empleando Power Suite. Continuar con los siguientes pasos:

- Reajustar el selector conectado a LI2, en la posición izquierda para operar el motor en modo automático, el cual corresponde al lazo cerrado. Arrancar el motor ajustando el selector conectado a LI1, en la posición derecha. La interfaz del drive debe indicar 0.0.
- Emplear el potenciómetro de precisión para aumentar el voltaje generado entre las terminales A2 y A1 de la máquina MV1006, hasta que este sea de 120Vdc. La frecuencia de operación del drive es aproximadamente 38Hz. Calibrar la punta de corriente Fluke. Bajo estas condiciones, la corriente de armadura del generador es de 0.48A. Se ha encontrado la posición del potenciómetro de referencia para la cual, el voltaje generado en vacío es de 120Vdc. Detener el motor empleando el selector conectado a LI1.
- Arrancar el motor. En la Fig. 10.152 se muestra la variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador. En la Fig. 10.153, se muestra la variación de la velocidad del motor y del torque del motor. Se observa que durante el arranque, existe sobre-nivel u sobre-nivel de la velocidad.

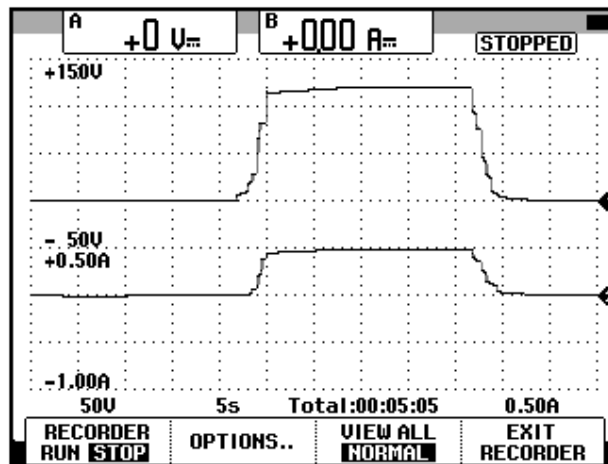


Figura 10.152: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, el cual opera en vacío.

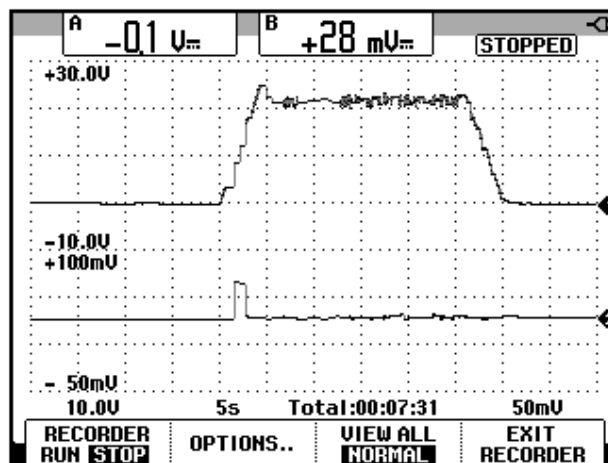


Figura 10.153: Variación de la velocidad y del torque de armadura del motor MV1009, con el generador MV1006 operando en vacío.

Continuar con los siguientes pasos:

- Arrancar el motor MV1009 y activar el interruptor MV1500. Inicialmente, el valor de la resistencia de un resistor del banco es de

280 Ω . La corriente de armadura aumenta hasta 1.77A, La frecuencia de operación aumenta a 310.2Hz por lo que la velocidad aumenta. El voltaje permanece constante. El torque del motor aumenta. En la Fig. 10.154, se muestra la variación del voltaje generado y corriente de armadura del generador durante la activación del interruptor MV1500. En la Fig. 10.155, se muestra la variación de la velocidad y del torque del motor.

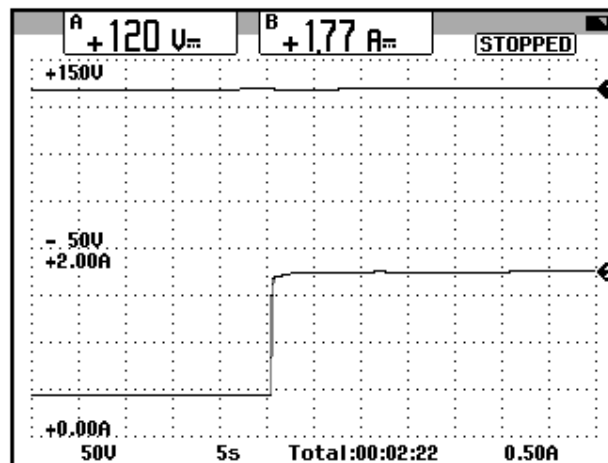


Figura 10.154: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al activar el interruptor MV1500.

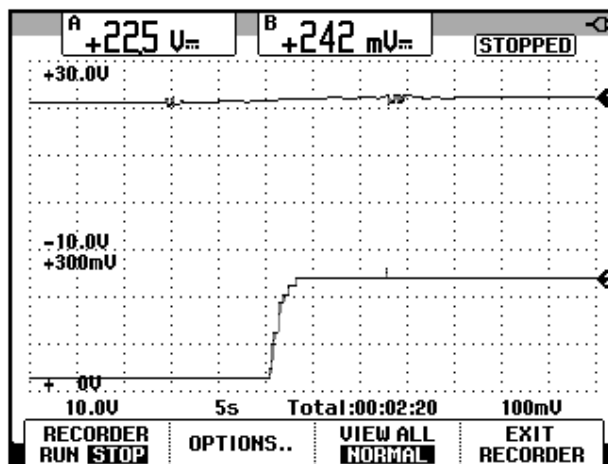


Figura 10.155: Variación de la velocidad y del torque del motor MV1009, luego de activar el interruptor MV1500.

- Reemplazar la adquisición de torque del motor por la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor MV1009. Aumentar la corriente de armadura del generador mediante la reducción de la resistencia de los resistores del banco MV1100 hasta que la corriente de armadura del generador sea de 5A. Realizar el aumento en pasos de 1A. Esto se muestra en la tabla 10.9.

Voltaje DC generado (V)	Corriente DC de la armadura del generador (A)	Corriente RMS del motor MV1009 (A)	Velocidad del eje del motor o generador (rpm)	Frecuencia de operación del drive Altivar 31
120	1.77	3.88	1166	310.2
120	3	4.16	1216	41.0
120	4	4.42	1258	42.5
120	5	4.58	1314	44.6

Tabla 10.9: Variación del voltaje generado, corriente de armadura del generador, corriente RMS del motor MV1009, velocidad en el eje y frecuencia de operación del drive Altivar 31.

En la Tabla 10.9, se observa que el voltaje generado permanece constante, mientras que el drive aumenta la frecuencia de operación para lograr esto.

- El siguiente paso es importante: se procede a retirar la carga eléctrica y se observa la variación de las señales adquiridas. Para ello, desactivar el interruptor MV1500. En la Fig. 10.156, se muestra la variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador.

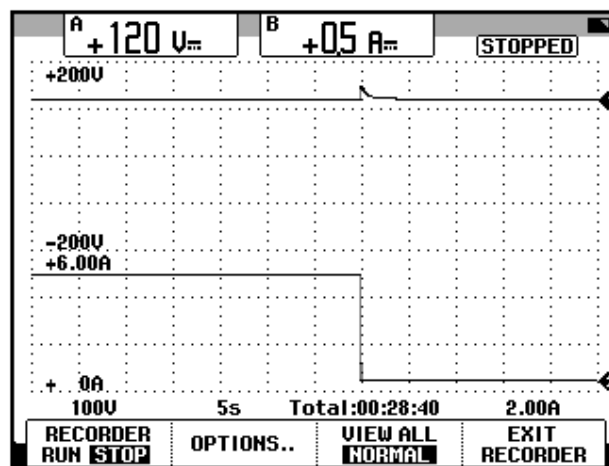


Figura 10.156: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al retirar la carga eléctrica del generador.

En la Fig. 10.157, se muestra la variación de la velocidad y de la corriente RMS del motor MV10010.

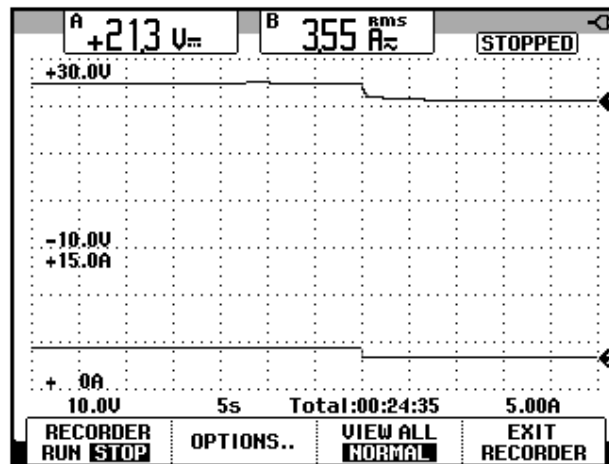


Figura 10.157: Variación de la velocidad y de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009, al retirar la carga eléctrica del generador.

Se observa que el voltaje generado y la velocidad, se estabilizan en un tiempo mayor que la corriente de armadura del generador y que la corriente de línea del motor MV10010. Esto se debe a que los transitorios eléctricos duran mucho menos que los transitorios mecánicos. El voltaje de armadura del generador es una variable que depende considerablemente de la velocidad del motor; por ello, la duración de su estabilización depende en gran porcentaje de la duración de la estabilización de la velocidad, la cual es una variable mecánica.

Finalmente, detener el motor y des-energizar el panel eléctrico Altivar. Al iniciar una práctica, es necesario, ajustar en el drive, los parámetros de fábrica, lo cual se realiza en la sección 10.2.

CAPÍTULO 11

CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN CON ACCIONAMIENTOS BÁSICOS DE VELOCIDAD VARIABLE.

El presente capítulo tiene como fin mostrar la parametrización básica y avanzada de un variador de frecuencia. Se realiza el análisis de armónicos de la corriente de entrada empleando el analizador de energía Fluke 434. Se analizan dos métodos de control de flujo y la variación del voltaje línea-línea RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento en un rango de frecuencias de 5Hz a 50Hz. Se implementa el control de torque y se observa la regulación de velocidad empleando los dos métodos de control de flujo. Se emplea la lógica de control inteligente (SLC) del drive.

11.1. Introducción y presentación del panel eléctrico Danfoss.

Los equipos necesarios para la práctica son:

- Panel eléctrico Danfoss

- Motor AC MV1009
- Osciloscopio FLUKE 192B ó 192C
- Analizador de energia Fluke 434
- Maquina DC MV1006
- Multímetro FLUKE 87V
- Tacómetro AMPROBE TACH20
- Tacogenerador DC MV1024
- Freno MV1045
- Banco resistivo MV1100
- Reóstato MV1962
- Interruptor MV1500
- Cable USB.
- Cables de tipo banana

En la Fig. 11.1 se muestra una imagen de los dos paneles eléctricos Danfoss del Laboratorio de Electrónica de Potencia. En la Fig. 11.2 se muestra la parte posterior de los paneles eléctricos Danfoss. En la Fig. 11.3, se muestra una vista del panel frontal del panel eléctrico Danfoss.

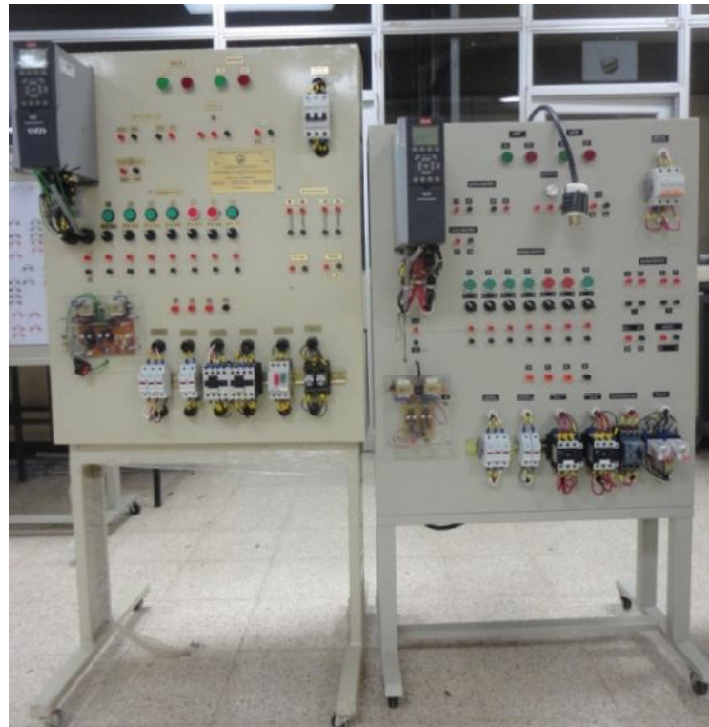


Figura 11.1: Paneles eléctricos Danfoss: original (izquierda) y réplica (derecha).



Figura 11.2: Vista posterior de los paneles eléctricos Danfoss: réplica (izquierda) y original (derecha).

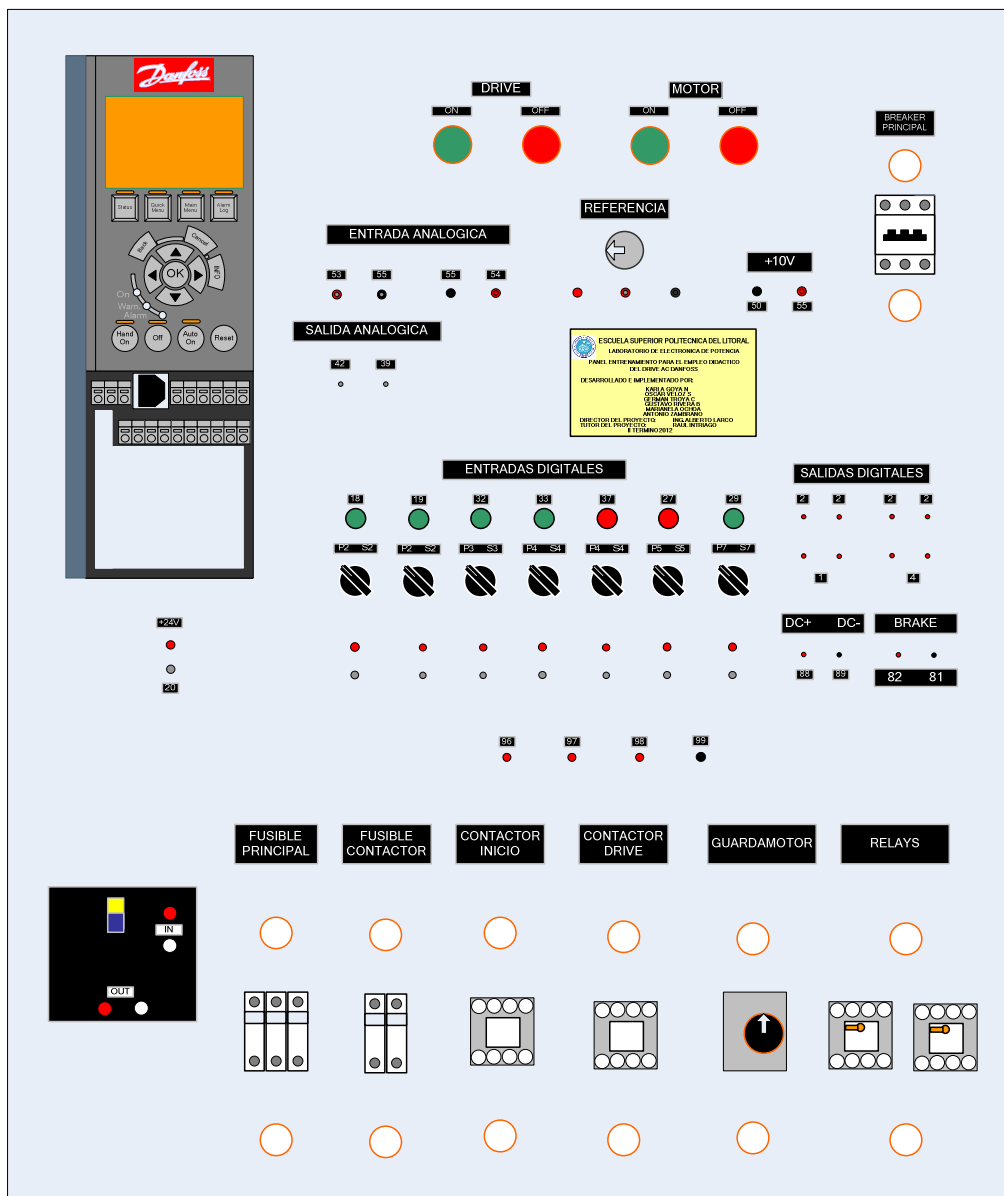


Figura 11.3: Vista frontal del panel eléctrico Danfoss.

A continuación, se muestran las partes constitutivas del panel eléctrico Altivar. En la Fig. 11.4, se muestra el disyuntor de 40A. Imagen tomada del panel original. En la Fig. 11.5, se muestran de izquierda a derecha: los porta-fusibles principales cuyos fusibles son de acción rápida de 20A, similares a los que se encuentran en el panel Altistart y Altivar, dos porta-

fusibles para los fusibles con retardo de tiempo de 20A, tres porta-fusibles para los fusibles con retardo de tiempo para los contactores, los contactores INICIO y DRIVE de 32A cada uno, el relé térmico regulable de 7A a 10A, cuyo ajuste corresponde a 7A y dos relés auxiliares. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 11.6, se muestra la información técnica de los contactores INICIO y DRIVE; en ella se indica la corriente máxima de operación en categoría AC3. Imagen tomada del panel réplica.

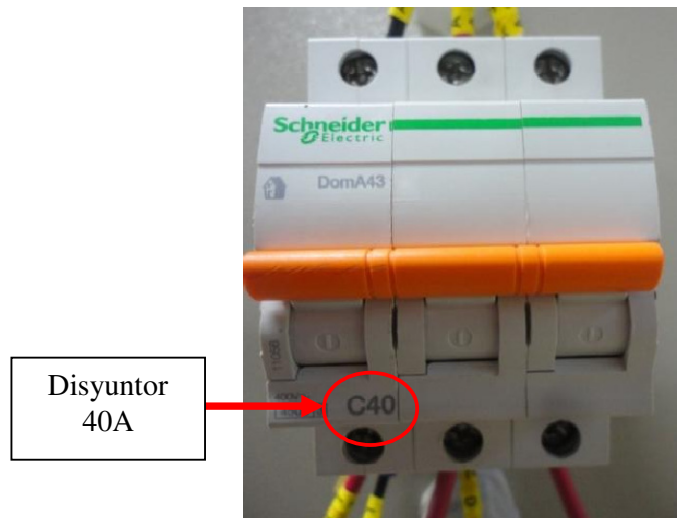


Figura 11.4: Disyuntor de 40A.

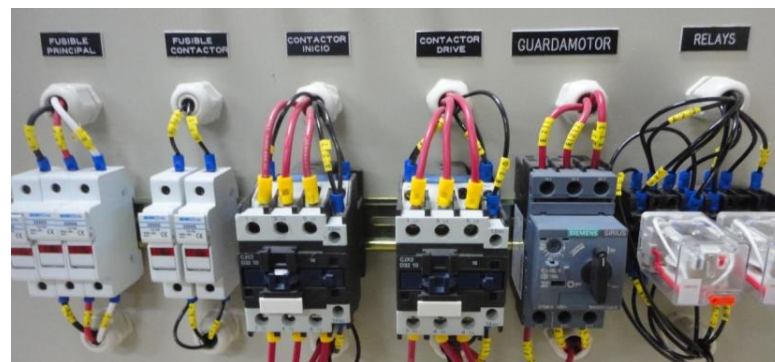


Figura 11.5 Porta-fusibles principales, porta-fusibles para los contactores, contactor INICIO, contactor DRIVE, relé térmico y relés auxiliares.

Ue(V)	220	380	660
Ie(A)	32	32	13.3
P(KW)	7.5	15	22

En categoría AC3 y para un voltaje de operación de 220V.

Figura 11.6: Información técnica de los contactores INICIO y DRIVE de 32A.

En la Fig. 11.7, se muestra el relé térmico cuyo ajuste se encuentra en 7A, dado que es el valor de la corriente nominal del motor MV1009 cuando el estator se encuentra conectado en delta. Es posible regular la acción de interrupción del relé entre 7A y 10A. En la posición mostrada, el selector del relé térmico permite que los contactos de fuerza del relé estén cortocircuitados. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 11.8, se muestra el diagrama de identificación de las terminales de los relés auxiliares. Imagen tomada del panel réplica. En la Fig. 11.9, se muestra el socket de los dos relés auxiliares. Contrastar la numeración del socket con la numeración de la Fig. 11.8. Imagen tomada del panel réplica.



Figura 11.7: Relé térmico con un ajuste de interrupción en 7A.



Figura 11.8: Diagrama de identificación de las terminales de los relés auxiliares.

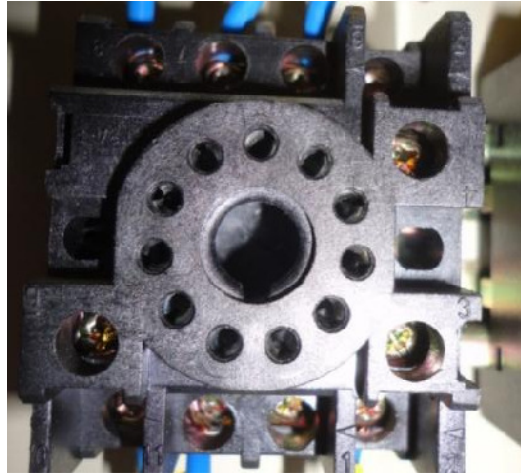


Figura 11.9: Socket de los relés auxiliares.

En la Fig. 11.10, se observan las botoneras ON y OFF para el accionamiento del contactor DRIVE; las botoneras ON y OFF para el contactor MOTOR. Se observan además, terminales para las entradas y salidas analógicas. Las terminales 55 y 39 tienen el mismo potencial en el interior del drive. Se observa el potenciómetro de precisión de $5K\Omega$, en el cual la resistencia variable se encuentra entre una terminal roja y negra. Adicionalmente, se tienen a disposición las terminales 50 y 55 para la fuente de alimentación de 10V que sirve para polarizar el potenciómetro.



Figura 11.10: Vista superior del panel Danfoss.

En la Fig. 11.11, se muestran los pulsadores, selectores y borneras para las entradas digitales. Los selectores permiten alternar el origen de la señal hacia las entradas digitales del drive, es decir, seleccionar entre pulsador o bornera. Cuando se selecciona pulsador, una de las terminales del mismo, está conectada a 24V del drive mientras que la otra terminal está conectada a la bornera del drive cuya numeración se indica en la parte superior del pulsador. Al seleccionar bornera, la terminal negra ubicada bajo el selector, está conectada a la terminal del drive cuya numeración se indica sobre el selector; la bornera roja, está conectada a la terminal de 24V. Es posible conectar un pulsador externo cuando el selector se encuentra en la posición S. En la Fig. 11.12, se ponen a disposición las terminales de las salidas digitales, del bus DC del drive y de frenado dinámico. En la Fig. 11.13, se

muestra la tarjeta electrónica del panel Danfoss. Su funcionamiento es el mismo que el de la tarjeta electrónica del panel Altivar.

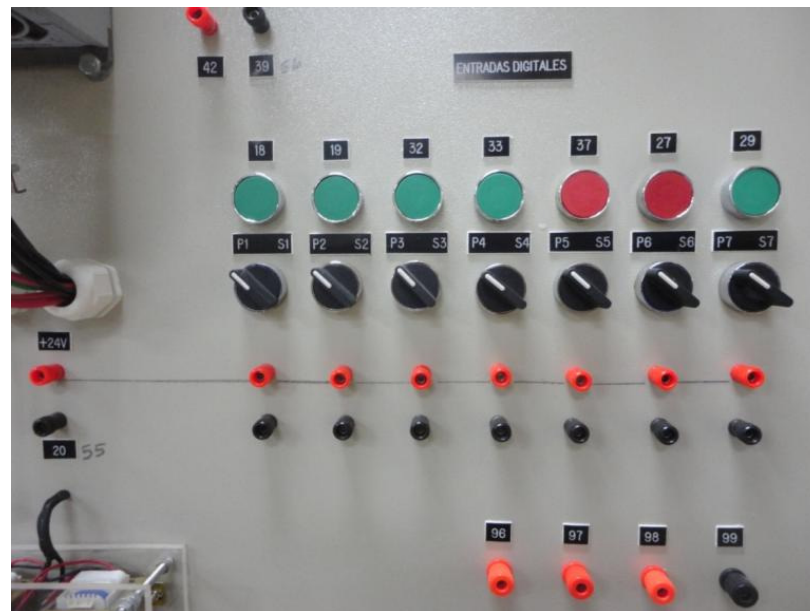


Figura 11.11: Vista de la sección media del panel Danfoss.

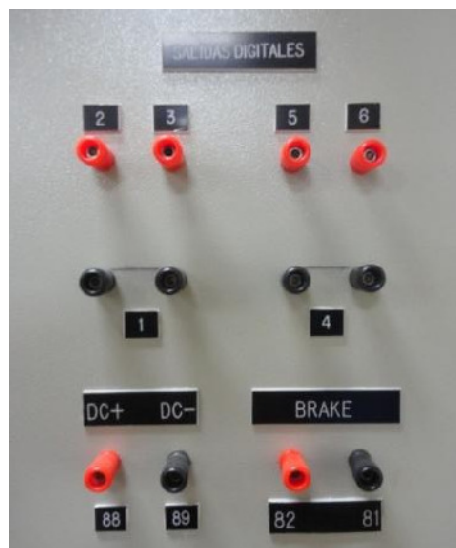


Figura 11.12: Vista de la sección del panel Danfoss en la cual se muestran las terminales para las salidas digitales tipo relé, terminales del bus DC del drive Danfoss y terminales para el frenado dinámico.

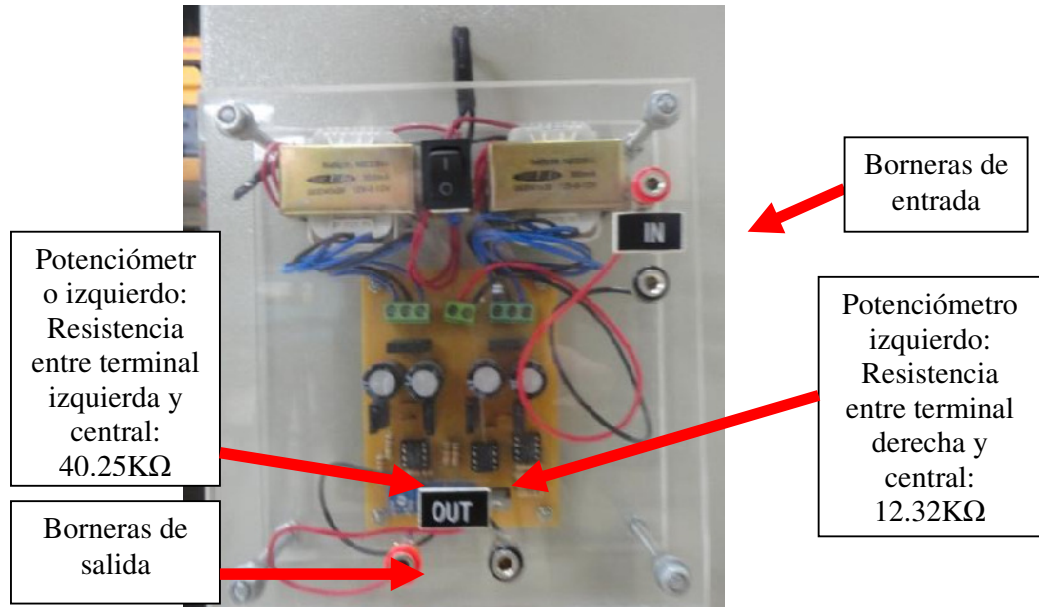


Figura 11.13: Tarjeta electrónica del panel Danfoss.

En la Fig. 11.14 se muestra el diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico réplica Danfoss. En la Fig. 11.15 se muestra el diagrama eléctrico de control del panel Danfoss.

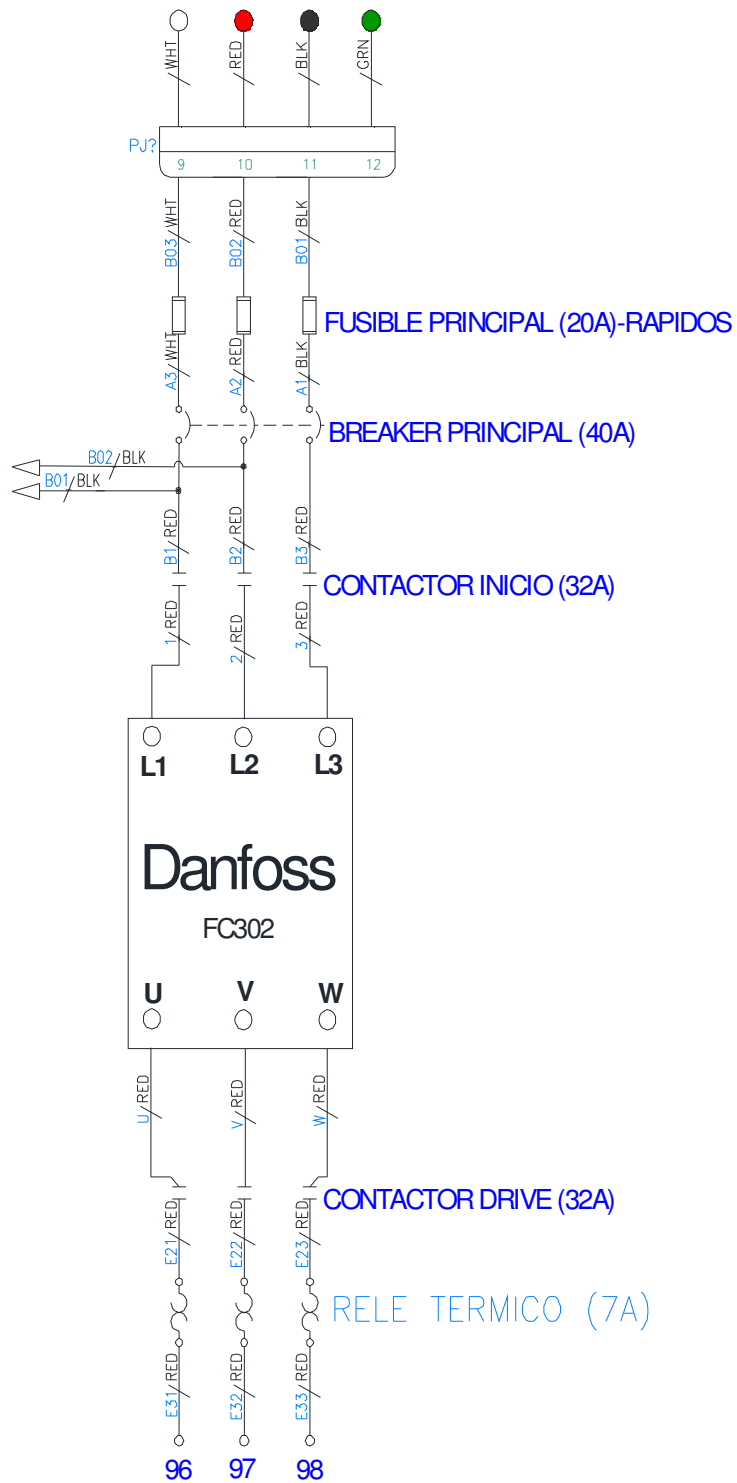


Figura 11.14: Diagrama eléctrico de fuerza del panel eléctrico replica Danfoss.

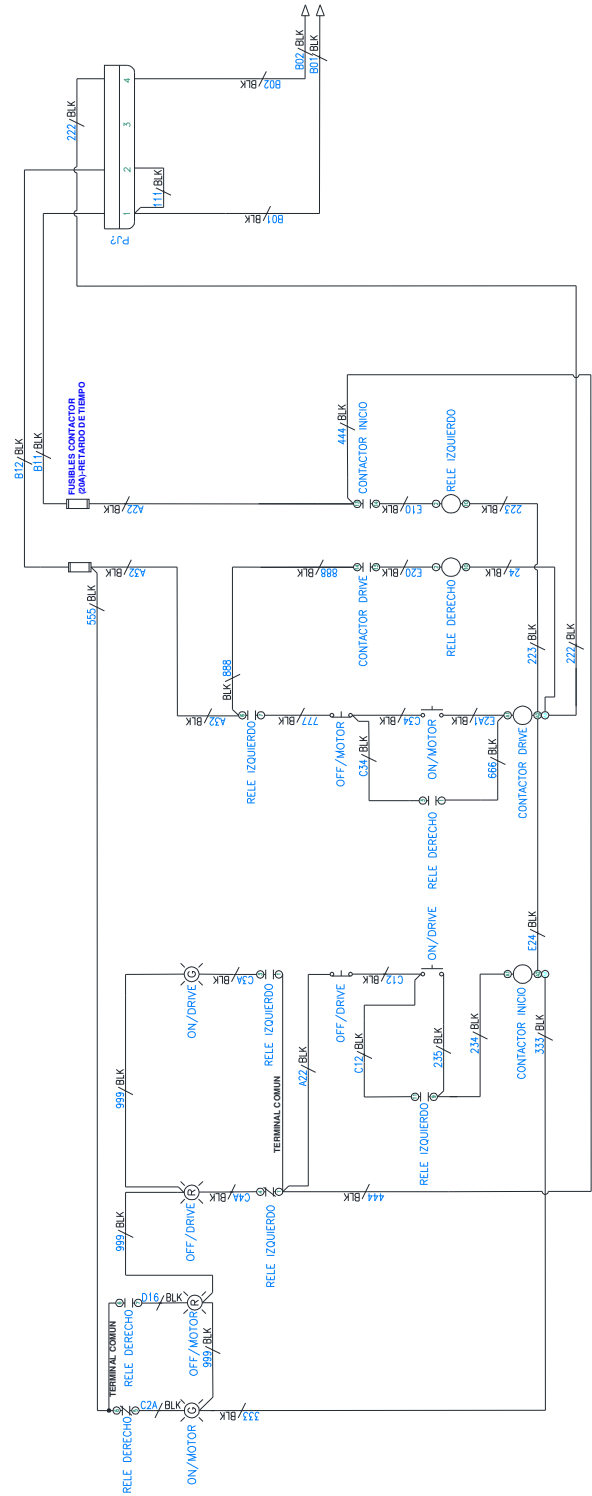


Figura 11.15: Diagrama eléctrico de control del panel eléctrico replica Danfoss.

En la Fig. 11.16 se muestra un esquema funcional del drive [9]. En la parte superior, se observan las etapas de un inversor: rectificador trifásico, bus DC e inversor trifásico. En el esquema se observa que las terminales del drive están numeradas. Las terminales del bus DC están a disposición del usuario. Se observa que las salidas digitales son de tipo relé. Se observa que el drive dispone de una fuente conmutada que provee de 24V y de 10V; la corriente máxima de la fuente de 10V es de 15mA mientras que la corriente máxima de la fuente de 24V oscila entre 130mA y 300mA.

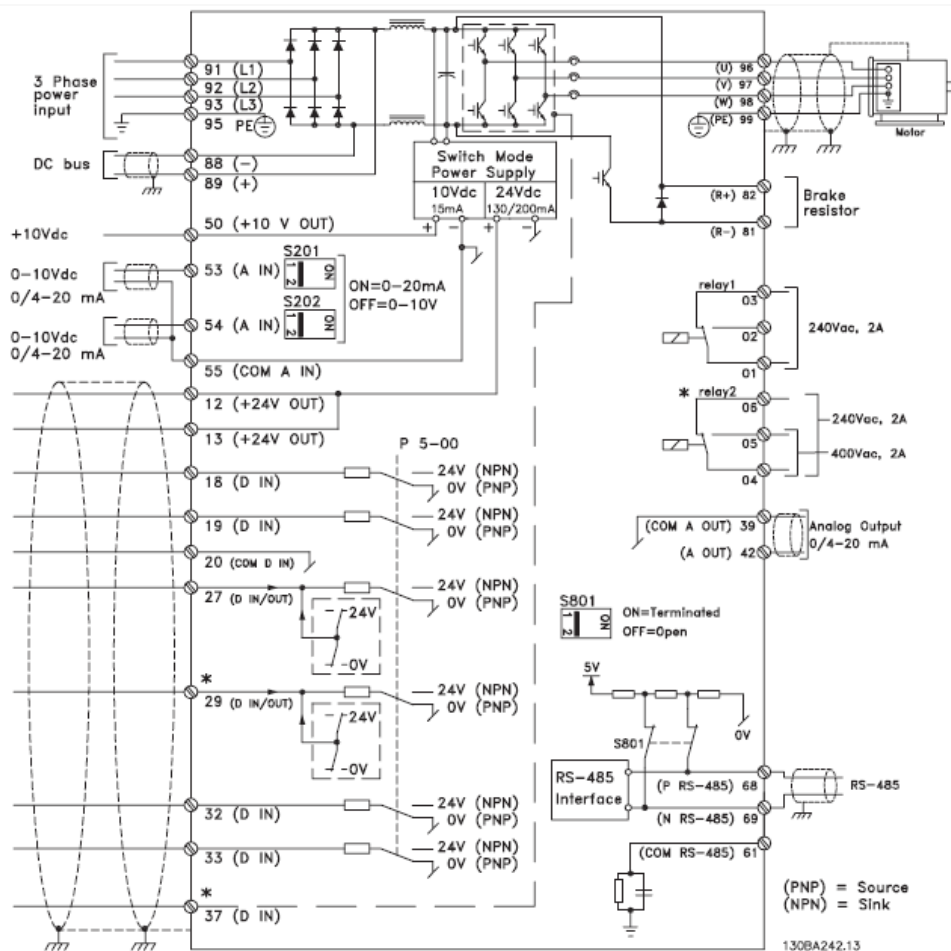


Figura 11.16: Esquema funcional del drive Danfoss.

En la Fig. 11.17 se observa que las terminales de las entradas analógicas tienen numeración 53 y 54; para que las entradas analógicas sean de corriente (0/4-20 mA) ó de voltaje (0-10Vdc), es necesario cambiar la posición de los selectores S201 y S202 ubicados detrás del panel de control local. Verificar que los selectores se encuentren en la posición de voltaje. El panel de control local es desmontable.

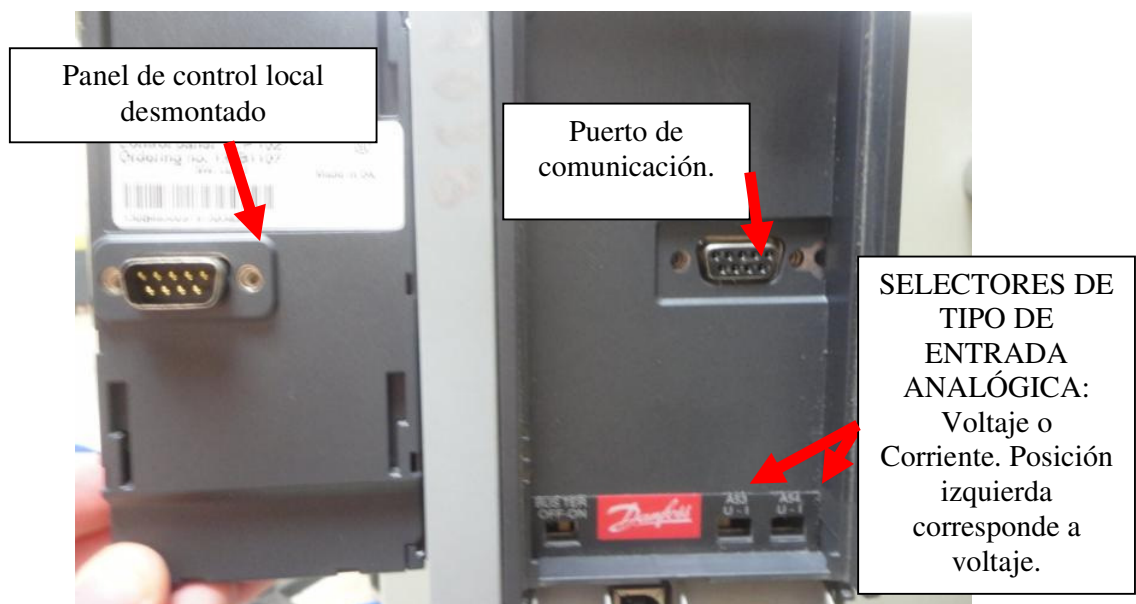


Figura 11.17. Panel de control local y puerto de comunicaciones junto con los selectores S201 y S202.

En la Fig. 11.18 se muestran las botoneras del drive Danfoss y la interfaz de programación. En la Fig. 11.19 se muestran las borneras de control del drive Danfoss. Las borneras son desmontables. En la Fig. 11.20 se muestra la sección inferior del drive Danfoss. En ella se observan las borneras de fuerza, las cuales son también desmontables. En la Fig. 11.21 se muestran las especificaciones técnicas del drive Danfoss.

En base al código descriptivo del drive Danfoss:

FC-302P1K5TWE20H2XGXXXXSXXXXAXBXCXXXXDX, se puede observar que el caracter 18 (el guión se considera un caracter) corresponde a X, lo que indica que el drive Danfoss del Laboratorio no cuenta con chopper de frenado. Este código se observa en la parte superior de las especificaciones técnicas del drive.



Figura 11.18: Botoneras del drive Danfoss y la interfaz de programación.

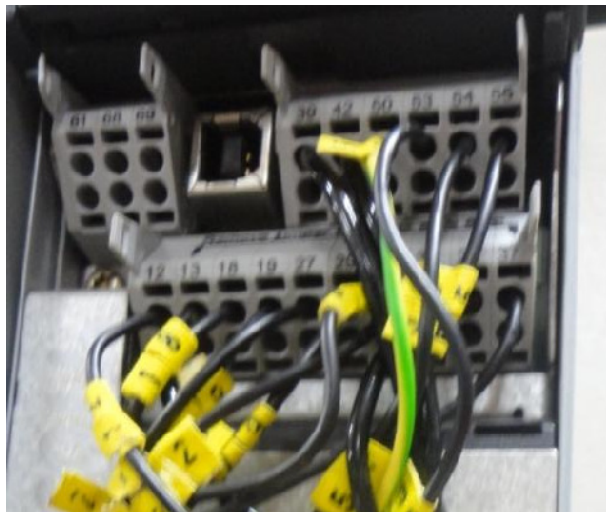


Figura 11.19: Borneras de control del drive Danfoss.

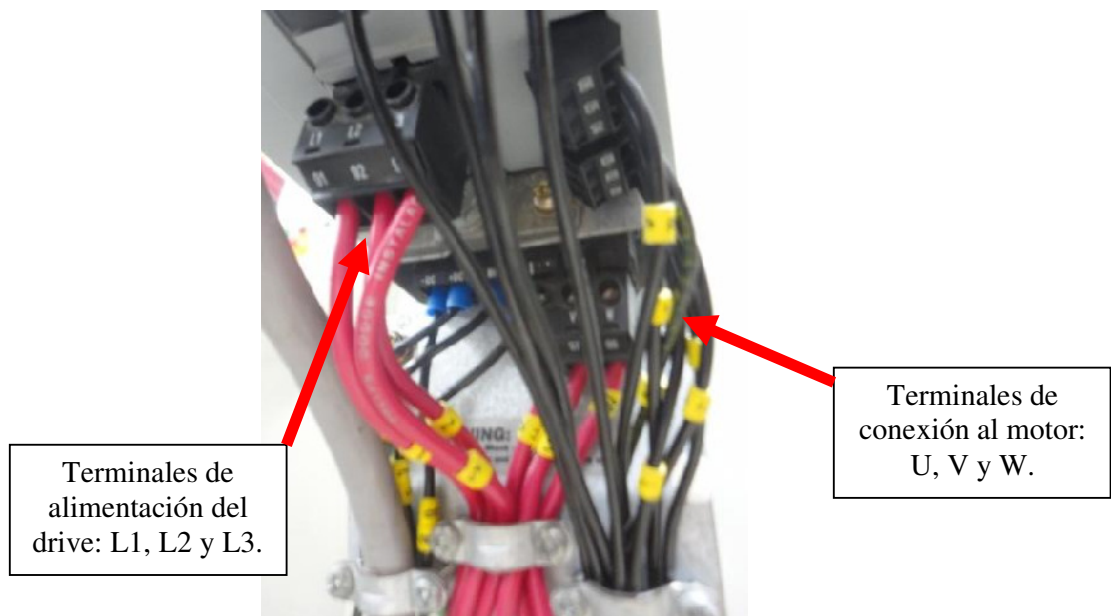


Figura 11.20: Vista inferior del drive Danfoss junto con las borneras de fuerza.



Figura 11.21: Especificaciones técnicas del drive Danfoss.

11.2. Método de inicialización del variador con los parámetros de fábrica.

Conectar el panel eléctrico Danfoss a la red eléctrica del Laboratorio. Presionar la botonera ON para accionar el contactor DRIVE y energizar el drive Danfoss. En la Fig. 11.22 se muestra la interfaz del drive Danfoss energizada. Paralelamente, se acciona el relé auxiliar izquierdo.



Figura 11.22: Interfaz del drive Danfoss encendida y relé auxiliar 1 energizado.

Conectar el panel eléctrico Danfoss a la red eléctrica del Laboratorio. Para inicializar el drive con los parámetros de fábrica, proceder con los siguientes pasos; emplear las teclas de dirección del drive para desplazarse entre menús u opciones y luego presionar el botón OK para elegir una opción o acceder a un menú o submenú.

- Presionar el botón Main Menu.
- Elegir al menú 14 correspondiente a Funciones especiales, tal como se muestra en la Fig. 11.23.



Figura 11.23: Menú 14 correspondiente a Funciones especiales.

- Acceder a la opción 14-2* correspondiente al Reinicio desconexión, tal como se muestra en la Fig. 11.24.



Figura 11.24: Opción 14-2* correspondiente al Reinicio desconexión.

- Elegir luego a la opción 14-22 denominada Modo Funcionamiento y elegir la opción Inicialización, tal como se muestra en la Fig. 11.25. Presionar el botón OK.



Figura 11.25: Opción 14-22 denominada Modo Funcionamiento elegida en el parámetro Inicialización.

- Proceder a desenergizar el drive, presionando la botonera OFF ubicada bajo el rótulo DRIVE. El fabricante recomienda en las especificaciones de la Fig. 11.21, esperar 4 minutos previo a la re-energización del drive. Luego de este periodo, energizar nuevamente el drive presionando la botonera ON ubicada también bajo el rótulo DRIVE. Aparece un denominado “trip”, indicando el mensaje “Drive initialised” y simultáneamente el led Alarm parpadea. Los “trip’s” son advertencias ó alarmas del drive. El mensaje y el led Alarm se muestra en la Fig. 11.26. Para desactivar la alarma, presionar el botón RESET del drive.



Figura 11.26: Encendido del led Alarm y el mensaje Drive initialised [A80].

De esta forma, se han ajustado el drive con los parámetros de fábrica a excepción de los siguientes parametros:

- 14-50 RFI 1
- 8-30 Protocolo
- 8-31 Dirección
- 8-32 Velocidad en baudios
- 8-35 Retardo respuesta mín.
- 8-36 Retardo respuesta máx.
- 8-37 Retardo máx. intercarac.
- 15-00 a 15-05 Datos de funcionamiento
- 15-20 a 15-22 Registro histórico
- 15-30 a 15-32 Registro de fallos

11.3. Parametrización del variador Danfoss FC302 en base a la placa del motor.

El motor de inducción a emplear es el motor MV1009. Para cambiar el idioma, presionar la tecla MAIN MENU, luego en el parámetro 0-01 Idioma, elegir la opción [4] correspondiente a Español. Al presionar el boton OK, se muestra en la esquina inferior derecha del panel de control local, el ajuste por defecto correspondiente a English. Esto se muestra en la Fig. 11.27. Dado que la operación del motor se realizará en lazo abierto, acceder al parámetro 1-00 denominado Modo Configuración y elegir la opción [0] correspondiente a Veloc. Lazo Abierto, tal como se muestra en la Fig. 11.28. Conectar el panel Danfoss y el motor MV1009, tal como se muestra en la Fig. 11.29. El motor se conecta a las terminales 96, 97 y 98 del panel Danfoss.



Figura 11.27: Selección de idioma Español



Figura 11.28: Modo Configuración: Veloc. Lazo Abierto.

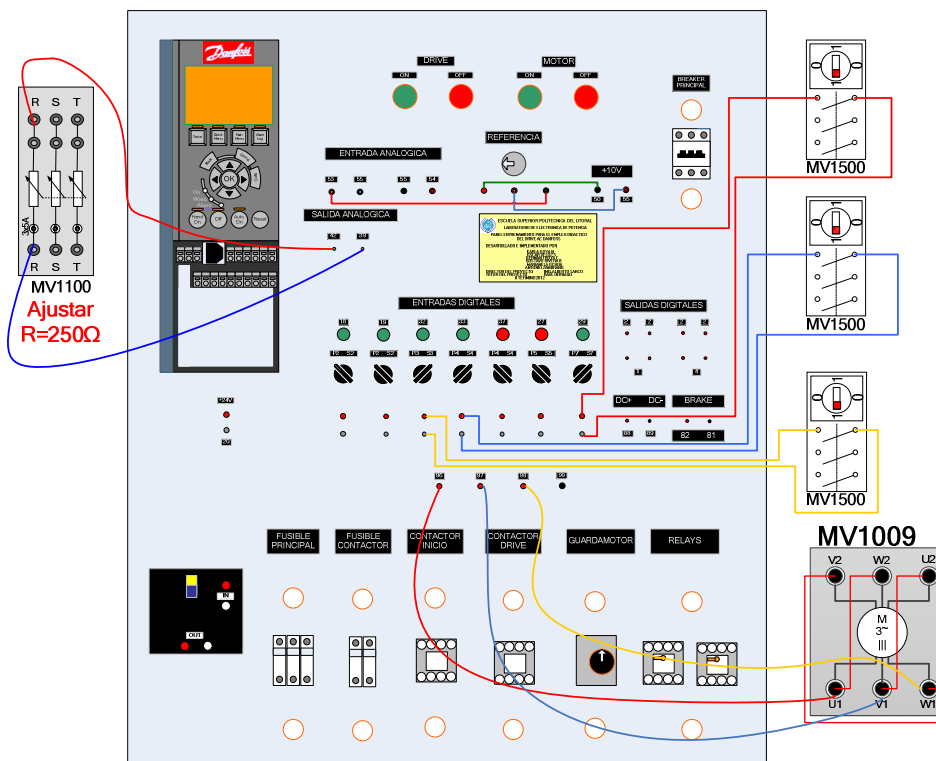


Figura 11.29: Conexión del banco MV1100 para conexión a la salida analógica, conexión entre el panel Danfoss y el motor MV1009 y conexión entre interruptores MV1500 y entradas digitales 29, 32 y 33.

Acceder al menú 1** correspondiente a Carga/motor y luego al submenú 1-2* correspondiente a Datos de motor, tal como se indica en la Fig. 11.30. En

el parámetro 1-20 Potencia motor [KW], ingresar 1.50kW, presionar la tecla OK, tal como se muestra en la Fig. 11.31. En el parámetro 1-22 Tensión motor, ingresar 220 V, tal como se muestra en la Fig. 11.32. En el parámetro 1-23 Frecuencia motor, ingresar 50Hz, tal como se muestra en la Fig. 11.33. En el parámetro 1-24 Intensidad motor, ingresar el valor de 6,95 A, tal como se muestra en la Fig. 11.34. En el parámetro 1-25 Velocidad nominal motor, ingrese 1400 RPM, tal como se muestra en la Fig. 11.35. Acceder al menú 1-3* correspondiente a Datos avanzados del motor, tal como se muestra en la Fig. 11.36. En el parámetro 1-39 Polos motor, confirmar que el valor sea 4, tal como se muestra en la Fig. 11.37.



Figura 11.30: Acceso al menú Carga/motor y al submenú Datos de motor.



Figura 11.31: Configuración del parámetro 1-20 Potencia motor [KW].



Figura 11.32: Configuración del parámetro 1-22 Tensión motor [KW].



Figura 11.33: Configuración del parámetro 1-23 Frecuencia motor [Hz].



Figura 11.34: Configuración del parámetro 1-24 Intensidad motor [A].



Figura 11.35: Configuración del parámetro 1-25 Velocidad nominal motor [A].



Figura 11.36: Acceso al menú 1-3* correspondiente a Datos avanzados del motor.



Figura 11.37: Configuración del parámetro 1-39 correspondiente a Polos motor.

Dentro del menú 1-3* correspondiente a Datos avanzados del motor, observar los parámetros de este menú:

- Parámetro 1-30 Resistencia del estator (Rs): 0.9321Ω.



Figura 11.38: Parámetro 1-30 Resistencia estator (Rs).

- Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr): 0.7219Ω.



Figura 11.39: Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr).

- Parámetro 1-33 Resistencia fuga estator (X1): 1.8276Ω.



Figura 11.40: Parámetro 1-33 Reactancia fuga estator (X1).

- Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2): 1.8276Ω.



Figura 11.41: Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2).

- Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh): 40.2068Ω.



Figura 11.42: Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh).

- Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe): 726.546Ω.



Figura 11.43: Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe).

11.4. Configuración de la salida analógica, ejecución del procedimiento AMA y modificación en los datos avanzados del motor.

Para configurar la salida analógica, es necesario, acceder al menú 6-** correspondiente a E/S analógica y luego al submenú 6-5* correspondiente a Salida analógica 1, tal como se muestra en la Fig. 11.44.



Figura 11.44: Acceso al menú 6- E/S analógica y al submenú 6-5* Salida analógica 1.**

Configurar el parámetro 6-50 Terminal 42 salida, con el valor 105 correspondiente a Par rel. a nominal; la salida es de 0-20mA. En la Fig.

11.45 se muestra la configuración del parámetro 6-50 Terminal 42 salida. En el parámetro 16-65 Salida analógica 42[mA], se puede observar el valor de la corriente en tiempo real.



Figura 11.45: Configuración del parámetro 6-50 Terminal 42 salida.

Presionar la botonera ON del panel la cual acciona el contactor DRIVE; esta botonera se ubica bajo el rótulo MOTOR del panel. Retornar al menú 1-2* correspondiente a los Datos del motor y en el parámetro 1-29 Adaptación automática del motor, escogerla opción [1] Activar AMA completo, tal como se muestra en la Fig. 11.46.



Figura 11.46: Configuración del parámetro 1-29 Adaptación automática del motor [A].

A continuación, aparece un mensaje solicitando pulsar el botón HAND ON del panel de control local, lo cual inicia el procedimiento AMA el cual permite

identificar los parámetros eléctricos del motor cuando se encuentra detenido. El procedimiento en mención dura alrededor de dos minutos.

En la Fig. 11.47 se muestra la variación del voltaje DC aplicado entre las terminales U1 y V1 del motor y la variación de la corriente DC hacia la terminal U1 del motor durante el procedimiento AMA. En la Fig. 11.48 se muestra la forma de onda del voltaje aplicado entre las terminales U1 y V1 del motor y la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente DC toman valores positivos.

En la Fig. 11.49 se muestra la forma de onda del voltaje aplicado entre las terminales U1 y V1 del motor y la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente toman valores negativos.

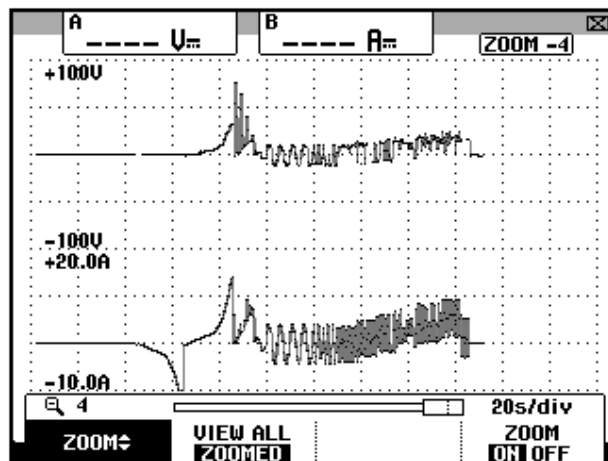


Figura 11.47: Variación del voltaje DC entre U1 y V1 y variación de la corriente DC hacia la terminal U1 durante el procedimiento AMA.

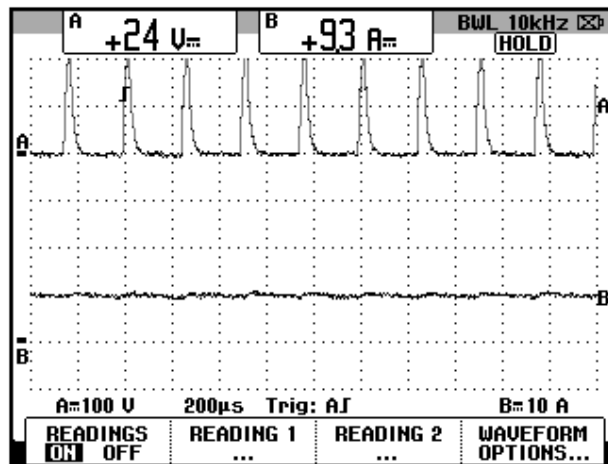


Figura 11.48: Forma de onda del voltaje entre U1 y V1 y forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente DC toman valores positivos.

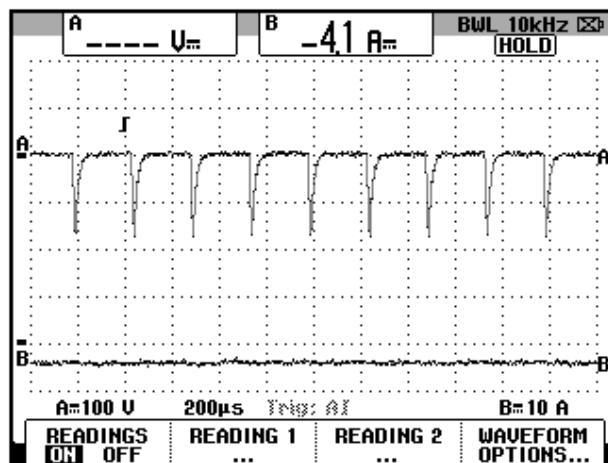


Figura 11.49: Forma de onda del voltaje entre U1 y V1 y forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 durante un instante del procedimiento AMA en el que el voltaje DC aplicado y por ende la corriente DC toman valores negativos.

Se observa que la forma de voltaje aplicado permite que la forma de la corriente no contenga componentes armónicas.

Acceder al menú 1-3*. Se listan los nuevos valores de los Datos avanzados del motor. En la Tabla 11.1 se listan los valores de los Datos avanzados del motor previo al realizar el procedimiento AMA y luego de realizar este procedimiento.

- Parámetro 1-30 Resistencia del estator (Rs): 1.9503Ω.



Figura 11.50: Parámetro 1-30 Resistencia estator (Rs).

- Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr): 1.6129Ω.



Figura 11.51: Parámetro 1-31 Resistencia rotor (Rr).

- Parámetro 1-33 Resistencia fuga estator (X1): 1.9425Ω.



Figura 11.52: Parámetro 1-33 Reactancia fuga estator (X1).

- Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2): 1.9425Ω.



Figura 11.53: Parámetro 1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2).

- Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh): 33.0275Ω.



Figura 11.54: Parámetro 1-35 Reactancia princ. (Xh).

- Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe): 726.546Ω.



Figura 11.55: Parámetro 1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe).

	Valor previo al procedimiento AMA (Ω)	Valor posterior al procedimiento AMA (Ω)
1-30 Resistencia estator (Rs).	0.9321	1.9503
1-31 Resistencia rotor (Rr).	0.7219	1.6129
1-33 Reactancia fuga estator (X1).	1.8276	1.9425
1-34 Reactancia de fuga del rotor (X2).	1.8276	1.9425
1-35 Reactancia princ. (Xh).	40.2068	33.0275
1-36 Reactancia pérdida hierro (Rfe).	726.546	726.546

Tabla 11.1: Comparación de los valores de los parámetros de Datos avanzados previo a la realización del procedimiento AMA y posterior al mismo.

11.5. Configuración del menú 4-1* Límites motor y 3-0* Límites referencia.

Acceder al menú 4** Lím./Advert. y luego al submenú 4-1* Límites motor tal como se muestra en la Fig. 11.56. En el parámetro 4-10 Dirección veloc. motor, elegir [2] Ambos sentidos, tal como se muestra en la Fig. 11.57. En el parámetro 4-11 Límite bajo veloc. del motor, verificar que sea 0, tal como se muestra en la Fig. 11.58. La mínima velocidad es cero RPM. En el parámetro 4-13 Límite alto veloc. del motor, verificar que sea 1400, tal como se muestra en la Fig. 11.59. La máxima velocidad es 1400 RPM. En el parámetro 4-18 Límite intensidad, verificar que sea 160, tal como se muestra

en la Fig. 11.60. El valor máximo de corriente de salida es de 11.12A. En el parámetro 4-19 Frecuencia salida máx., verificar que sea 60, tal como se muestra en la Fig. 11.61. Se ha ajustado un 20% más que el valor nominal de frecuencia. El máximo valor que permite el drive Danfoss es de 132Hz, el cual es el valor correspondiente al ajuste de fábrica. Acceder al menú 4** Lím./Advert. y luego al submenú 4-1* Límites motor tal como se muestra en la Fig. 11.62. En el parámetro 3-00 Rango de referencia, verificar que sea -Max. - +Max., tal como se muestra en la Fig. 11.63. En el parámetro 3-01 Referencia/Unidad realimentación, verificar que sea RPM, tal como se muestra en la Fig. 11.64. En el parámetro 3-02 Referencia mínima, verificar que sea 0 RPM, tal como se muestra en la Fig. 11.65. En el parámetro 3-03 Referencia máxima, verificar que sea 1400 RPM, tal como se muestra en la Fig. 11.66.

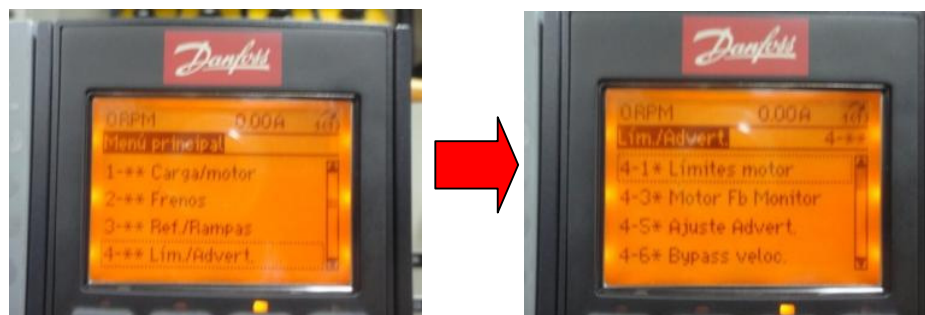


Figura 11.56: Acceso al menú Lím/Advert. y luego al submenú Límites motor.



Figura 11.57: Parámetro 4-10 Dirección veloc. motor.



Figura 11.58: Parámetro 4-11 Límite bajo veloc. motor (RPM).



Figura 11.59: Parámetro 4-13 Límite alto veloc. motor (RPM).



Figura 11.60: Parámetro 4-19 Límite intensidad.



Figura 11.61: Parámetro 4-19 Frecuencia salida máxima.



Figura 11.62: Acceso al menú Ref./Rampas y luego al submenú Límites referencia.



Figura 11.63: Parámetro 3-00 Rango de referencia.



Figura 11.64: Parámetro 3-01 Referencia/Unidad realimentación.



Figura 11.65: Parámetro 3-02 Referencia mínima.



Figura 11.66: Parámetro 3-03 Referencia máxima.

11.6. Ajuste de referencia de velocidad empleando el panel de control local ó por medio del potenciómetro de precisión. Visualización de parámetros del motor en la pantalla del panel de control local.

Para variar la velocidad del motor desde el panel de control local acceder al submenú 3-1* correspondiente a Referencias, tal como se muestra en la Fig. 11.67. Luego, acceder al parámetro 3-13 Lugar de referencia y confirmar la opción [0] Conex. a manual/auto, tal como se muestra en la Fig. 11.68. Al presionar el botón Status del panel de control local, aparece la imagen de la Fig. 11.69.



Figura 11.67: Submenú 3-1* Referencias



Figura 11.68: Parámetro 3-13 Lugar de referencia.

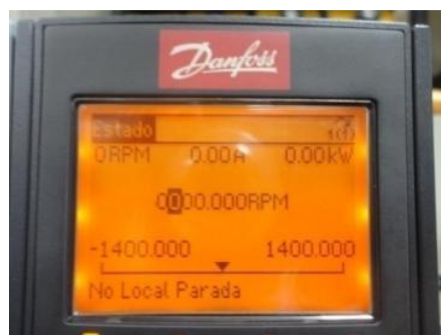


Figura 11.69: Vista de la opción Status del panel de control local.

Emplear las teclas indicativas del panel de control local para variar el valor de velocidad; al presionar el botón HAND ON, el motor comienza a girar. Fijar la velocidad en 1400 RPM, luego presionar el botón OFF; a continuación fijar la velocidad en -1400 RPM y luego presionar HAND ON. Para detener el motor presionar nuevamente el botón OFF.

Al presionar el botón QUICK MENU y luego elegir la opción Registros, es posible mostrar en la interfaz del panel de control local, la variación de las variables listadas a continuación:

- Velocidad

- Intensidad motor
- Potencia [KW]
- Frecuencia
- Referencia %

En la Fig. 11.70 se muestra la variación de la velocidad. En la Fig. 11.71 se muestra la variación de la corriente RMS. En la Fig. 11.72 se muestra la variación de la potencia.



Figura 11.70: Variación de la velocidad dentro del menú Registros.



Figura 11.71: Variación de la corriente RMS dentro del menú Registros.



Figura 11.72: Variación de la potencia [KW] dentro del menú Registros.

Para variar la velocidad empleando el potenciómetro de precisión, acceder al parámetro 3-13 Lugar de referencia y elegir la opción [1] Remoto, tal como se muestra en la Fig. 11.73. Verificar que en el parámetro 3-15 Recurso de referencia 1, se encuentre elegida la opción [1] Entrada analógica 53, tal como se muestra en la Fig. 11.74. Acceder al menú 0-** Func./Display y luego al submenú 0-2* Display LCP, tal como se muestra en la Fig. 11.75. Confirmar que el parámetro 0-20 Línea de pantalla pequeña 1.1, se encuentre ajustado en Velocidad [RPM] tal como se muestra en la Fig. 11.76. Confirmar que el parámetro 0-21 Línea de pantalla pequeña 1.2, se encuentre ajustado en Intensidad motor; ver Fig. 11.77. Verificar que el parámetro 0-22 Línea de pantalla pequeña 1.3, se encuentre ajustado en Potencia [KW]; ver Fig. 11.78. Comprobar que el parámetro 0-23 Línea de pantalla grande 2, se encuentre ajustado en Frecuencia; ver Fig. 11.79. Confirmar que el parámetro 0-24 Línea de pantalla grande 3, se encuentre ajustado en Referencia %; ver Fig. 11.80.



Figura 11.73: Parámetro 3-13 Lugar de referencia: remoto.



Figura 11.74: Parámetro 3-15 Recurso de referencia 1.



Figura 11.75: Acceso al menú 0-** Func./Display y luego al submenú 0-2* Display LCP.



Figura 11.76: Parámetro 0-20 Línea de pantalla pequeña 1.1.



Figura 11.77: Parámetro 0-21 Línea de pantalla pequeña 1.2.



Figura 11.78: Parámetro 0-22 Línea de pantalla pequeña 1.3.



Figura 11.79: Parámetro 0-23 Línea de pantalla grande 2.



Figura 11.80: Parámetro 0-24 Línea de pantalla grande 3.

Presionar el botón STATUS del panel de control local. Es posible visualizar en la parte superior del menú STATUS (Estado), las variables asignadas previamente. Girar en sentido horario y de forma delicada, el potenciómetro de precisión hasta que la línea de pantalla grande 3, muestre 50%; luego, presionar el botón HAND ON. Observar la Fig. 11.81. Detener el motor presionando el botón OFF.



Figura 11.81: Menú STATUS.

11.7. Configuración de rampas de aceleración de tipo lineal y tipo S.

Acceder al menú 3-4* Rampa 1, tal como se muestra en la Fig. 11.82. Comprobar que el parámetro 3-40 Rampa 1 tipo, se encuentre ajustado en Lineal, tal como se muestra en la Fig. 11.83. Ajustar el parámetro 3-41 Rampa 1 tipo acel. rampa, en 15s, tal como se muestra en la Fig. 11.84. Ajustar el parámetro 3-42 Rampa 1 tipo desacel. rampa, en 15s, tal como se muestra en la Fig. 11.85.



Figura 11.82: Submenú 3-4* Rampa 1.



Figura 11.83: Parámetro 3-40 Rampa 1 tipo Lineal.

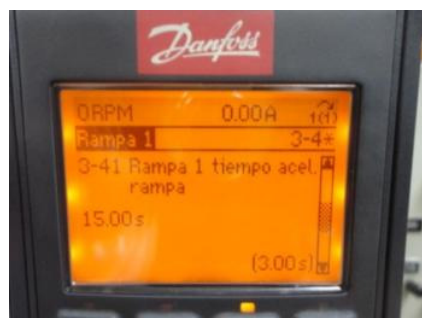


Figura 11.84: Parámetro 3-41 Rampa 1 tipo acel. rampa.



Figura 11.85: Parámetro 3-42 Rampa 1 tipo desacel. rampa.

Girar completamente en sentido horario el potenciómetro de precisión y presionar el botón HAND ON para arrancar el motor; para detenerlo, presionar el botón OFF.

En la Fig. 11.86 se muestra la variación de la velocidad del motor, la cual es representada por el voltaje generado por el taco-generador DC MV1024 y adicionalmente se muestra la variación de la frecuencia de la corriente del motor. Se observa que duración de la rampa de aceleración es de aproximadamente 13.5 segundos. La variación de las dos variables es lineal. Ajustar el valor del parámetro 3-40 Rampa 1 tipo en Rampa-S, tal como se muestra en la Fig. 11.87.

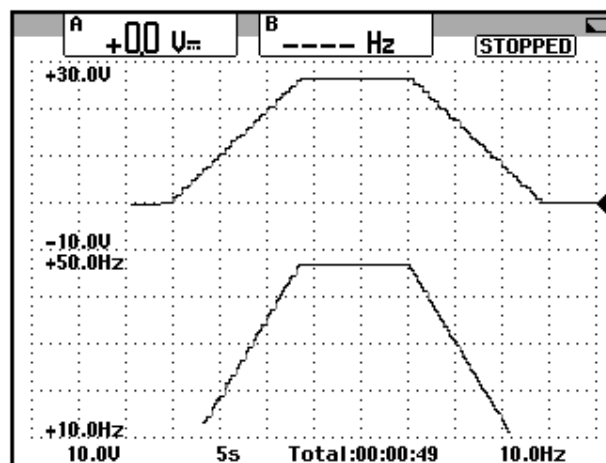


Figura 11.86: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009 ajustando el parámetro 3-40 Rampa 1 en tipo lineal.



Figura 11.87: Parámetro 3-40 Rampa 1 tipo S.

En la Fig. 11.88 se muestra la variación de la velocidad del motor y de la frecuencia de la corriente del motor. Tanto en la Fig. 11.86 como en la Fig. 11.88 se observa que la forma de variación de la frecuencia de la corriente hacia el motor, está relacionada con la forma de variación de la velocidad del mismo.

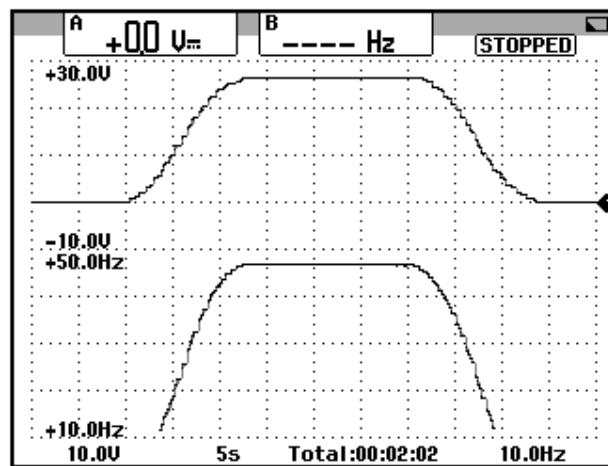


Figura 11.88: Variación de la velocidad y de la frecuencia de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009 ajustando el parámetro 3-40 Rampa 1 en tipo S.

11.8. Configuración de la protección térmica del motor mediante el drive.

Para emplear la protección térmica del motor a través del drive Danfoss, acceder al menú 1-9* Temperatura motor y configurar el parámetro 1-90 Protección térmica motor con la opción 4 correspondiente a Descon. ETR 1, tal como se muestra en la Fig. 11.89.



Figura 11.89: Acceso al submenú 1-9* Temperatura motor y al parámetro 1-90 Protección térmica motor.

Con esta configuración, el drive se desconecta del motor cuando el contador interno detecte el sobrecalentamiento del último. El relé térmico electrónico ETR, por sus siglas en inglés, es un cálculo de la carga térmica basado en la carga actual y el tiempo que transcurre con esa carga; para este cálculo, se emplea la corriente del motor, la frecuencia de salida y el tiempo de operación con los valores de los dos parámetros anteriores. Su finalidad es calcular la temperatura del motor.

El relé térmico electrónico (ETR), del drive no puede ser usado como protección térmica del motor cuando se emplea el drive para funcionamiento en paralelo de motores; en tal caso, proveer mayor protección con termistores en cada motor o relés térmicos para cada motor.

En la Fig. 11.90, se muestra la curva tiempo de desconexión versus corriente/corriente nominal para tres diferentes frecuencias de operación [9].

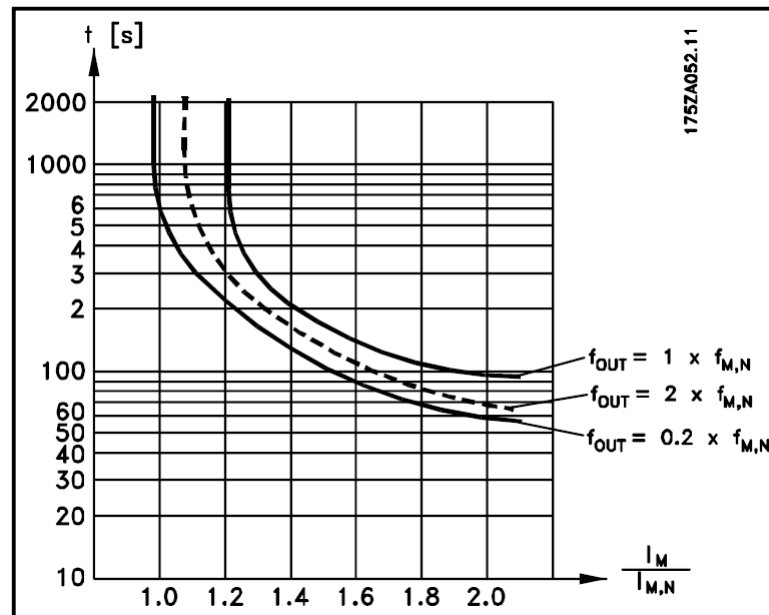


Figura 11.90: Curva tiempo de desconexión versus la relación corriente/corriente nominal para tres diferentes frecuencias de operación proporcionales a la frecuencia nominal.

Es posible también programar únicamente una advertencia y no la desconexión del motor cuando se supere el contador del relé térmico electrónico, esto se muestra en la Fig. 11.91. En este caso el led Warn. del panel de control local, se enciende. Mantener la configuración previa, es decir, aquella mostrada en la Fig. 11.89.

En el parámetro 16-18 es posible observar el estado térmico del motor. Esto se observa en la Fig. 11.92. El parámetro no es modificable.



Figura 11.91: Parámetro 1-90 Protección térmica motor ajustado en Advert. ETR 1.



Figura 11.92: Parámetro 16-18 Térmico motor.

11.9. Variación del voltaje en el bus DC del drive durante el encendido y apagado del mismo.

Des-energizar el drive Danfoss y reponer el disyuntor. Esperar 4 minutos antes de energizar nuevamente el drive. Adquirir la variación del voltaje DC entre las terminales 88 y 89 del panel eléctrico Danfoss; esto se muestra en la Fig. 11.93.

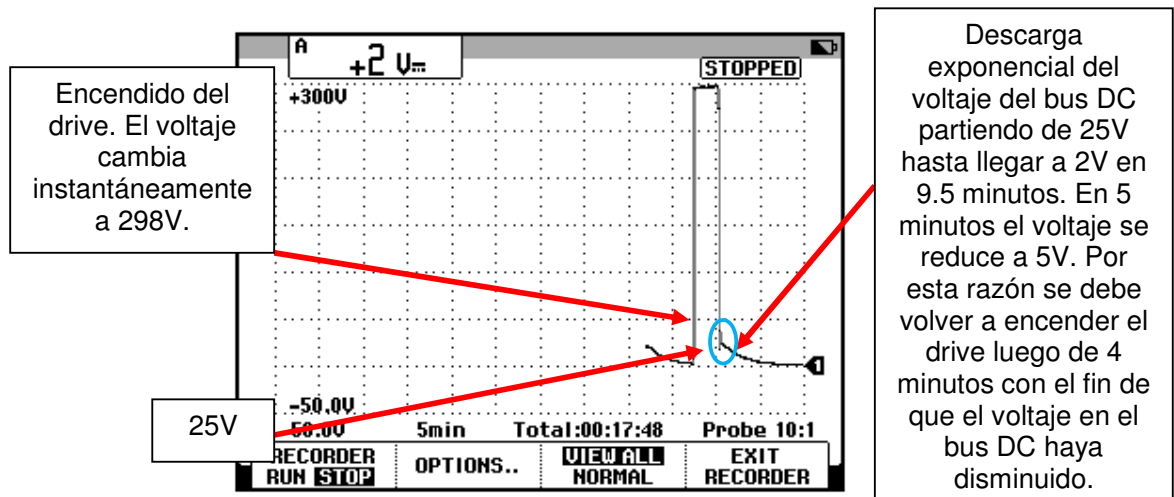


Figura 11.93: Variación del voltaje del bus DC del drive Danfoss durante un encendido y apagado del mismo.

11.10. Formas de onda del voltaje y corriente en el motor empleando los patrones de conmutación SFAVM y 60 AVM para las frecuencias de operación de 5Hz, 25Hz y 45Hz.

Verificar que el patrón de conmutación del inversor sea SFAVM tal como se muestra en la Fig. 11.94. SFAVM viene del inglés: modulación vectorial asíncrona orientada al flujo del estator. Este tipo de conmutación es el ajuste de fábrica del variador.



Figura 11.94: Elección del parámetro 14-00 Patrón conmutación: SFAVM.

Reajustar los parámetros siguientes:

- 3-40 Rampa 1 tipo: Lineal.
- 3-41 Rampa 1 tiempo acel. rampa: 5s.
- 3-42 Rampa 1 tiempo desacel. rampa: 5s.

En las pruebas siguientes, recordar que se emplea el botón HAND ON para arrancar el motor y el botón OFF para detenerlo. Para fijar una frecuencia específica, emplear el potenciómetro de precisión mientras se observa el menú STATUS.

En la Fig. 11.95, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 5Hz. En la Fig. 11.96, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 25Hz. En la Fig. 11.97, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 45Hz.

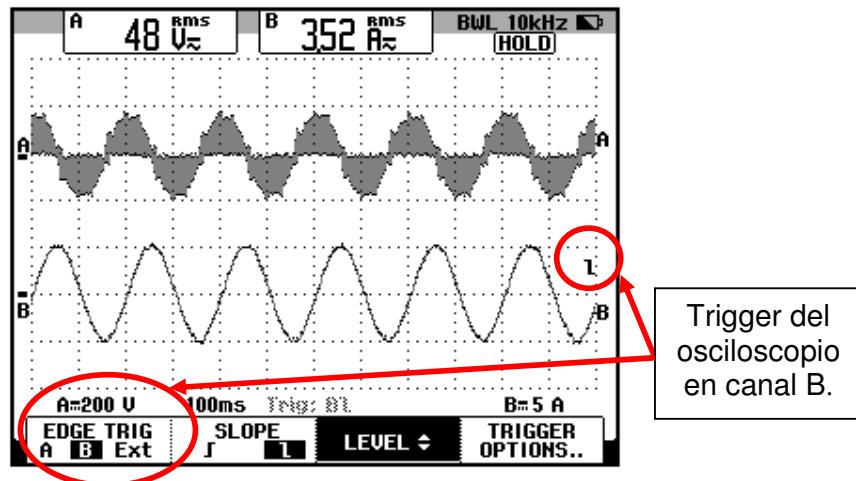


Figura 11.95: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 5Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM.

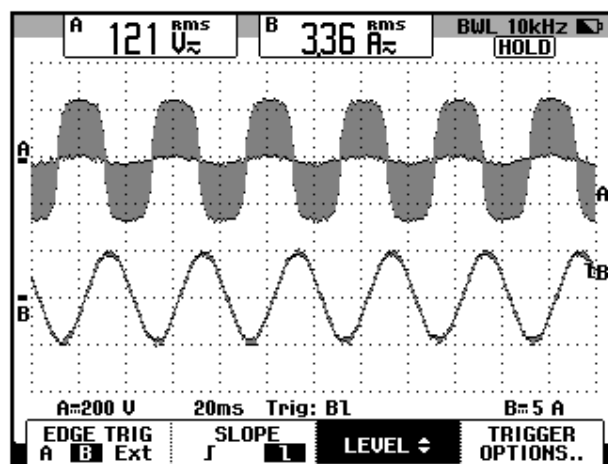


Figura 11.96: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 25Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM.

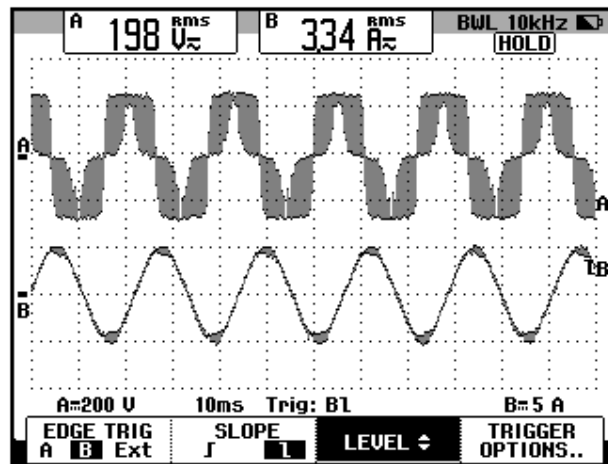


Figura 11.97: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación SFAVM.

Cambiar el patrón de conmutación del inversor y ajustarlo en 60 AVM. 60 AVM quiere decir modulación vectorial asíncrona de 60° . En la Fig. 11.98 se muestra el ajuste. En la Fig. 11.99, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 5Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM. En la Fig. 11.100, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 25Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM. En la Fig. 11.101, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM. En la Fig. 11.102, se muestra la forma del voltaje entre las terminales U1 y V1 del

motor y adicionalmente la forma de la corriente hacia la terminal U1, para una frecuencia de operación de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM y un ajuste de la escala de tiempo de 500us. Reajustar el parámetro 14-00 Patrón conmutación en SFAVM, el cual corresponde al ajuste de fábrica.



Figura 11.98: Elección del parámetro 14-00 Patrón conmutación: 60 AVM.

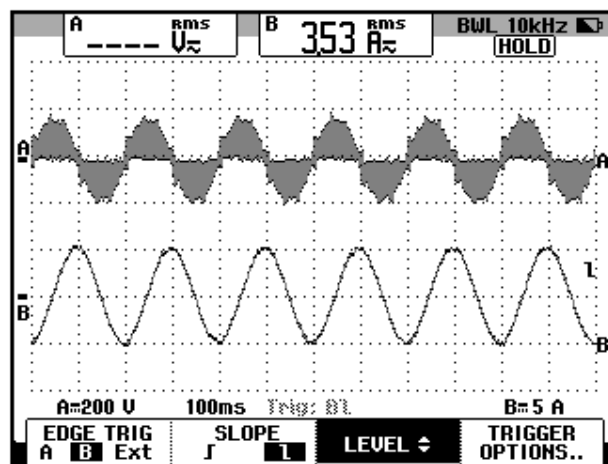


Figura 11.99: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 5Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM.

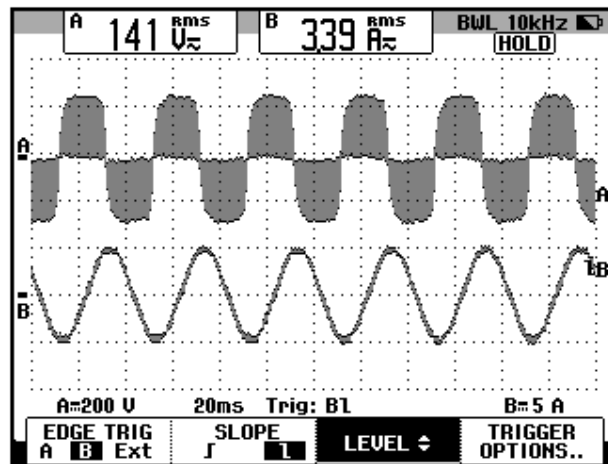


Figura 11.100: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 25Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM.

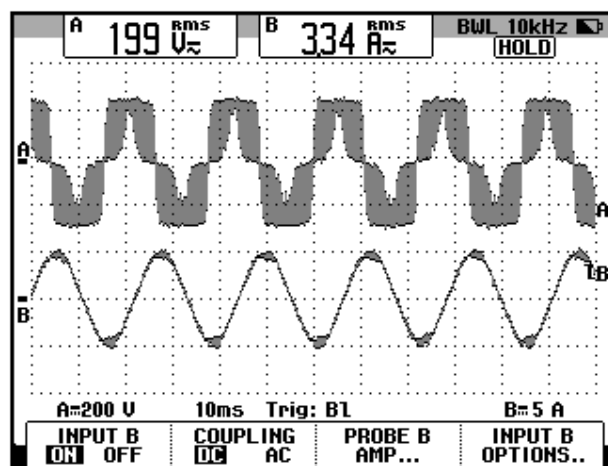


Figura 11.101: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM.

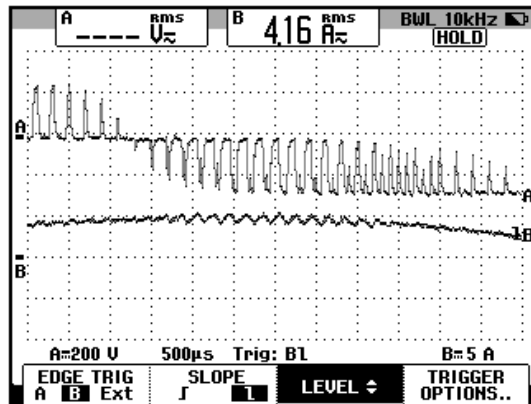


Figura 11.102: Forma de onda del voltaje entre las terminales U1 y V1 del motor junto con la variación de la corriente hacia la terminal U1 del motor para una frecuencia de 45Hz empleando el patrón de conmutación 60 AVM y escala de tiempo de 500us.

11.11. Principio de control del motor U/f y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz. Regulación de velocidad para una velocidad en vacío de 900rpm.

Configurar el parámetro 1-01 Principio control motor en U/f, que corresponde al control de flujo del estator en base a la relación voltaje versus frecuencia. Esto se muestra en la Fig. 11.103. Comprobar que se deshabilita el parámetro 1-03 Características de par.



Figura 11.103: Parámetro 1-01 Principio control motor: U/f.

Comprobar que el parámetro 1-00 Modo configuración se encuentre ajustado en [0] Veloc. Lazo Abierto y que el parámetro 1-05 Configuración modo local se encuentre ajustado en [0] Lazo Abierto Veloc.

En las pruebas siguientes, se requiere que la frecuencia máxima sea de 50Hz, por lo que se debe configurar el parámetro 4-13 Límite alto veloc. Motor [RPM], en 1500; ver Fig. 11.104.



Figura 11.104: Parámetro 4-13 Límite alto veloc. Motor [RPM].

Girar completamente en sentido horario y de forma delicada, el potenciómetro de precisión, con el fin de fijar la máxima frecuencia de 50Hz. Arrancar el motor. Emplear el freno MV1045 para aplicar carga mecánica hasta que la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor sea de 4A. Luego de ello, detener el motor. En la Fig. 11.105, se muestra la variación del torque del motor y de la corriente hacia la terminal U1 con un ajuste de frecuencia de 50Hz.

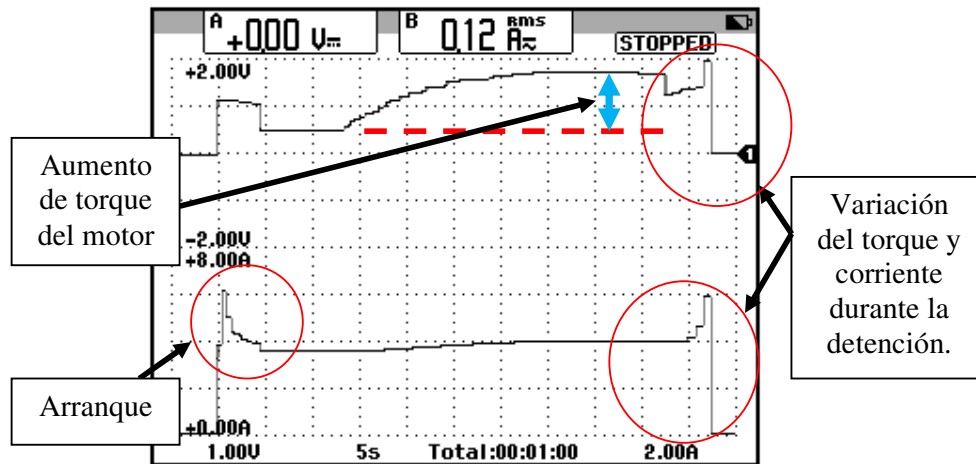


Figura 11.105: Variación del torque y de la corriente hacia la terminal U1 del motor durante el arranque, aumento de carga mecánica que requiere de 4A de corriente de línea y posterior detención con un ajuste de 50Hz.

Durante las pruebas siguientes, es necesario revisar el estado térmico del motor observando el parámetro 16-18 Térmico motor. En la Fig. 11.106 se puede observar la variación de las dos variables mecánicas del motor: torque y velocidad bajo carga mecánica. En la Fig. 11.107, se muestra la variación del voltaje RMS en las terminales U1-V1 del motor y de la corriente RMS hacia la terminal U1 durante el arranque, operación en estado estable y detención.

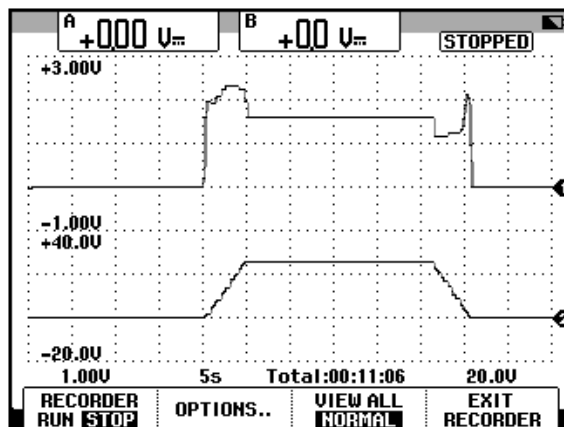


Figura 11.106: Variación del torque y de la velocidad del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente RMS de línea a 50Hz con principio de control de motor U/f.

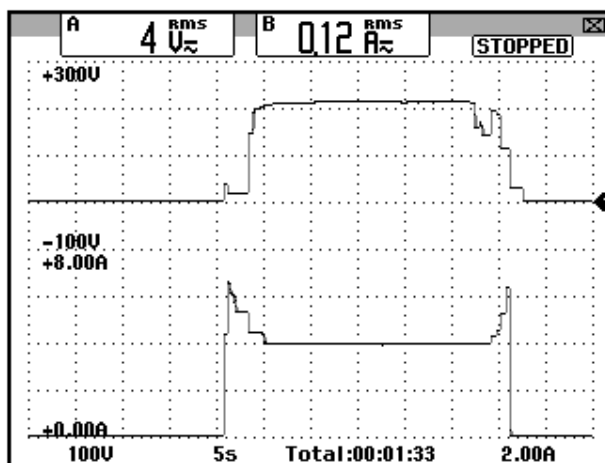


Figura 11.107: Variación del voltaje RMS y de la corriente del motor bajo carga mecánica que requiere de 4A de corriente RMS de línea a 50Hz con principio de control de motor U/f.

Girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de tal forma que la frecuencia impuesta al motor en el arranque sea de 0Hz. Se procede a obtener la tabla 11.1. En pasos de 5Hz, adquirir:

- El voltaje RMS entre las terminales U1-V1 del motor, empleando el multímetro Fluke 87V.
- Velocidad del eje del motor, empleando el tacómetro Amprobe Tach20.
- El torque inducido, observando su valor en el parámetro 16-16 Par; las unidades son N.m, tal como se muestra en la Fig. 11.108. Esta es una ventaja del drive Danfoss FC302.



Figura 11.108: Parámetro 16-16 Par.

- La corriente RMS hacia la terminal U1 empleando el osciloscopio Fluke 192B. Emplear el modo RECORDER.

Se procede a arrancar el motor. Verificar el estado térmico del motor en el parámetro 16-18. La tabla de resultados se muestra a continuación:

Frecuencia (Hz)	Voltaje U1-V1 (V_{RMS})	Velocidad (rpm)	Torque (N.m)	Corriente (A_{RMS})
5	93	138.2	4.0	5.2
10	117.9	276.8	3.6	4.7
15	137.7	416.1	4.0	4.5
20	155.1	561.0	4.3	4.4
25	171.1	711.9	4.3	4.4
30	185.4	858.5	4.3	4.4
35	198.7	1010	4.2	4.3
40	211.1	1160	4.0	4.3
45	223.4	1309	4.1	4.3
50	227.2	1454	3.7	4.0

Tabla 11.2: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor operando a 50Hz y empleando el control U/f.

En la Fig. 11.109, se muestra la variación del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 con respecto a la frecuencia. Se observa que para $f=45\text{Hz}$ y $f=50\text{Hz}$, el voltaje permanece casi constante. En la Fig. 11.110, se muestra la variación de la velocidad del motor con respecto a la frecuencia de la corriente del motor; esta variación es lineal. El torque neto en el eje del motor durante la rampa de aceleración es constante. En la Fig. 11.111, se muestra la variación del torque inducido con respecto a la frecuencia. El mínimo valor de torque es 3.6N.m y el máximo valor es 4.3N.m . Para la frecuencia nominal, el torque tiende a disminuir, debido a que se ingresa a la zona de debilitamiento del campo giratorio, sin embargo, esta disminución

no es tan pronunciada en comparación con el mínimo valor de torque que es de 3.6N.m. En la Fig. 11.112, se muestra la variación de la corriente del motor con respecto a la frecuencia.

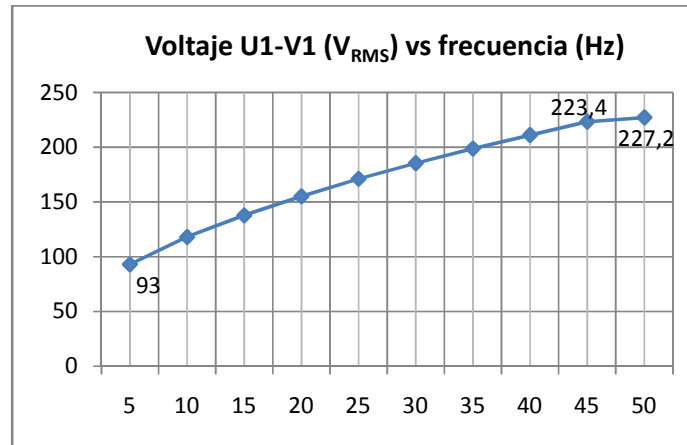


Figura 11.109: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

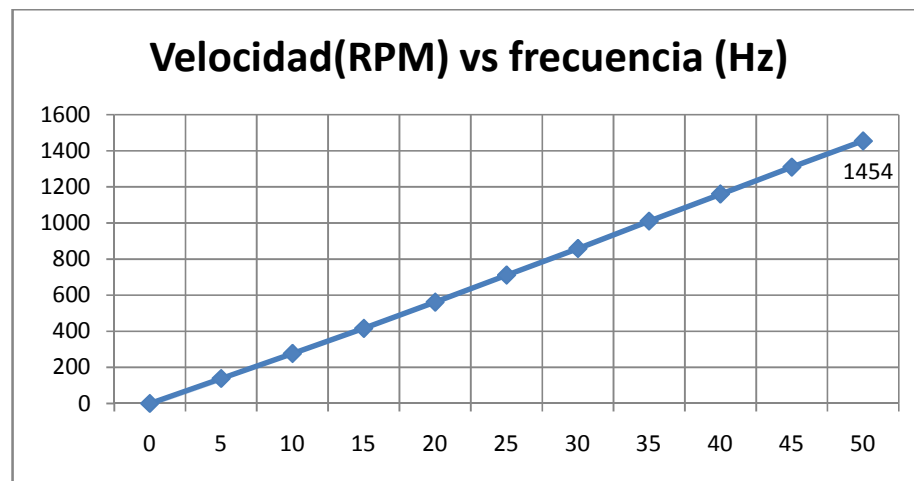


Figura 11.110: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

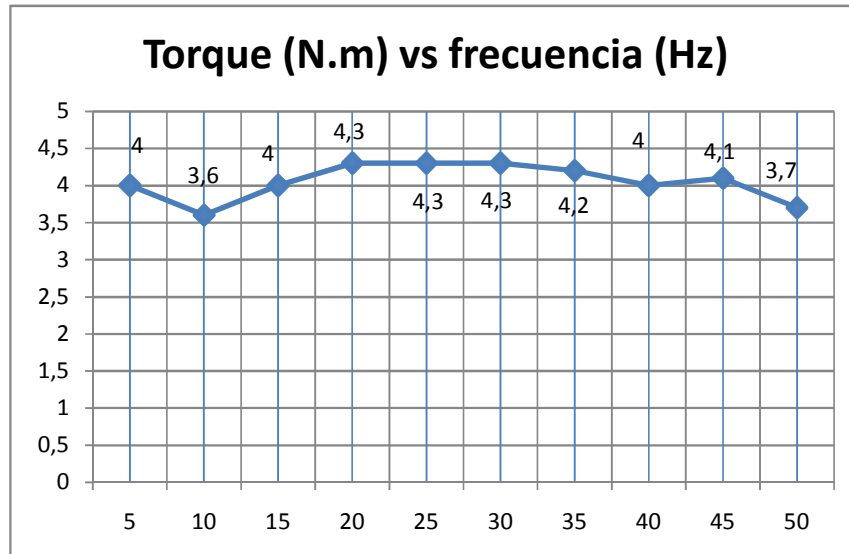


Figura 11.111: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

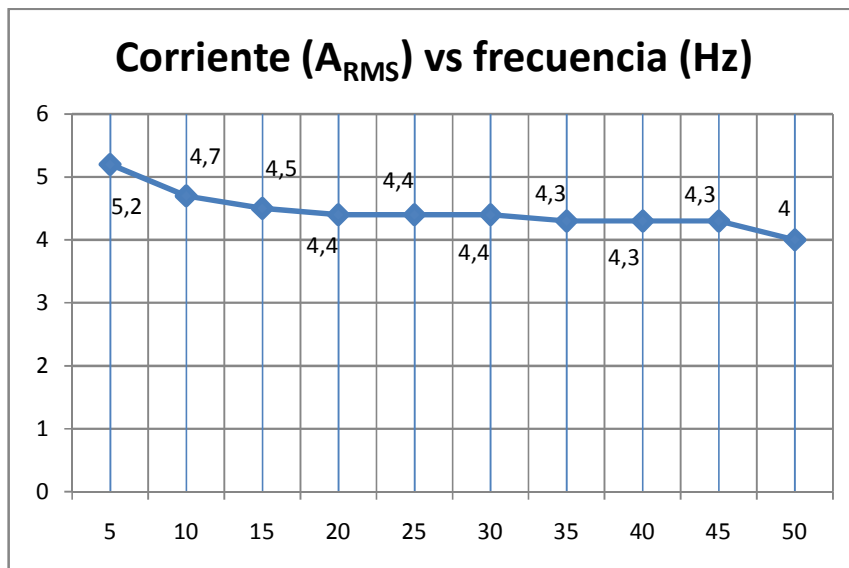


Figura 11.112: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

En el capítulo 9 se determinó la forma de calcular la velocidad de sincronismo y el deslizamiento de un motor. Es posible construir la Tabla

11.3, que muestra la variación del deslizamiento con respecto a la frecuencia de operación del variador. El deslizamiento mínimo es 3.07, mientras que el máximo valor es de 7.87. A diferencia del drive Altivar 31 visto en el capítulo anterior y empleando el mismo método de control del flujo del estator, es decir, el control V/f, y bajo la misma condición de carga mecánica, los valores de deslizamiento mínimo y máximo son menores al emplear el drive Danfoss.

En la Fig. 11.113 se muestra la variación del deslizamiento con respecto a los diferentes valores de frecuencia.

Frecuencia f [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	150	138.2	7.87
10	300	276.8	7.73
15	450	416.1	7.53
20	600	561.0	6.50
25	750	711.9	5.21
30	900	858.5	4.61
35	1050	1010	3.81
40	1200	1160	3.33
45	1350	1309	3.04
50	1500	1454	3.07

Tabla 11.3: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

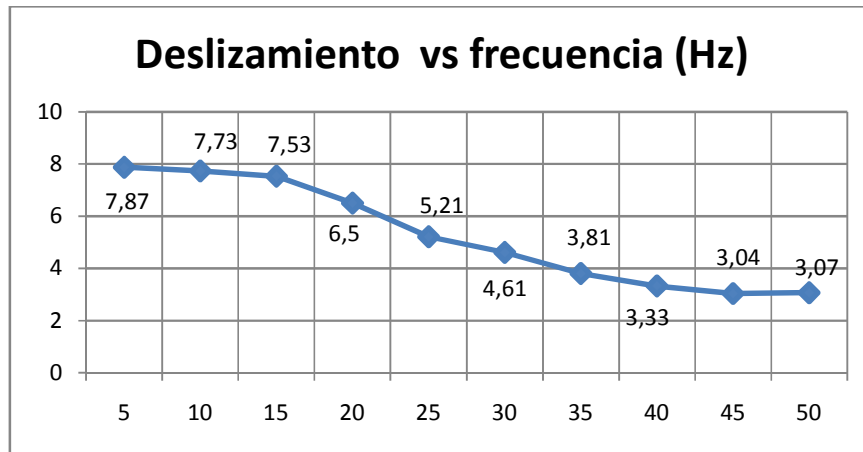


Figura 11.113: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control U/f.

En la experimentación siguiente, se procede a observar la regulación de velocidad. Empezar la experimentación fijando al mínimo la posición del potenciómetro BRAKE FORCE del control de freno MV1045. A continuación arrancar el motor, fijar velocidad en 900rpm y aumentar la carga mecánica en pasos de 1A, hasta llegar a la corriente nominal de 7A partiendo de la condición en vacío. En la tabla 11.4 se muestra la variación de la velocidad y de la corriente. Emplear el tacómetro TACH20 para medir la velocidad.

Los resultados muestran que la velocidad disminuye 132.3rpm partiendo de su condición de velocidad en vacío.

Velocidad	Corriente (A_{RMS})
900.5	4.0 (vacío)
836.6	5.0
803.7	6.0
768.2	7.0

Tabla 11.4: Regulación de velocidad empleando el control U/f.

11.12. Principio de control del motor VVCplus y su efecto en el voltaje RMS, corriente RMS, velocidad, torque y deslizamiento del motor para el rango de frecuencias comprendido entre 5 y 50Hz. Regulación de velocidad para una velocidad en vacío de 900rpm.

A continuación se procede a realizar pruebas similares realizadas en la sección anterior, observando el efecto del principio de control VVCplus; para ello, configurar el parámetro 1-01 Principio control motor en VVCplus. Esto se muestra en la Fig. 11.114. Comprobar que se habilita el parámetro 1-03 Características de par. Mantener este parámetro en la opción [0] Par constante.



Figura 11.114: Parámetro 1-01 Principio control motor: VVCplus.

Comprobar que el parámetro 1-00 Modo configuración se encuentre ajustado en [0] Veloc. Lazo Abierto y que el parámetro 1-05 Configuración modo local se encuentre ajustado en [0] Lazo Abierto Veloc.

Fijar la frecuencia de operación en 50Hz y luego emplear el control de freno MV1045 para aumentar la carga mecánica hasta que la corriente RMS de línea alcance 4A. Detener el motor y girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de tal forma que la frecuencia impuesta al motor en el arranque sea de 0Hz. Se procede a obtener la tabla 11.5, similar a la tabla 11.2.

Se procede a arrancar el motor. Verificar el estado térmico del motor en el parámetro 16-18. La tabla de resultados se muestra a continuación:

Frecuencia (Hz)	Voltaje U1-V1 (V_{RMS})	Velocidad (rpm)	Torque (N.m)	Corriente (A_{RMS})
5	83	130.6	2.1	3.9
10	109	264.5	3.7	4.1
15	128.6	404.2	4.7	4.3
20	145.4	549.7	5	4.3
25	160.5	698.2	5.2	4.4
30	174.3	847.5	5.1	4.4
35	187.3	1000	5.0	4.3
40	199.6	1151	4.9	4.3
45	209.9	1297	4.8	4.3
50	211.4	1439	4.4	4.1

Tabla 11.5: Voltaje RMS entre terminales U1-V1 del motor, velocidad del motor, torque del motor bajo carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea del motor operando a 50Hz y empleando el control VVCplus.

En la Fig. 11.115, se muestra la variación del voltaje RMS entre las terminales U1-V1 con respecto a la frecuencia. En el método de control VVCplus, el voltaje a frecuencia nominal, no supera el valor nominal del motor, lo que si ocurre en el método de control U/f. Se observa que para $f=45\text{Hz}$ y $f=50\text{Hz}$, el voltaje permanece casi constante. En la Fig. 11.116, se muestra la variación de la velocidad del motor con respecto a la frecuencia de la corriente del motor; esta variación es lineal.

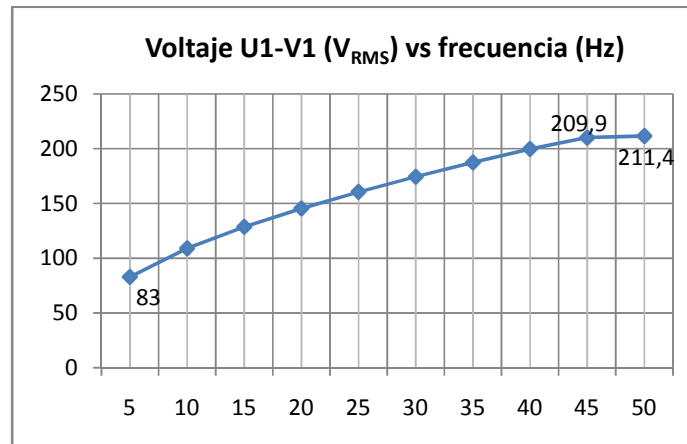


Figura 11.115: Gráfica voltaje RMS entre las terminales U1-V1 versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

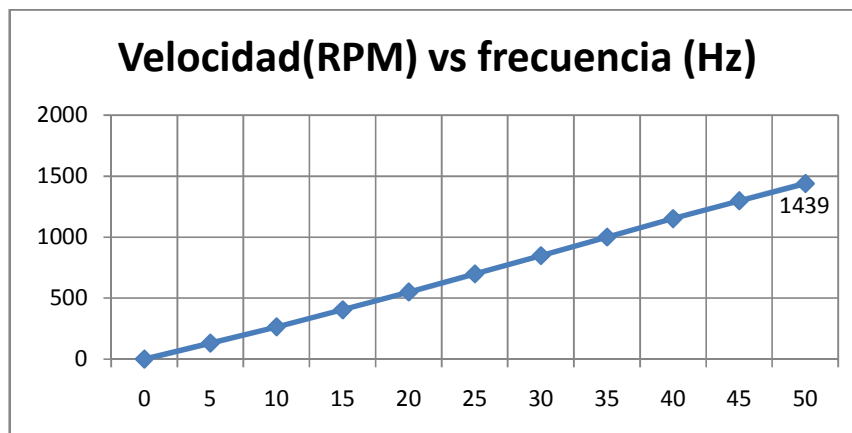


Figura 11.116: Gráfica velocidad versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

En la Fig. 11.117, se muestra la variación del torque inducido con respecto a la frecuencia. El mínimo valor de torque es 2.1N.m y el máximo valor es 5.2N.m. A bajas frecuencias, el torque se debilita, lo mismo ocurre al operar a frecuencias mayores que la nominal. La variación del torque es similar a la variación de torque obtenida en el capítulo 9 para el método de control n y L; sin embargo, al comparar las Figs. 11.111 y 11.117, se observa que

empleando el método de control U/f, el torque presenta mayor estabilidad a bajas frecuencias y al acercarse a la frecuencia nominal. En la Fig. 11.118, se muestra la variación de la corriente del motor con respecto a la frecuencia. Comparando las Figs. 11.112 y 11.118, se observa que empleando el control VVCplus, la corriente presenta mayor estabilidad.

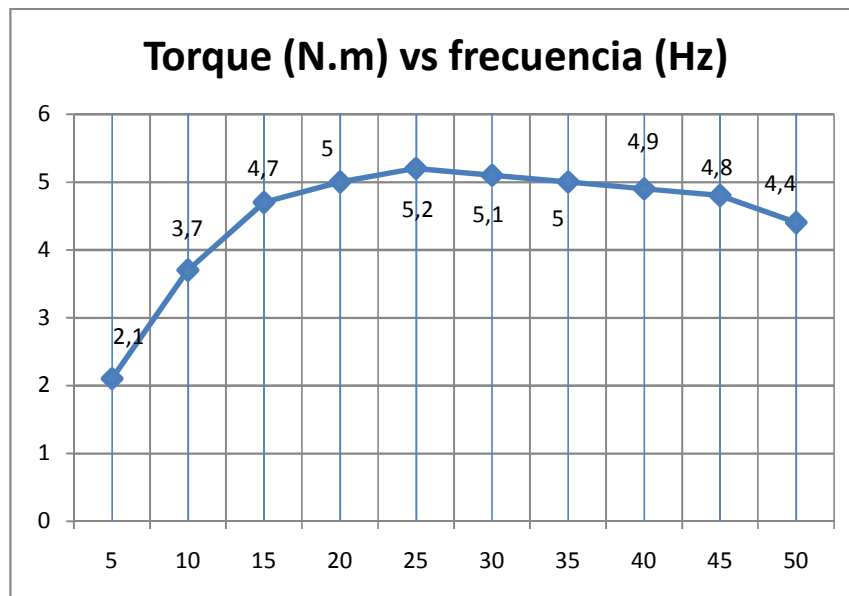


Figura 11.117: Gráfica torque versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

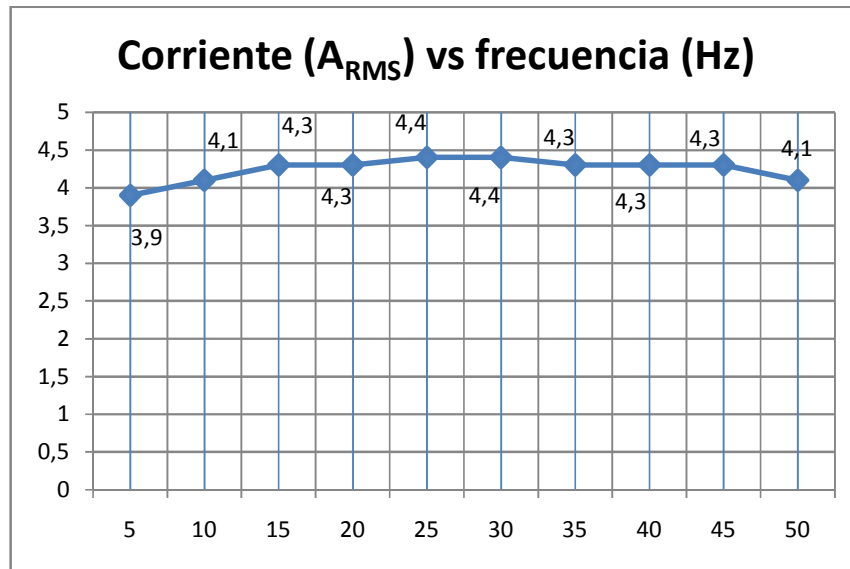


Figura 11.118: Gráfica corriente versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

La Tabla 11.6, muestra la variación del deslizamiento con respecto a la frecuencia de operación del variador. El deslizamiento mínimo es 4.1, mientras que el máximo valor es de 12,9. A diferencia del método de control U/f, los valores de deslizamiento mínimo y máximo son mayores. En la Fig. 11.119 se muestra la variación del deslizamiento con respecto a los diferentes valores de frecuencia.

Frecuencia f [Hz]	Velocidad síncrona n_s [rpm]	Velocidad motor n_m [rpm]	Deslizamiento s
5	150	130.6	12.9
10	300	264.5	11.8
15	450	404.2	11.2
20	600	549.7	8.4
25	750	698.2	6.9
30	900	847.5	5.8
35	1050	1000	4.8
40	1200	1151	4.1
45	1350	1297	3.9
50	1500	1439	4.1

Tabla 11.6: Variación de la velocidad síncrona, velocidad del motor y del deslizamiento con respecto a la frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

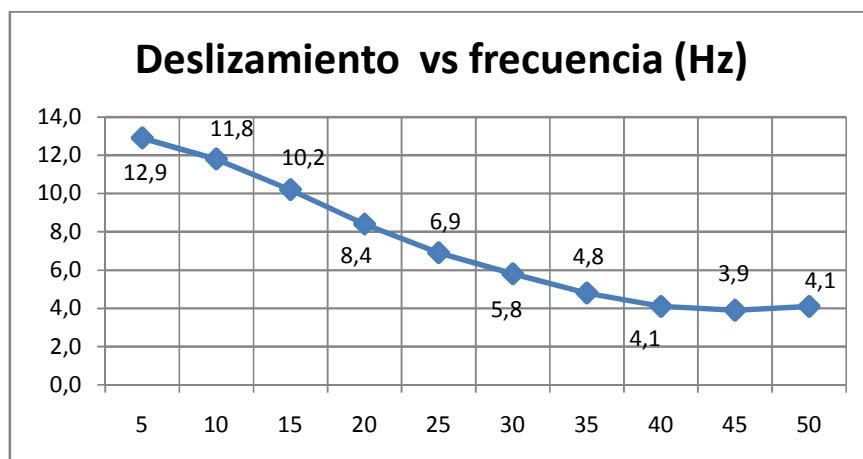


Figura 11.119: Gráfica deslizamiento versus frecuencia para una carga mecánica que requiere 4A en la corriente de línea operando a 50Hz empleando el método de control VVCplus.

En la experimentación siguiente, se procede a observar regulación de velocidad. Reducir la carga mecánica al mínimo. A continuación arrancar el motor, fijar la velocidad en 900rpm y aumentar la carga mecánica en pasos de 1A, hasta llegar a la corriente nominal de 7A, partiendo de la condición en vacío. En la tabla 11.7 se muestra la variación de la velocidad y de la corriente. Los resultados muestran que la velocidad disminuye 28.3rpm desde su condición de velocidad en vacío. Esto indica que la regulación de velocidad empleando el método de control VVCplus es mejor que empleando el método U/f. Tomar en cuenta que no se emplea sensor para medir la velocidad real del motor, dado que el drive la aproxima empleando ambos métodos de control.

Velocidad	Corriente (A_{RMS})
900.5	3.3 (vacío)
894.6	4.1
890.6	5.0
882.4	5.9
872.2	7.0

Tabla 11.7: Regulación de velocidad empleando el control VVCplus.

11.13. Forma de onda de la corriente de entrada al drive y análisis de armónicos empleando el analizador de energía Fluke 434 para las frecuencias de operación de 15Hz, 30Hz y 50Hz.

Emplear el control de freno MV1045 para variar la carga mecánica hasta que la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor sea de 4A. Fijar la frecuencia de operación del drive en 50Hz.

Para adquirir la forma de onda de la corriente de entrada al drive, es necesario conocer los cables que se conectan a las terminales de alimentación del drive; estos son los cables con las marquillas 1, 2 y 3 que se conectan a las borneras L1 (91), L2 (92) y L3 (93) que corresponden a la alimentación trifásica del drive. Conectar la punta de prueba de corriente al cable con la marquilla 1 y que se conecta a L1 (91); se toma como referencia que la corriente ingresa hacia L1. Esto se observa en la Fig. 11.120.

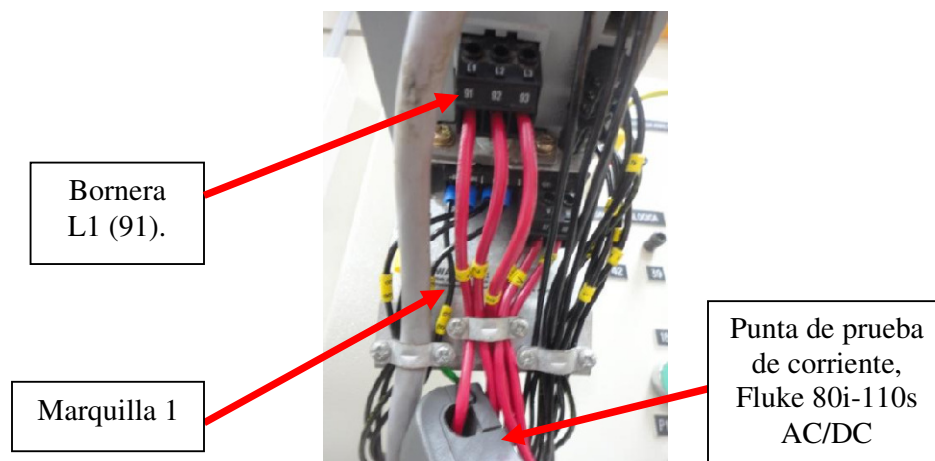


Fig. 11.120: Punta de prueba de corriente, Fluke 80i-110s AC/DC, conectada al cable cuya marquilla es 1.

En la Fig. 11.121 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Danfoss FC302 operando a 50Hz. Se ajustó el trigger del osciloscopio en el canal B. Observar que la corriente RMS de entrada es menor a la corriente de línea del motor; el valor pico de la corriente de entrada es 5A. En la Fig. 11.122 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Danfoss FC302 operando a 50Hz. En la Fig. 11.123 se muestran las formas de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive Danfoss FC302 operando a 50Hz.

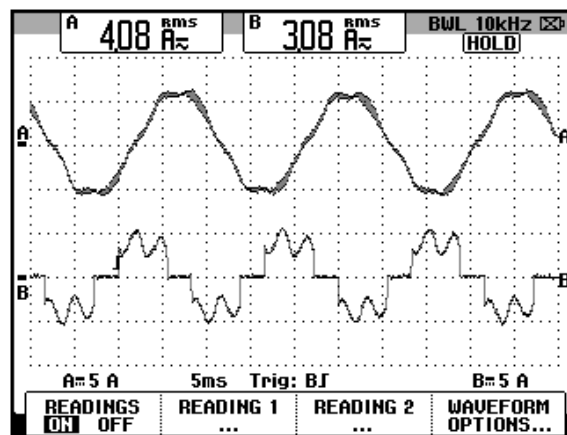


Figura 11.121: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

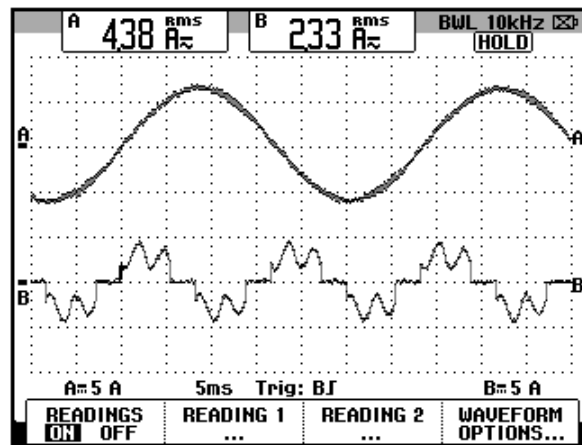


Figura 11.122: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

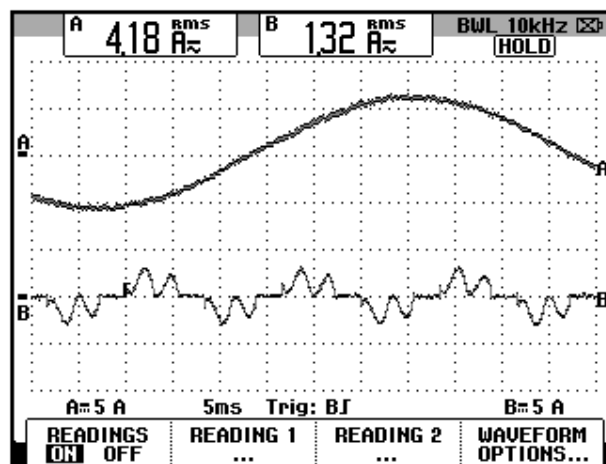


Figura 11.123: Forma de onda de la corriente hacia la terminal U1 del motor y de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

Para observar las componentes armónicas de la corriente de entrada al drive, configurar el analizador de energía Fluke 434 tal como se muestra en la Fig. 11.124. Elegir la configuración 3 Φ WYE. Es importante configurar la

frecuencia de operación en 60Hz, dado que es la frecuencia nominal del voltaje de la red eléctrica del Laboratorio. Observar la configuración de las puntas de prueba de corriente (Clamp). En la Fig. 11.125 se muestra la conexión entre el analizador de energía y el sistema eléctrico analizado.

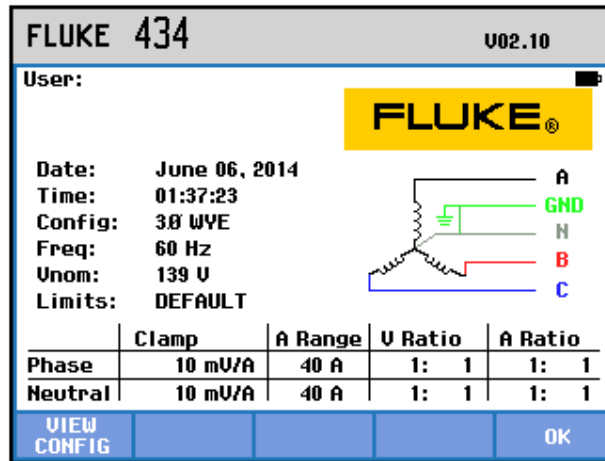


Figura 11.124: Ajuste del menú SETUP del analizador de energía.

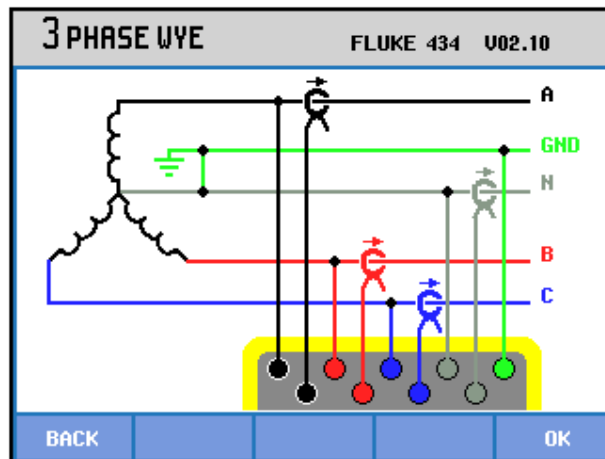


Figura 11.125: Conexión entre el analizador de energía y el sistema analizado.

Debido a que el panel eléctrico Danfoss no dispone de borneras para acceder a las terminales de alimentación del drive, en las cuales sea posible conectar las puntas de prueba de voltaje del analizador de energía, no se deben conectar las mismas durante la práctica. Al igual que en el capítulo 9, se prescinde de la conexión de las puntas de prueba de voltaje a excepción de la punta de prueba de tierra, la cual se conecta a la bornera 99 del panel Danfoss, tal como se observa en la Fig. 11.126; se emplea un cable banana para conectar la punta de prueba. En la Fig. 11.127 se muestran las puntas de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC enganchadas a los cables conectados a las borneras L1, L2 y L3 del drive. En la Fig. 11.128 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive para una frecuencia de operación de 50Hz. En la Fig. 11.129 se muestra la tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive para una frecuencia de operación de 50Hz. No considerar los valores correspondientes al neutro ni en esta ni en las próximas mediciones.

En la Fig. 11.130 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive para una frecuencia de operación de 30Hz. A partir de la armónica 9 es posible despreciar las componentes armónicas. En la Fig. 11.131 se muestra la tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de operación de 30Hz. En la Fig. 11.132 se muestra la gráfica de armónicos de las corrientes de entrada al drive para una frecuencia de operación de 15Hz. A partir de la armónica 9 es posible despreciar las componentes armónicas. En la Fig. 11.133 se muestra la tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive para una frecuencia de

operación de 15Hz. Se observa que el drive Danfoss FC302 introduce, a las redes eléctricas del Laboratorio, principalmente las señales armónicas 5 y 7. Además, a medida que la frecuencia de operación disminuye, las componentes armónicas 5 y 7 aumentan en su magnitud.

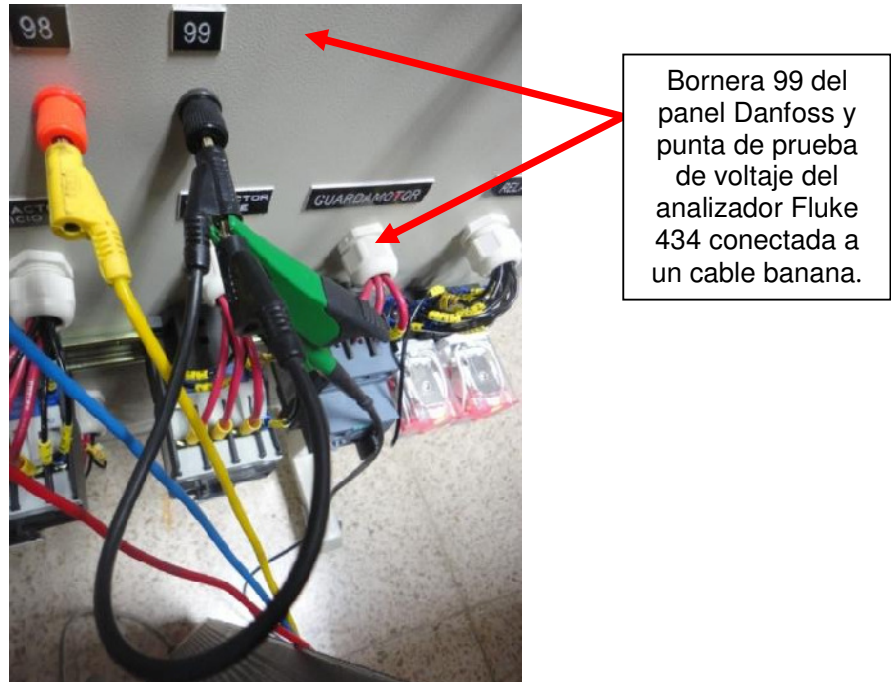


Figura 11.126: Conexión de la punta de prueba de voltaje del analizador de energía Fluke 434 a la terminal 99 del drive.

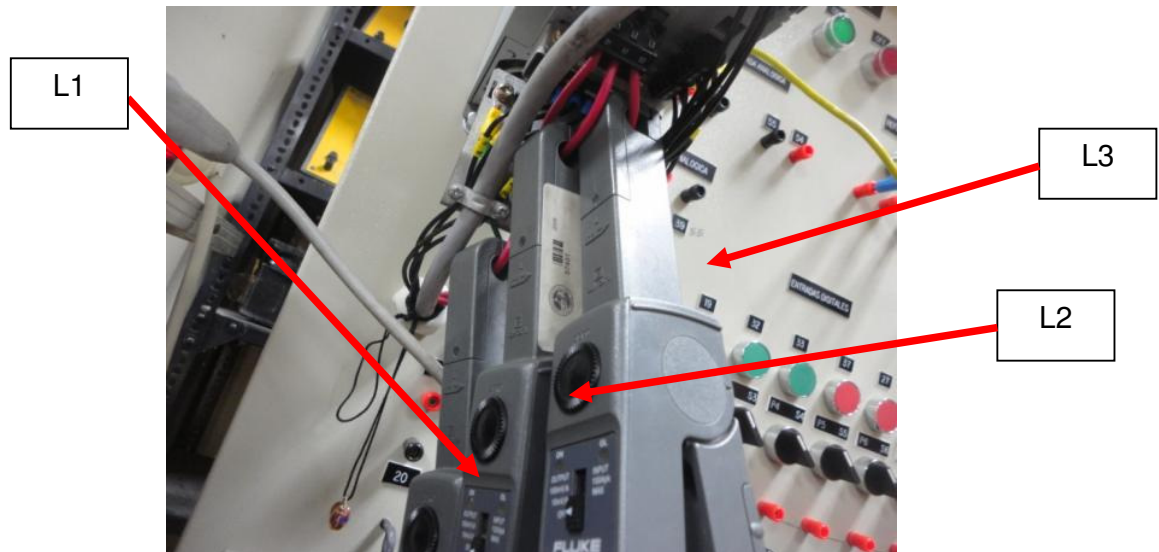


Figura 11.127: Enganche de las puntas de prueba de corriente Fluke 80i-110s AC/DC a los cables conectados a las borneras L1, L2 y L3 del drive.

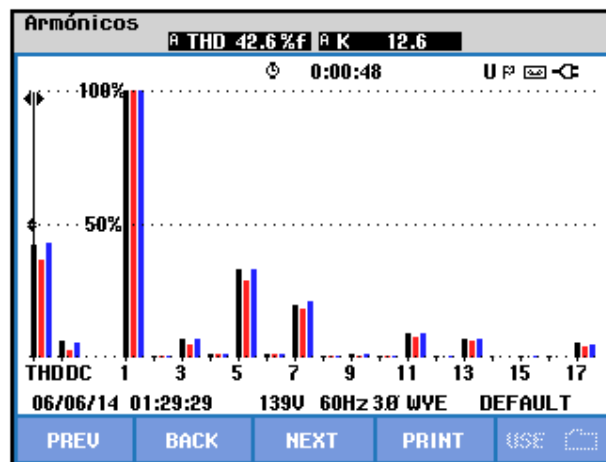


Figura 11.128: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada a la terminal L1 del drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS				
0:03:12 U P				
Amp	A	B	C	N
THD%f	40.9	36.4	41.3	690.5
H3%f	5.9	4.0	5.8	92.6
H5%f	32.5	28.5	32.0	95.3
H7%f	18.9	17.6	20.2	97.8
H9%f	0.9	0.4	1.2	89.8
H11%f	9.3	7.8	8.6	90.9
H13%f	7.0	6.2	7.3	85.4
H15%f	0.6	0.2	0.6	94.0

06/06/14 01:31:53 139U 60Hz 3Ø WYE DEFAULT

PREV BACK NEXT PRINT USE

Figura 11.129: Tabla de armónicos de las corrientes de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 50Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

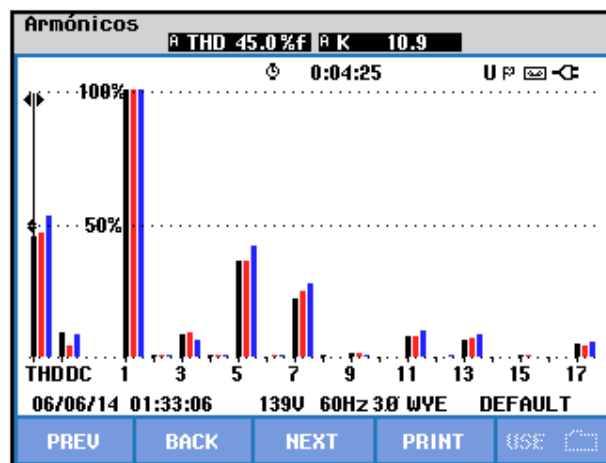


Figura 11.130: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS				
Amp	A	B	C	N
THD%f	45.4	45.9	53.8	960.1
H3%f	9.3	8.7	6.5	98.2
H5%f	36.0	35.6	41.9	96.8
H7%f	22.1	24.0	27.4	103.1
H9%f	1.6	1.3	0.5	99.2
H11%f	8.0	7.7	9.9	100.1
H13%f	6.2	6.8	8.2	105.0
H15%f	0.9	0.8	0.2	99.3

06/06/14 01:33:19 139U 60Hz 3Ø WYE DEFAULT

PREV BACK NEXT PRINT USE

Figura 11.131: Tabla de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 30Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

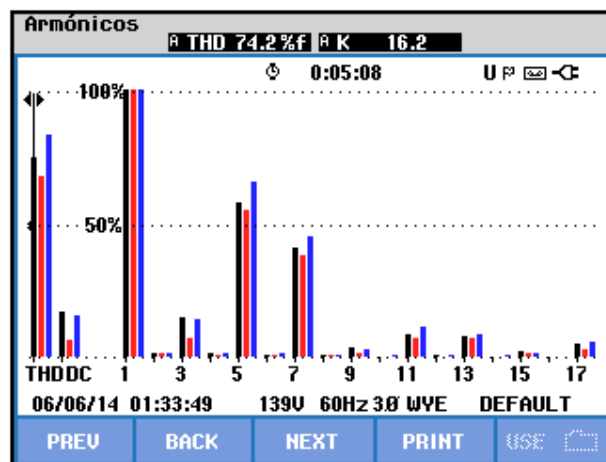


Figura 11.132: Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

TABLA ARMÓNICOS				
Amp	A	B	C	N
THD%f	73.6	69.3	81.7	662.3
H3%f	13.3	6.5	11.9	103.8
H5%f	57.8	55.8	64.8	102.5
H7%f	41.0	38.3	44.8	129.3
H9%f	2.9	1.5	2.6	120.2
H11%f	8.0	7.1	11.2	104.3
H13%f	7.8	7.2	8.9	97.2
H15%f	2.0	1.7	1.1	100.3
06/06/14 01:34:13 139U 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
PREV	BACK	NEXT	PRINT	USE

Figura 11.133 Gráfica de armónicos de la corriente de entrada al drive cuya frecuencia de operación es 15Hz y bajo carga mecánica que requiere 4A de corriente a 50Hz.

11.14. Control de torque.

A continuación, se procede a observar el control de torque empleando el drive Danfoss, para ello, configurar el parámetro 1-01 en la opción [3] Lazo cerrado Flux, tal como se muestra en la Fig. 11.134. Configurar el parámetro 1-00 Modo configuración en la opción [2] Par lazo cerrado, tal como se muestra en la Fig. 11.135.



Figura 11.134: Parámetro 1-01 Principio control motor: Lazo cerrado Flux.



Figura 11.135: Parámetro 1-00 Modo configuración: Par lazo cerrado.

Verificar los ajustes de los parámetros siguientes:

- 1-03 Características de par: [0] Par constante.
- 1-05 Configuración modo local: [2] Según par. 1-00.
- 3-13 Lugar de referencia: [0] Conex. a manual/auto.

El fabricante del drive recomienda que, previo a realizar el control de par, efectuar un procedimiento AMA completo; el mismo se realizó al inicio de esta sección.

Presionar el botón STATUS y fijar el torque del motor en 7N.m, tal como se muestra en la Fig. 11.136. Presionar el botón HAND ON para arrancar el motor.



Figura 11.136: Ajuste de referencia de torque en 7N.m.

En la Fig. 11.137 se muestra la variación de torque y de velocidad. Emplear el voltaje en el banco resistivo MV1100 conectado a la salida analógica 42 para visualizar el torque del motor. Recordar que el máximo voltaje en la resistencia del banco MV1100 es de 5V, dado que la resistencia es de 250Ω y la máxima corriente es de 20mA; por lo que al aumentar el valor de la referencia de torque, verificar que el valor del voltaje en la resistencia del banco no supere este valor. En 7N.m, el voltaje en el banco es cercano a 3.4V. Se emplea el control de freno MV1500 para crear una resistencia mecánica al motor y se observa que el torque permanece constante mientras que la velocidad del motor disminuye. El potenciómetro BRAKE FORCE del control de freno MV1045, alcanza la posición máxima. En el control de torque, la velocidad puede variar significativamente ante cambios en la carga. Observar que a 7N.m, la velocidad del motor es muy baja; sin carga mecánica aplicada, la velocidad es de 61.37rpm mientras que al aplicar la máxima carga mecánica posible, la velocidad se reduce a 45.39rpm. Observar que el voltaje generado por el taco-generador DC MV1024, no supera el valor de 1.5V.

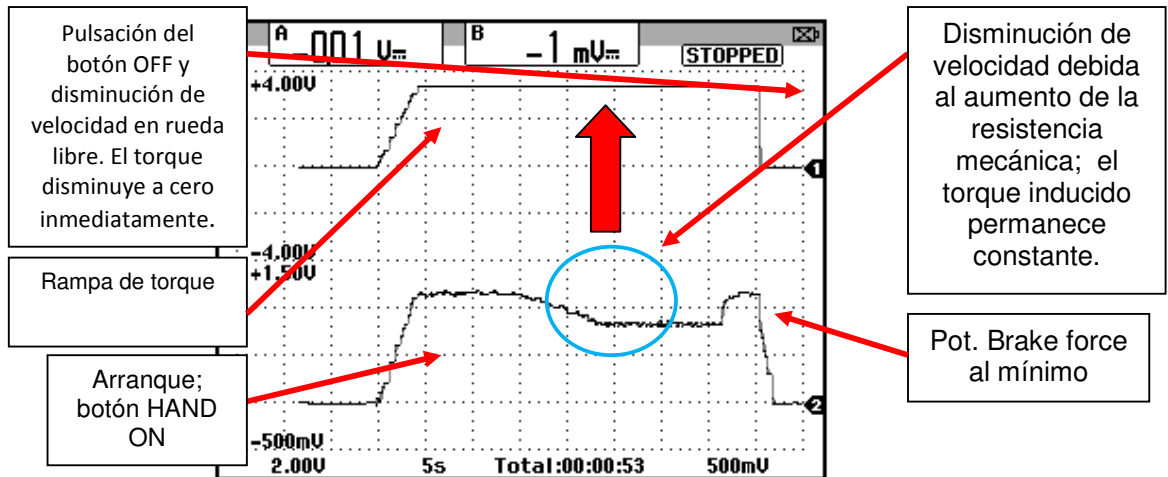


Figura 11.137: Torque inducido y velocidad del motor durante el control de par.

Ajustar los valores de los siguientes parámetros:

- 3-13 Lugar de referencia: [1] Remoto.
- 1-00 Modo configuración: Veloc. Lazo abierto.
- 1-01 Principio control motor: VVCplus.
- 1-05 Configuración modo local: Lazo abierto Veloc.

11.15. Velocidades preseleccionadas.

Verificar que las terminales 27 y 29 del drive estén configuradas como entradas, como se muestra a continuación:

- 5-01 Terminal 27 modo E/S: [0] Entrada.
- 5-02 Terminal 29 modo E/S: [0] Entrada.

A continuación, se procede a configurar las velocidades preseleccionadas. Para ello, se requiere ajustar 8 valores de velocidad. El drive permite 8 valores debido a que existen tres entradas de digitales: LSB, MSB y EXB con las cuales se logran 8 combinaciones. Presionar el botón STATUS y comprobar que el porcentaje de la referencia se encuentra en 0% si el potenciómetro de precisión se ha girado completamente en sentido anti-horario. Configurar los 8 posibles valores del parámetro 3-10 Referencia interna de la siguiente manera:

- Parámetro 3-10 Referencia interna[0]: 10%. Luego de configurar este parámetro, al presionar el botón STATUS, el porcentaje de referencia cambia a 10%. Al girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de precisión, se observa que la referencia mínima es 10%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[1]: 20%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[2]: 30%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[3]: 40%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[4]: 50%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[5]: 70%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[6]: 85%.
- En el parámetro 3-10 Referencia interna[7]: 100%.

De esta manera se expresa cada una de las 8 posibles velocidades como porcentaje del parámetro 3-03 Referencia máxima.

Es posible configurar el menú 5** E/S digital de tal forma que se configuren las botoneras conectadas a las entradas digitales del panel Danfoss. Para ello, configurar las entradas digitales de la siguiente forma:

- Parámetro 5-10 Terminal 18 Entrada Digital: [8] Arranque.
- Parámetro 5-11 Terminal 19 Entrada Digital: [10] Cambio de sentido.
- Parámetro 5-12 Terminal 27 Entrada Digital: [2] Inercia.
- Parámetro 5-13 Terminal 29 Entrada Digital: [16] Ref. interna LSB.
- Parámetro 5-14 Terminal 32 Entrada Digital: [17] Ref. interna MSB.
- Parámetro 5-15 Terminal 33 Entrada Digital: [18] Ref. interna EXB.

La operación con velocidades preseleccionadas funciona si se ha configurado el parámetro 1-00 Modo Configuración, en [0] Veloc. Lazo Abierto. Continuar con los siguientes pasos:

- Acceder al menú STATUS y presionar el botón **AUTO ON** del panel de control local.
- Pulsar la botonera 18 hasta que el motor llegue a la máxima velocidad. Al soltar la botonera, el drive aplica la rampa de desaceleración para detener al motor.
- Mantener presionada la botonera 18 y luego presionar la botonera 19 para cambiar el sentido de giro.
- Si se mantiene presionada la botonera 18 y luego se presiona la botonera 27, el motor se detiene en rueda libre. Luego de presionar la botonera 27, soltar en primer lugar la botonera 18 y luego soltar la

mientras que el uno representa lo contrario. Presionar la botonera 18 para arrancar el motor.

33 (EXB)	32 (MSB)	29 (LSB)	Porcentaje de referencia (%)	Velocidad (rpm)
0	0	0	10	143.4
0	0	1	20	283.6
0	1	0	30	423.6
0	1	1	40	564.0
1	0	0	50	703.4
1	0	1	70	983.0
1	1	0	85	1194
1	1	1	100	1403

Tabla 11.8: Estados lógicos de las entradas digitales 29, 32 y 33 y porcentaje de referencia con su correspondiente velocidad.

Ajustar los tres selectores MV1500 en la posición cero, correspondiente a circuito abierto. Adicionalmente, ajustar la posición de los selectores del panel en la posición izquierda.

Es posible observar el estado de las entradas digitales en el parámetro 16-60 Entrada digital, tal como se muestra en la Fig. 11.139.



Figura 11.139: Parámetro 16-60 Entrada digital.

El orden de los bits de izquierda a derecha y la entrada digital correspondiente se muestra a continuación:

- Bit 5: Entrada digital 18.
- Bit 6: Entrada digital 19.
- Bit 7: Entrada digital 27. De la botonera conectada a la terminal 27 del drive, se emplea el contacto normalmente cerrado, que permite que al estar la botonera sin presionarse, exista un uno lógico en la terminal 27 del drive.
- Bit 8: Entrada digital 29.
- Bit 9: Entrada digital 32.
- Bit 10: Entrada digital 33.

Configurar los parámetros siguientes:

- 5-13 Terminal 29 entrada digital: [0] Sin función.
- 5-14 Terminal 32 entrada digital: [0] Sin función.
- 5-15 Terminal 33 entrada digital: [0] Sin función.

11.16. Empleo del control de lógica inteligente (SLC) desde el HMI del variador.

El SLC es una secuencia de acciones definidas por el usuario que son ejecutadas cuando los eventos asociados definidos por el usuario son evaluados como verdaderos por el Smart Logic Control.

Seguir los siguientes pasos:

- Pulsar la tecla MAIN MENU, luego acceder al parámetro 13-00 Modo Controlador SL y elegir la opción [1] Sí, tal como se muestra en la Fig. 11.140.



Figura 11.140: Habilitación del modo Controlador SL.

- En el parámetro 13-20 Temporizador Smart Logic, ingresar 00:00:11.000 en el temporizador 0. La configuración se muestra en la Fig. 11.141.



Figura 11.141: Configuración del temporizador Smart Logic.

- Acceder al submenú 13-5* Estados y luego elegir el estado 1. Esto se muestra en la Fig. 11.142.



Figura 11.142: Acceso al menú Estados y luego al estado 1.

En el primer estado y en los restantes, se deben configurar dos parámetros: el parámetro 13.51 Evento y el parámetro 13.52 Acción. El evento es un parámetro booleano que en caso de ser verdadero, causa que se ejecute la acción definida en el parámetro 13.52. El drive Danfoss FC302 dispone de 20 estados programables.

En la Fig. 11.143 se muestra la configuración de los parámetros 13.51 Evento Controlador SL y 13.52 Acción controlador SL. Configurar los estados siguientes, tal como se muestra en la tabla 11.9:



Figura 11.143: Configuración de los parámetros 13-51 Evento Controlador SL y 13-52. Acción Controlador SL para el primer estado.

Estado	13.51Evento Controlador SL.	13.52Acción Controlador SL
1 (configurado)	[1] Verdadero	[22] En funcionamiento
2	[2] En funcionamiento	[10] Selec. ref. preselec. 0
3	[1] Verdadero	[29] Tempor. Inicio 0
4	[30] Tiempo límite SL 0	[11] Selec. ref. preselec. 1
5	[1] Verdadero	[29] Tempor. Inicio 0
6	[30] Tiempo límite SL 0	[13] Selec. ref. preselec. 3
7	[1] Verdadero	[29] Tempor. Inicio 0
8	[30] Tiempo límite SL 0	[23] Fun. sentido inverso
9	[1] Verdadero	[29] Tempor. Inicio 0
10	[30] Tiempo límite SL 0	[12] Selec. ref. preselec. 2
11	[1] Verdadero	[29] Tempor. Inicio 0
12	[30] Tiempo límite SL 0	[24] Parada

Tabla 11.9: Configuración de estados de acuerdo al evento y la acción.

Configurar los siguientes parámetros:

- 13-01 Evento arranque: [39] Comando de arranque.
- 13-02 Evento parada: [36] Entrada digital DI29.

De esta forma, al presionar la botonera conectada a la entrada digital 18, se inicia la secuencia SLC y se la finaliza al accionar el interruptor MV1500 conectado a la entrada digital 29.

Girar completamente en sentido anti-horario el potenciómetro de precisión, luego presionar el botón STATUS, a continuación presionar el botón AUTO ON y en último lugar, presionar la botonera conectada a la terminal 18. Esta entrada digital fue configurada previamente con un comando de arranque; el parámetro correspondiente es el parámetro 5-10 Terminal 18 Entrada digital.

Presionar dos veces el botón STATUS para observar la descripción de los estados actuales durante la secuencia SLC.

En la Fig. 11.144 se muestra la variación de la velocidad al acceder a la opción Registros, luego de presionar el botón QUICK MENU. La velocidad cambia cada 10 segundos tal como se configuró en el parámetro 13-20. Se presiona la botonera conectada a la entrada digital 29 para poder detener la secuencia SLC y simultáneamente el motor.

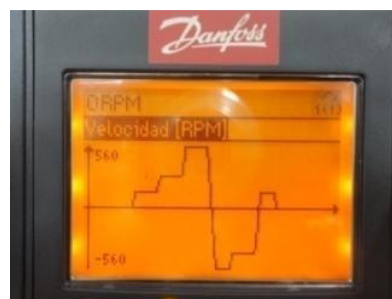


Figura 11.144: Variación de la velocidad empleando la secuencia SLC vista desde la opción Registros luego de presionar el botón QUICK MENU.

11.17. Empleo del control de lógica inteligente (SLC) desde el software MCT11.

En la Fig. 11.145 un cable USB A/B, que sirve para conectar el drive Danfoss al PC. En la Fig. 11.146 se muestra el puerto USB del drive Danfoss.



Figura 11.145: Cable USB A/B.

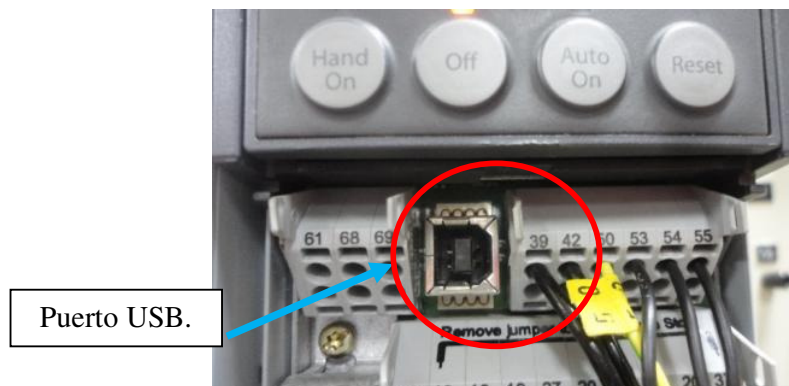


Figura 11.146: Cable USB A/B.

Luego de conectar el cable USB A/B, abrir el software MCT11. En la ventana que aparece, dar clic en la sección USB del menú árbol de la izquierda y

luego en el símbolo del drive con sus especificaciones técnicas para desplegar los menús del drive. Esto se muestra en la Fig. 11.147.

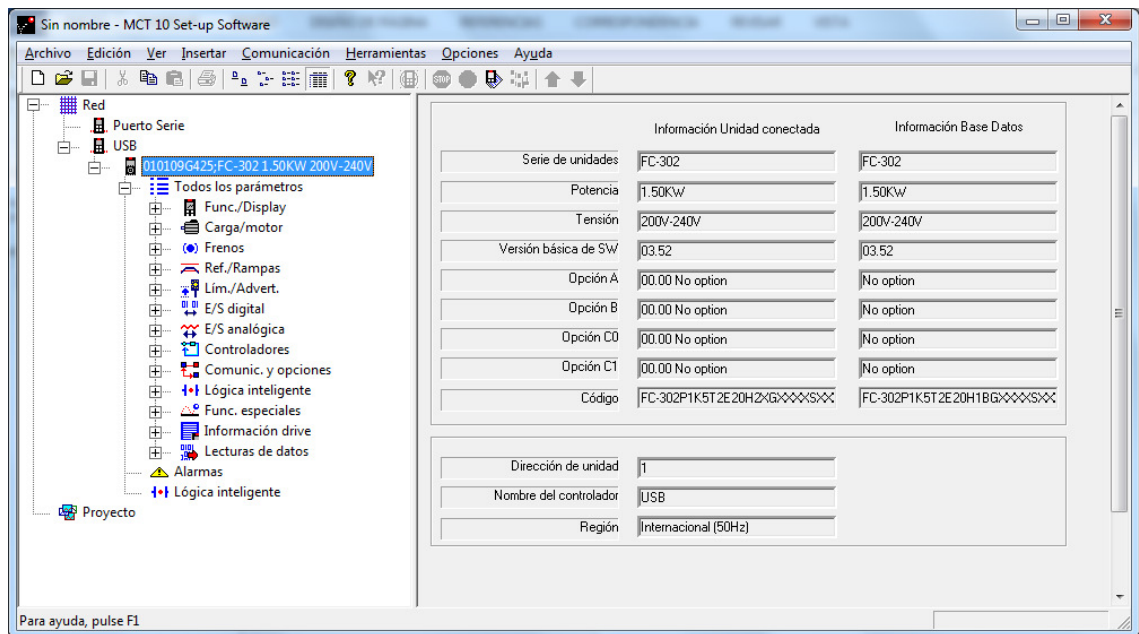


Figura 11.147: Ventana del software MCT10 donde se muestra las características del drive Danfoss conectado.

Para habilitar el modo de funcionamiento con lógica inteligente, acceder al menú árbol, luego elegir la opción "Todos los parámetros", luego acceder a la opción Lógica inteligente y luego la opción Ajustes SLC. Finalmente, en la ventana de la derecha, verificar que el parámetro Modo Controlador SL tenga el valor ON. Esto se muestra en la Fig. 11.148.

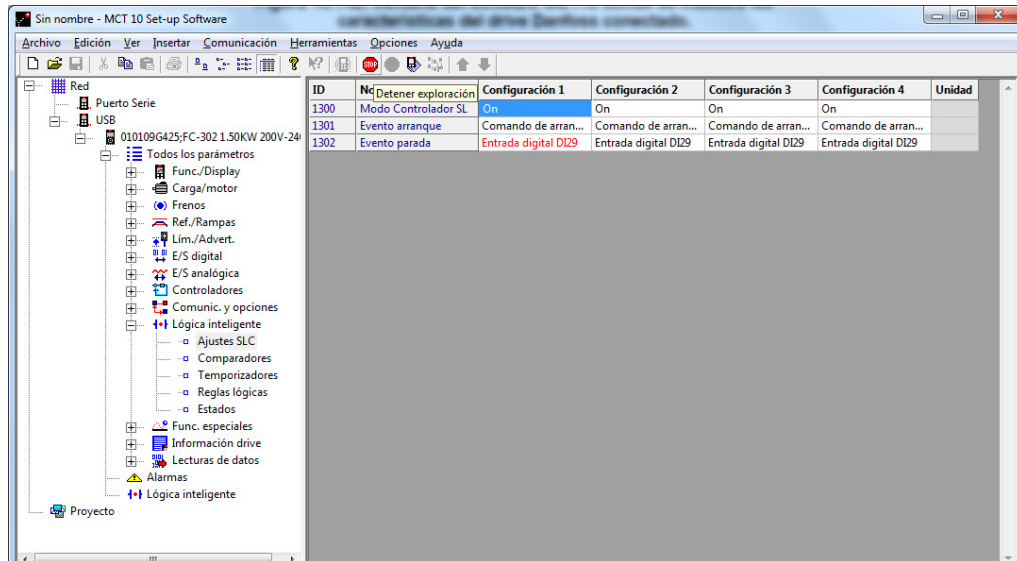


Figura 11.148: Ventana del software MCT10 donde se muestra la habilitación del Modo Controlador SL.

A continuación, se requiere configurar el tiempo entre cada evento de la secuencia SLC. Para ello, dentro de la opción Lógica inteligente, elegir la opción Temporizadores y en la configuración 1 del parámetro Temporizador Smart Logic Controller, fijar el valor de 10 segundos tal como se muestra en la Fig. 11.149.

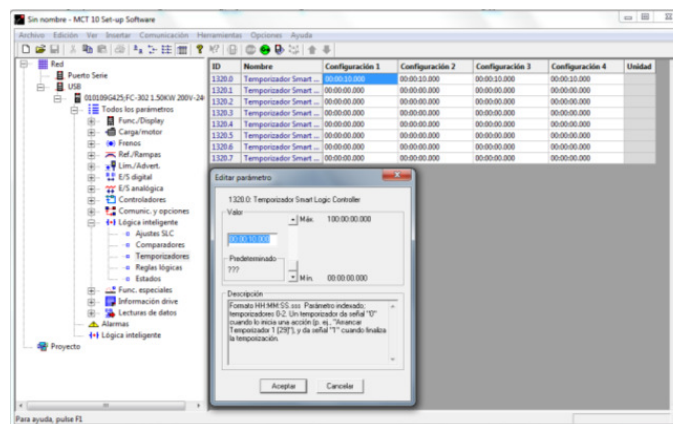


Figura 11.149: Ventana del software MCT10 donde se muestra configuración de la temporización entre eventos de 10 segundos.

Para fijar las referencias de velocidad, acceder al menú árbol y elegir la opción “Todos los parámetros”, luego la opción “Ref./Rampas Referencias” y luego la opción Referencias. Las referencias utilizadas se muestran en la tabla 11.10.

ID	Nombre	Configuración 1
311.0	Referencia Interna	50
311.1	Referencia Interna	5
311.2	Referencia Interna	-50
311.3	Referencia Interna	-5

Tabla 11.10: Configuración de cuatro referencias internas.

Para realizar la programación de la secuencia inteligente, dentro del menú árbol, acceder a Lógica Inteligente ubicado debajo de la opción Alarmas y luego implementar la programación mostrada en la Fig. 11.150.

A diferencia de la sección anterior, donde se programaron 12 estados, en la Fig. 11.150, se observa que se programan 10 estados. Para eliminar estados, dar clic derecho sobre un estado y elegir la opción “Delete selected pair”. Si se requiere añadir un estado, dar clic derecho sobre un estado y elegir la opción “Add pair before selected”; con esta elección, se añade un estado previo al estado en el cual se dio clic. Si se requiere añadir un estado al final de la secuencia, dar clic derecho en la parte inferior del último estado y elegir la opción “Add pair to end”.

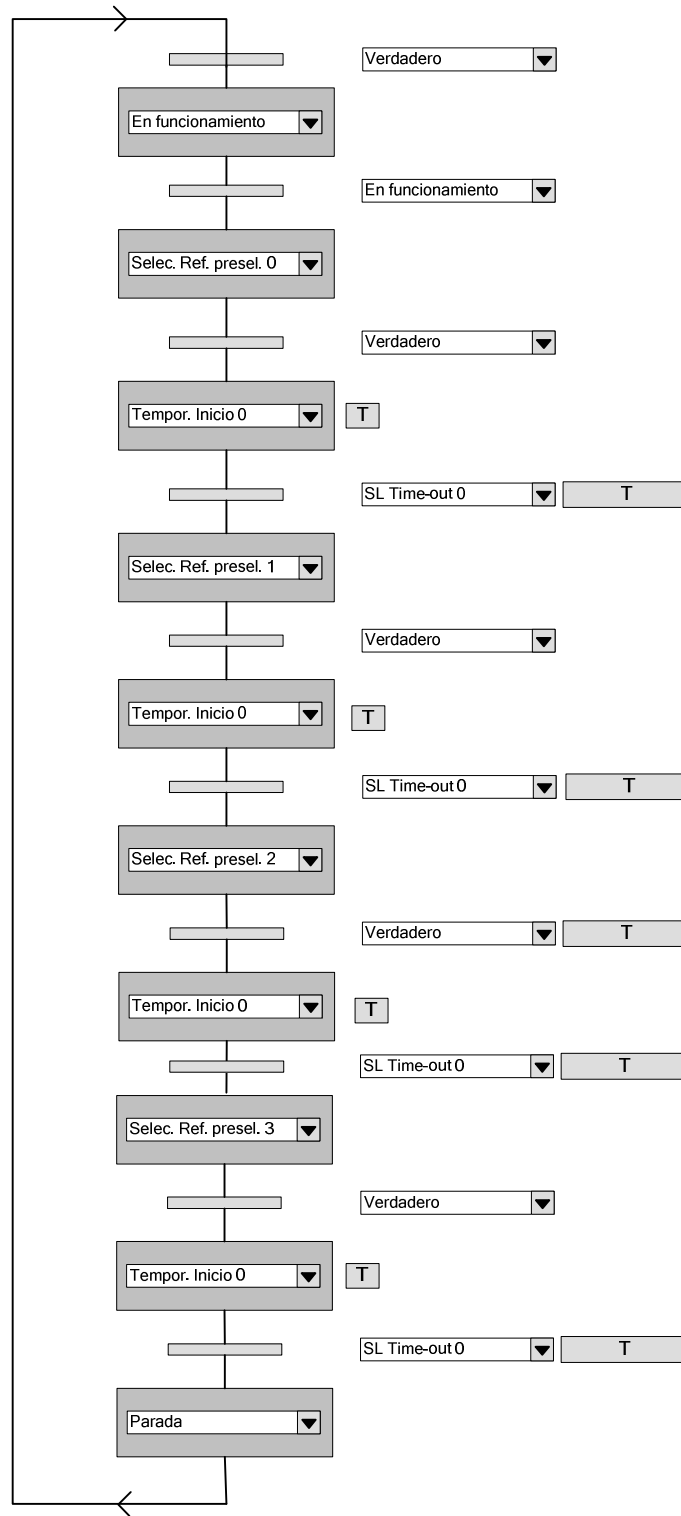


Figura 11.150: Programación de la lógica inteligente.

Al dar clic sobre el área donde se encuentra la secuencia SLC, es posible acceder a los ajustes de SLC. Los mismos se muestran en la Fig. 11.151. Presionar el botón AUTO ON. Para iniciar la secuencia, presionar la botonera conectada a la entrada digital 18; se le impone al motor la velocidad correspondiente al 50% de la velocidad establecida en el parámetro 3-03 Referencia máxima. Para detener la secuencia, accionar el interruptor MV1500 conectado a la entrada digital 29.

En la Fig. 11.152, se muestran dos ciclos de la secuencia SLC.

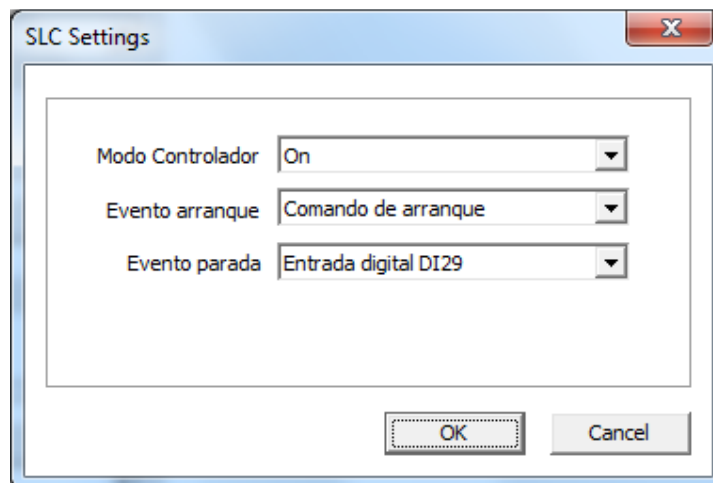


Figura 11.151: Ajustes de la lógica inteligente.

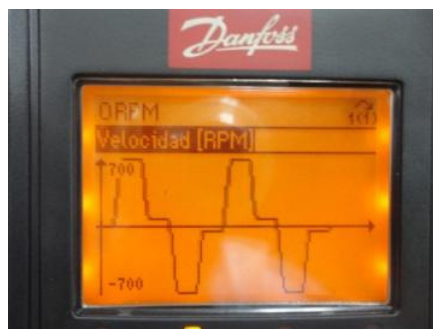


Figura 11.152: Variación de la velocidad del motor empleando la secuencia SLC.

A continuación, se explica la secuencia SLC:

- Para acceder al primer estado, se requiere de un evento de arranque, este evento se configura en el parámetro 13-01 Evento arranque con el ajuste [39] Comando de arranque. Al presionar la botonera conectada a la terminal 18, existe un uno lógico en esta terminal y de acuerdo al ajuste del parámetro 5-10 Terminal 18 entrada digital que corresponde a [8] Arranque, el drive arranca el motor y entra en funcionamiento.
- En el segundo estado, se requiere que el motor se encuentre en funcionamiento para seleccionar la referencia preseleccionada 0, la cual corresponde al 50% del valor del parametro 3-03 Referencia máxima. La referencia preseleccionada 0 se encuentra ajustada en el parámetro 3-10 Referencia interna [0].
- Se accede directamente a la acción a ejecutarse en el estado 3, dado que el evento es verdadero para cualquier situación. En este estado empieza la temporización definida en el parametro 13-20 del temporizador 0. Es posible programar 7 temporizadores. La temporización es de 10 segundos.
- Para que se ejecute la acción del estado 4, es necesario que finalice la temporización del temporizador 0. Al ocurrir esto, se cambia de velocidad especificada por la Referencia preseleccionada 1, correspondiente al parámetro 3-10 Referencia interna [1].

- La programación de los estados 5 al 9 es similar a la programación de los estados tres y cuatro, la diferencia radica en que los valores de velocidad son diferentes.
- Se requiere programar un último estado, en este caso el estado 10 para indicar la finalización de la lógica inteligente SLC. En este estado, la acción a ejecutarse es la parada de la lógica SLC al finalizar la temporización programada en el estado 9.

11.18. Empleo del variador en lazo cerrado para el control del voltaje de un generador DC auto-excitado acoplado a un motor de inducción.

En esta sección se busca emplear el variador Danfoss FC302 en lazo cerrado. La variable a controlar es el voltaje generado por un generador DC auto-excitado. Al variar la carga eléctrica del generador DC, su voltaje generado varía de forma inversa; es decir, que si aumenta la corriente de armadura, el voltaje terminal del generador disminuye. El drive se emplea para contrarrestar esta disminución de voltaje al aumentar la frecuencia de operación del motor MV1009 que actúa como primo-motor del generador. Los fundamentos del experimento se realizaron en la sección 9.7 del capítulo 9. Se recomienda consultar esta sección a medida que se progresa en el desarrollo de este experimento.

Confirmar que el disyuntor se encuentre repuesto. Acoplar la máquina MV1006 con el motor de inducción MV1009. No realizar ninguna conexión en la máquina MV1006.

Girar completamente y de forma delicada en sentido horario, el potenciómetro de precisión. Encender el drive y presionar la botonera ON/MOTOR.

Configurar el siguiente parámetro:

- 3-10 Referencia interna [0]: 0.00%.
- 3-03 Referencia máxima: 1500 rpm. Es necesario esta configuración para poder alcanzar la frecuencia nominal correspondiente a 50Hz.

Presionar **HAND ON** para arrancar el motor y fijar la frecuencia de operación en 50Hz. Empleando el multímetro Fluke 87V, se busca determinar la terminal de armadura del generador que tiene polaridad positiva de acuerdo al sentido de giro del eje del motor; en nuestro caso es la terminal A2. Esto se muestra en la Fig. 11.153.

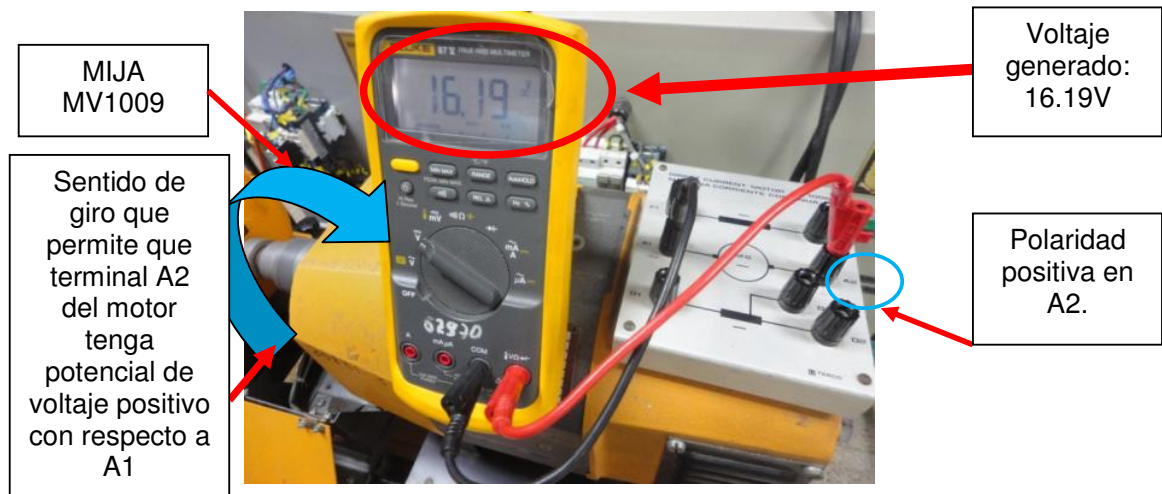


Figura 11.153: Voltaje de armadura generado con potencial de voltaje positivo en la terminal A2 del generador operando en marcha.

A continuación, conectar de forma directa, las terminales de la máquina MV1006. Esto se muestra en la Fig. 11.154. En la Fig. 11.155 se muestra la variación del voltaje generado y de la velocidad durante el arranque del motor y posterior detención.

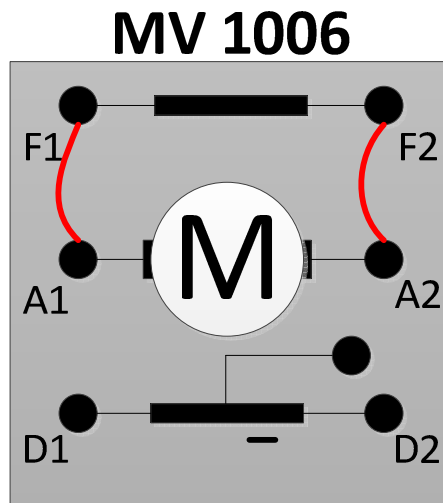


Figura 11.154: Conexión directa entre las terminales de armadura de la máquina MV1006.

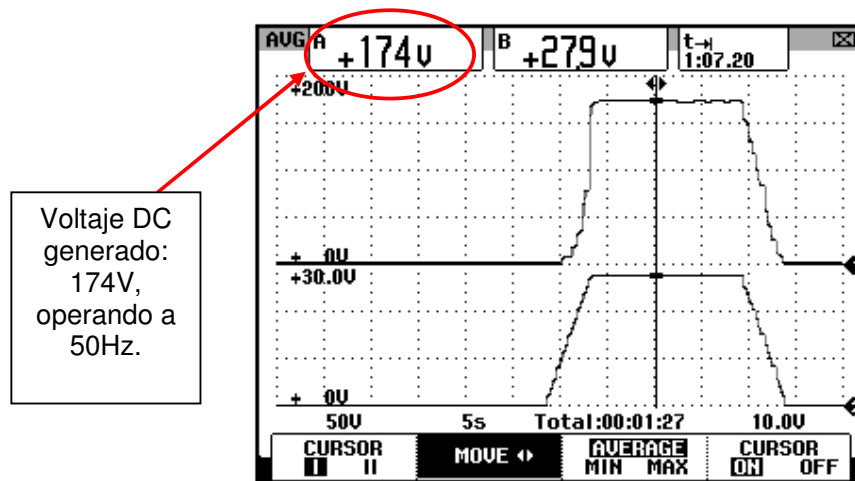


Figura 11.155: Variación del voltaje DC generado y de la velocidad durante el arranque y detención del motor MV1009 empleando la conexión directa entre las terminales de la máquina MV1006.

Se comprueba que la conexión mostrada en la Fig. 11.154, es la conexión de la máquina MV1006 requerida para el control del voltaje generado en lazo cerrado. En la Fig. 11.153 se ha determinado el sentido de giro necesario del motor para poder obtener voltaje generado cercano al nominal de la máquina MV1006, es decir, 220V. Dependiendo de la máquina MV1006 empleada para la práctica, es posible que la conexión que permite que el voltaje generado sea máximo, sea la conexión indirecta de las terminales. El código de inventario de la máquina MV1006 empleada en este documento es 20831-3.

Realizar las conexiones entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1962 tal como se muestra en la Fig. 11.156. Observar que la conexión se realiza entre las terminales de campo F1 y F2 con las terminales del reóstato. No emplear las terminales de armadura A1 ni A2 dado que posteriormente será necesario enganchar la punta de prueba de corriente Fluke al cable que

conecta A2 con F2 para medir el valor de la corriente de la armadura de la máquina MV1006.

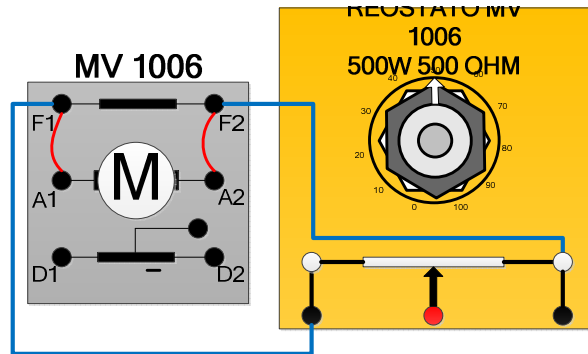


Figura 11.156: Conexión entre la máquina MV1006 y el reóstato MV1006.

Presionar HAND ON para arrancar el motor y fijar la frecuencia de operación del drive en su valor máximo, es decir, 50Hz; a continuación, regular un divisor de tensión empleando el multímetro Fluke 87V, de tal forma que se disponga de aproximadamente 9.5V entre la terminal central del reóstato y la terminal izquierda del mismo. En la Fig. 11.157, se muestra la medición del divisor de tensión.

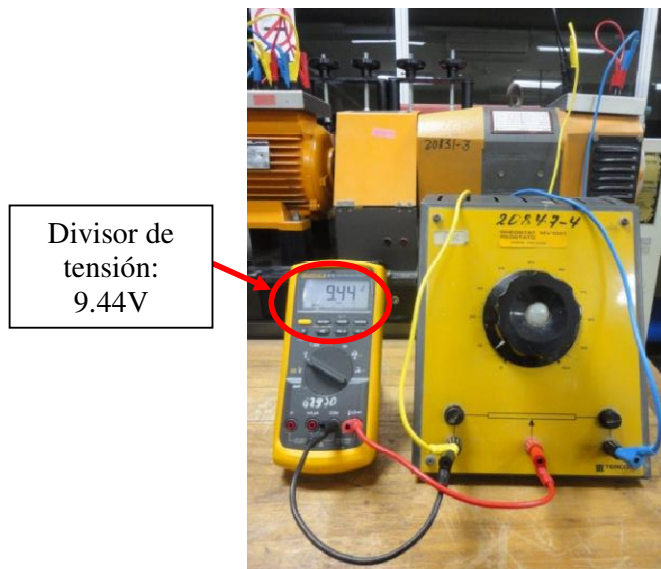


Figura 11.157: Divisor de tensión empleando el reóstato MV1962.

De esta forma se han identificado las terminales del reóstato MV1962 que deben ser conectadas a la tarjeta electrónica del panel Danfoss; la terminal izquierda corresponde a la referencia de voltaje.

Detener el motor y realizar la conexión mostrada en la Fig. 11.158. Realizar esta conexión verificando la referencia de voltaje del reóstato y de la tarjeta electrónica. Presionar el interruptor para la energización de la tarjeta.

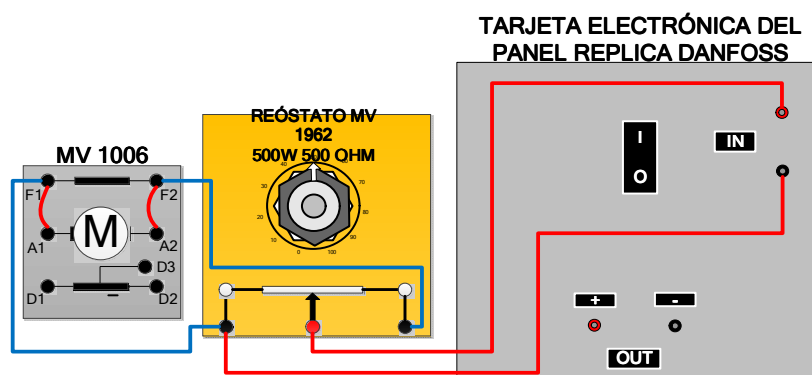


Figura 11.158: Conexiones entre la máquina MV1006, el reóstato MV1962 y la tarjeta electrónica del panel Altivar.

Arrancar el motor y operar el drive a 50Hz. En la Fig. 11.159 se muestra la comparación entre el voltaje de entrada a la tarjeta y el voltaje de salida de la misma. En el multímetro Fluke 87V de la izquierda se muestra el voltaje de entrada a la tarjeta electrónica, mientras que en el multímetro de la derecha, se muestra el voltaje de salida.



Figura 11.159: Voltaje de entrada y voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Danfoss.

En la tabla 11.10, se muestra el voltaje de salida para diferentes valores del voltaje de entrada a la tarjeta electrónica del panel Danfoss. No se requiere obtener esta tabla durante la práctica. En este documento, la misma consta como información adicional. Para la obtención de esta tabla, se empleó una fuente de voltaje DC externa.

En la Fig. 11.160 se muestra la relación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel. Se observa una relación lineal.

Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)
0.496	0.612
0.989	1.105
1.439	1.614
2.008	2.170
2.479	2.646
3.035	3.202
3.503	3.660
4.030	4.194
4.507	4.654
4.994	5.137
5.460	5.598
5.992	6.127
6.447	6.59
7.04	7.17
7.48	7.61
8.03	8.17
8.47	8.59
9.05	9.21
9.47	9.63
9.96	11.09

Tabla 11.11: Comparación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico Altivar.

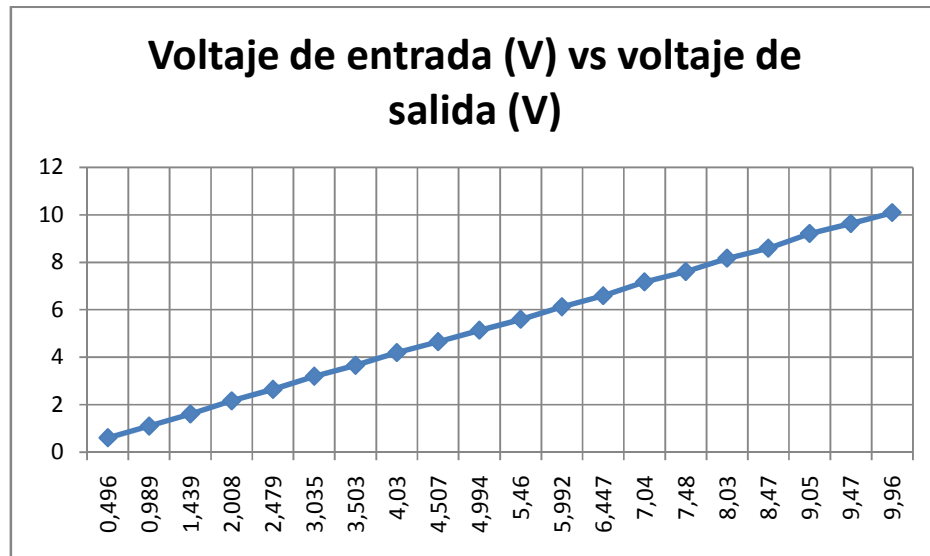


Figura 11.160: Voltaje de entrada vs voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel eléctrico réplica Danfoss.

Presionar el interruptor de la tarjeta electrónica con el fin de des-energizarla.

A continuación, se listan los pasos necesarios para configurar al drive Danfoss para operarlo en lazo cerrado de proceso.

- Desactivar la secuencia SLC al configurar el parámetro 13-00 Modo Controlador SL con la opción [0] No.
- Menú 1** Carga/Motor:
 - 1-00 Modo Configuración: [3] Proceso.
 - 1-05 Configuración modo local: [2] Según par. 1-00.
- Menú 3** Referencias/Rampas:
 - 3-00 Rango de referencia: [0] Mín-Máx.
 - 3-01 Referencia/Unidad realimentación: [0] Ninguno. Debido a que no existe la unidad “voltios”, se configura este parámetro

con la opción “Ninguno”. Se pretende realizar control de voltaje generado cuyas unidades son “voltios”.

- 3-02 Referencia mínima: [0] Ninguno.
- 3-03 Referencia máxima: 174 Ninguno, que corresponde al voltaje DC generado máximo cuando el drive opera a 50Hz. Es posible que durante una práctica este valor sea cercano y no igual a 174V.
- 3-41 Rampa 1 tiempo acel. rampa: 5.00s
- 3-42 Rampa 1 tiempo desacel. rampa: 5.00s.
- Menú 4** Limites/Advertencias:
 - 4-10 Dirección veloc. motor: [0] Izqda. a dcha. Con esta configuración, se limita el sentido de giro en una sola dirección, lo cual permite que se controle el voltaje generado desde 0V hasta 174V. Además, se protege la tarjeta electrónica de que reciba voltaje negativo, dado que la misma está diseñada para que el voltaje de entrada sea de 0V hasta 10V.
 - 4-11 Límite bajo veloc. motor [RPM]: 0rpm.
 - 4-13 Limite alto veloc. motor [RPM]: 1500rpm.
 - 4-19 Frecuencia salida máxima: 50Hz.

El límite de frecuencia limita el valor de frecuencia que puede fijar el controlador de proceso en caso de se requiera una mayor velocidad en el motor para poder controlar la variable de proceso.

- Menú 6** Entradas/analógicas.:

- 6-10 Terminal 53 escala baja V: 0 V.
- 6-11 Terminal 53 escala alta V: 10V.
- 6-14 Terminal 53 valor bajo ref./realim.: 0 Ninguno.
- 6-15 Terminal 53 valor alto ref./realim.: 174 Ninguno.

Al configurar estos cuatro últimos parámetros, se realizan dos reglas de correspondencia. La primera entre el valor mínimo de voltaje en la terminal 53 y el mínimo valor de voltaje generado que se requiere; la segunda, entre el valor máximo de voltaje en la terminal 53 y el máximo valor de voltaje generado.

A continuación, se realiza un procedimiento similar pero relacionado a la entrada analógica 54 y el voltaje de salida de la tarjeta electrónica del panel.

- 6-20 Terminal 54 escala baja V: 1.10 V. Este valor corresponde al voltaje de salida de la tarjeta electrónica cuando se le aplica un voltaje de entrada de 0V.
 - 6-21 Terminal 54 escala alta V: 9.42V. Este valor, corresponde al voltaje de salida de la tarjeta electrónica mostrado en la Fig. 11.159.
 - 6-24 Term. 54 valor bajo ref./realim.: 0.0 Ninguno.
 - 6-25 Term. 54 valor bajo ref./realim.: 174 Ninguno.
- Menú 7** Controladores:
 - 7-20 Fuente 1 realim. Lazo cerrado proceso: [2] Entrada analógica 54. Con este ajuste se programa la entrada

analógica 54 como la terminal donde se debe conectar la salida de la tarjeta electrónica.

- 7-30 Ctrl. Normal/inverso de PID de proceso: [0] Normal. Si se incrementa la variable del proceso, la cual es el voltaje generado, el drive debe reducir la frecuencia para poder realizar el control del proceso.

El control inverso es empleado en un proceso de control de temperatura. Si la temperatura de un proceso aumenta, el drive aumenta la frecuencia para que el ventilador conectado al drive, aumente su velocidad, disminuya la temperatura y se logre el control.

- 7-33 Ganancia propor. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 1s.
- 7-35 Tiempo diferencial PID proc.: No. De esta forma, esto se ajusta un control PI y no PID.

Guardar el ajuste de parámetros en el LCP para conservarlos de manera segura al escoger la opción [1] Trans LCP tod. par. en el parámetro 0-50 Copia con LCP. De esta forma, se transfieren al panel de control local la parametrización del drive con la posibilidad de transferirla a otros drives Danfoss FC-302.

Vale recalcar que para operar el drive en lazo abierto de velocidad sin modificar el parámetro 1-00 Modo Configuración, es posible cambiar el ajuste del parámetro 1-05 Configuración modo local por la opción [0] Lazo

Abierto Veloc. Si se requiere retornar al modo de proceso, escoger la opción [2] Según par. 1-00. Al cambiar el ajuste del parámetro 1-00 Modo Configuración por [0] Veloc. Lazo Abierto, los ajustes de los parámetros realizados previamente vuelven al ajuste de fábrica.

Desenergizar el drive Danfoss y realizar las conexiones mostradas en la Fig. 11.161. Confirmar el ajuste de los selectores de la Fig. 11.17.

En el banco de resistores MV1100, ajustar la resistencia de uno de los tres resistores en 280Ω , luego realizar la conexión en paralelo de los tres resistores.

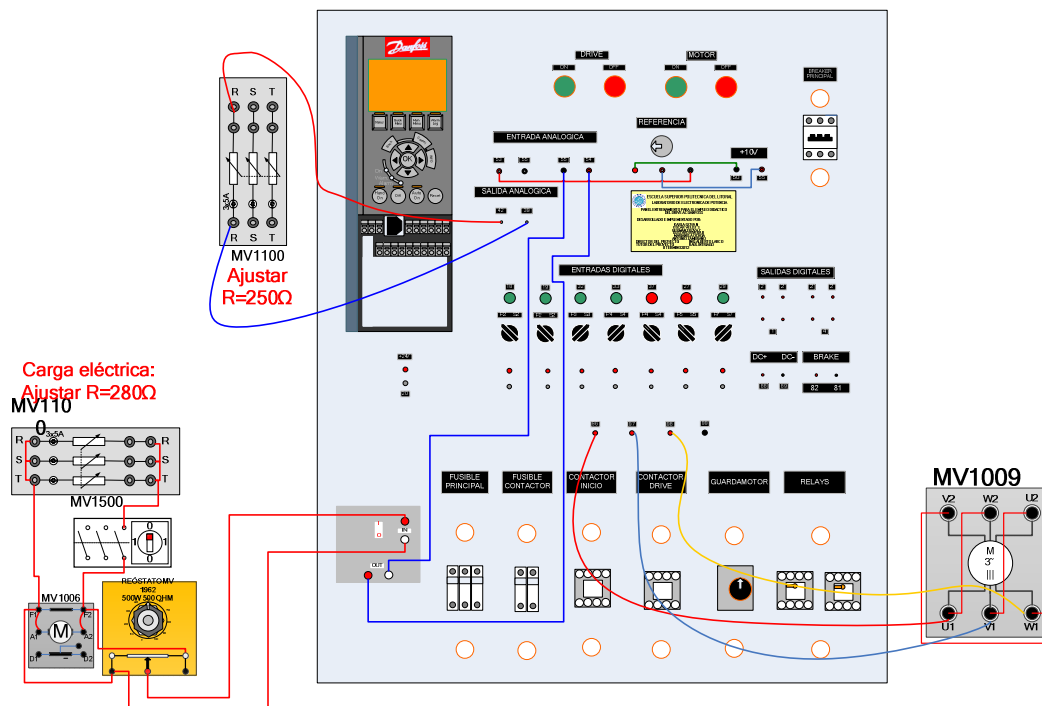


Figura 11.161: Conexiones para la prueba de lazo cerrado para el control de voltaje generado en el generador auto-excitado empleando el drive Danfoss FC-302

Energizar la tarjeta electrónica del panel. Reenergizar el drive y presionar el botón HAND ON para arrancar el motor. Mantener en vacío el generador MV1006. Girar completamente en sentido horario el potenciómetro de precisión, de tal forma que al observar el menú STATUS la frecuencia de operación sea de 50Hz.

En la Fig. 11.162 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 10s.

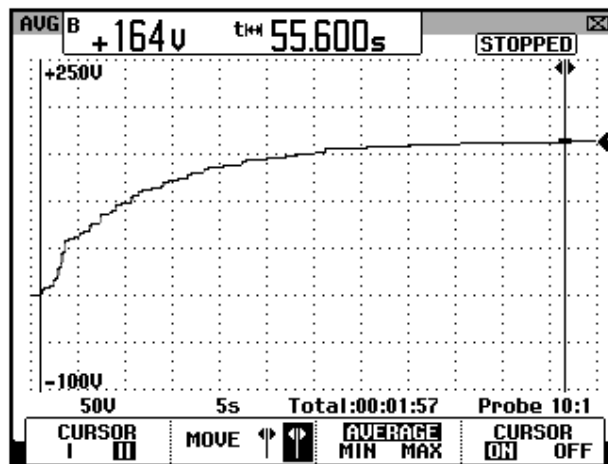


Figura 11.162: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 11.

En la Fig. 11.163 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 1s.

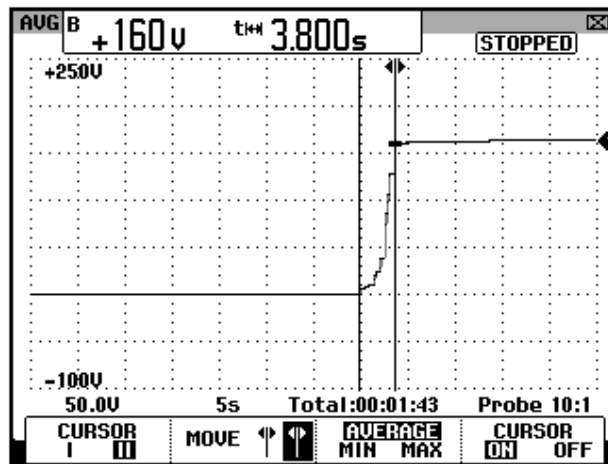


Figura 11.163: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 1.

En la Fig. 11.164 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 0.1s.

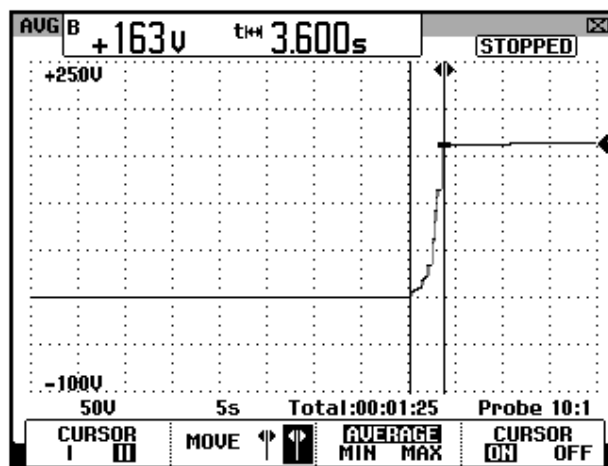


Figura 11.164: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 0.1.

En la Fig. 11.165 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 0.01s.

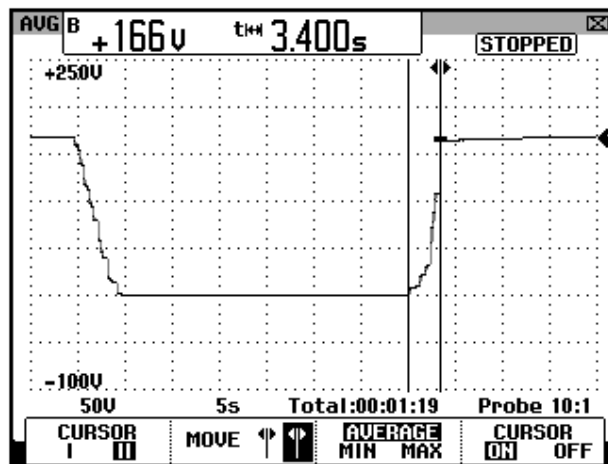


Figura 11.165: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a 0.01.

En la Fig. 11.166 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: No.

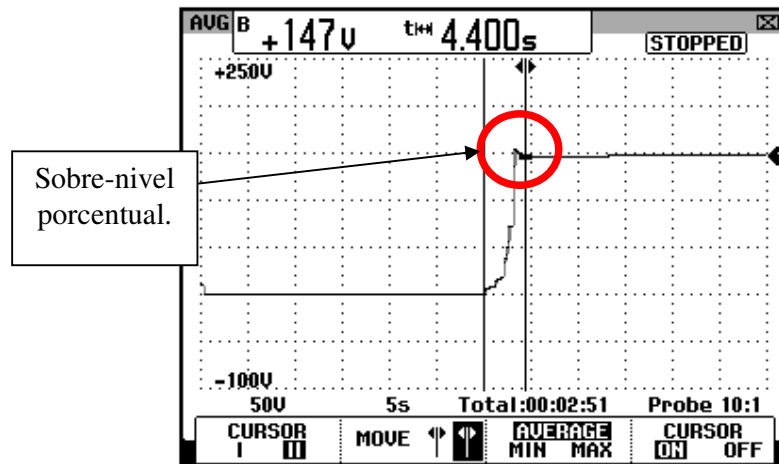


Figura 11.166: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 10 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No.

A partir de la Fig. 11.163 a la Fig. 11.165, el tiempo de estabilización se reduce junto con el error de estado estable.

En la Fig. 11.166 se observa que existe sobrenivel porcentual en el voltaje generado durante el arranque. El valor de estado estable es de 147V mientras que el voltaje máximo es de 155V, por lo que existe una diferencia de 8V.

En la Fig. 11.167 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 5.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: No.

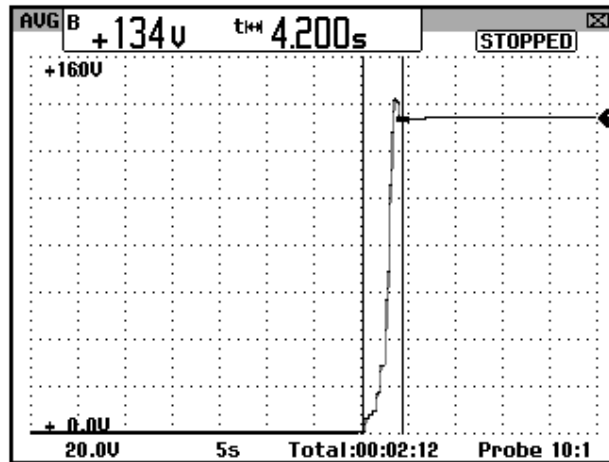


Figura 11.167: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 5 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No.

En la Fig. 11.168 se muestra la variación del voltaje generado para el ajuste siguiente:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 5.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: No.

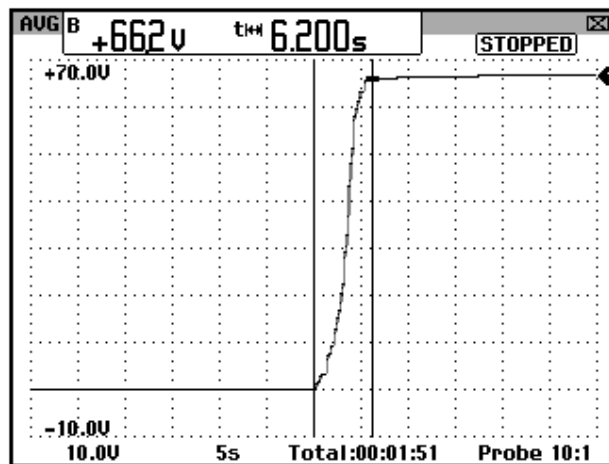


Figura 11.168: Variación del voltaje DC generado para un ajuste del parámetro 7-33 Ganancia proporcional PID de proceso igual a 1 y del parámetro 7-34 Tiempo integral PID proceso igual a No.

En la Fig.11.167 y en la Fig. 11.168 se observa que a medida que la ganancia proporcional disminuye el error de estado estable aumenta.

Se emplean los valores óptimos de los controladores, es decir:

- 7-33 Ganancia proporc. PID de proc.: 11.
- 7-34 Tiempo integral PID proc.: 0.01s.

En las pruebas siguientes, revisar el parámetro 16-18 correspondiente al estado térmico del motor. Continuar con los siguientes pasos:

- Presionar HAND ON para arrancar el motor y emplear el potenciómetro de precisión para aumentar el voltaje generado hasta que este sea de 120Vdc. La frecuencia de operación del drive es 37.9Hz. Calibrar la punta de corriente Fluke. Bajo estas condiciones, la corriente de armadura del generador es de 0.71A. Se ha encontrado la posición del potenciómetro de referencia para la cual, el voltaje generado en vacío es de 120V; la referencia corresponde a 66.5%. Detener el motor presionando el boton OFF.
- Arrancar el motor. En la Fig. 11.169 se muestra la variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador.

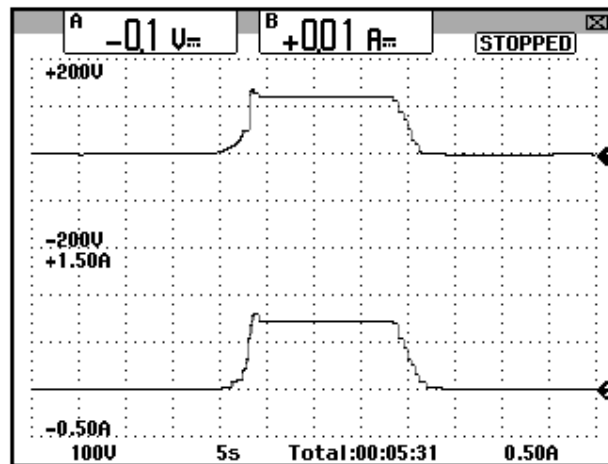


Figura 11.169: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, el cual opera en vacío.

Para adquirir la corriente de armadura, enganchar la punta de prueba de corriente en el cable que conecta A2 con F2; tomar en consideración que la corriente fluye desde A2 a F2.

En la Fig. 11.170, se muestra la variación del torque inducido del motor MV1009 y la velocidad del motor. Se observa que durante el arranque, existe sobre-nivel de la velocidad, que para ser equilibrado, se reduce el torque.

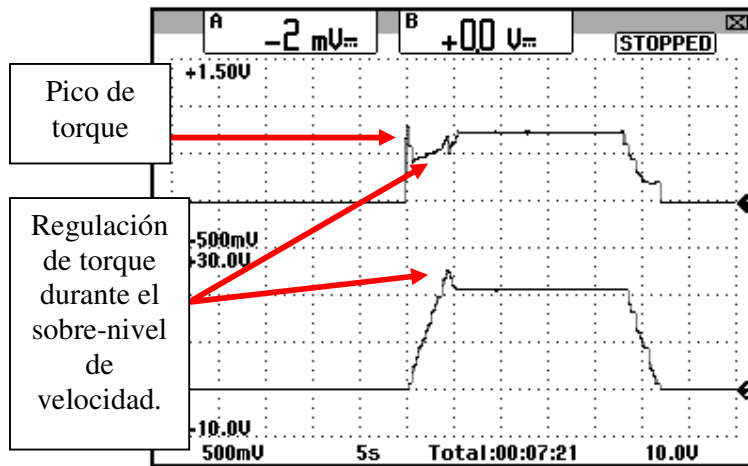


Figura 11.170: Variación del torque inducido en el motor MV1009 y la velocidad del eje, con el generador MV1006 operando en vacío.

Proseguir con los siguientes pasos:

- Arrancar el motor MV1009 y activar el interruptor MV1500. Inicialmente, el valor de la resistencia de un resistor del banco es de 280Ω . La corriente de armadura aumenta hasta $2.06A$, la frecuencia de operación aumenta a $40.3Hz$ por lo que la velocidad aumenta. El voltaje permanece constante. El torque inducido del motor MV1009 aumenta. En la Fig. 11.171, se muestra la variación del voltaje generado y corriente de armadura del generador durante la activación del interruptor MV1500. El voltaje generado permanece constante.

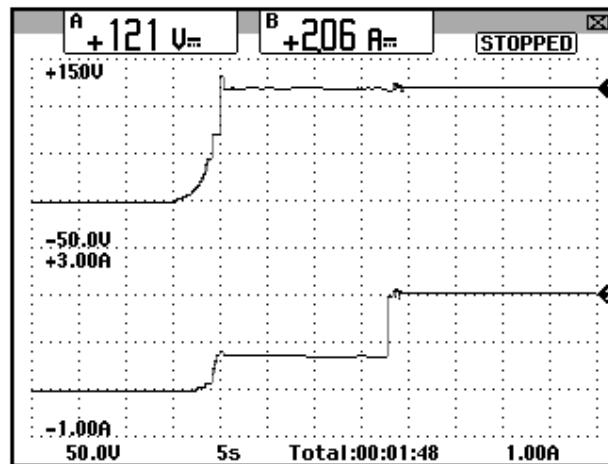


Figura 11.171: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al activar el interruptor MV1500.

En la Fig. 11.172, se muestra la variación del torque inducido del motor y de la velocidad del eje; este ultima variable aumenta.

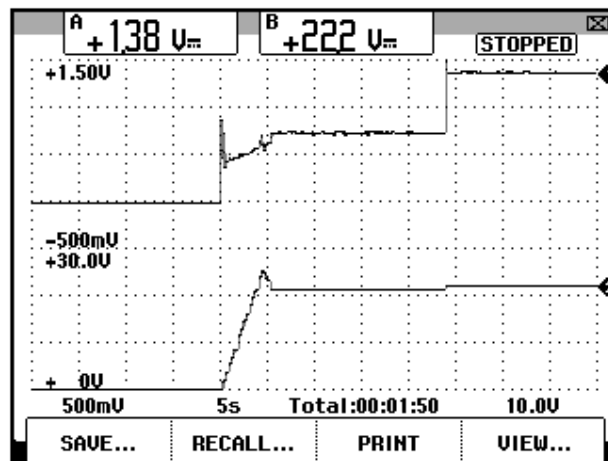


Figura 11.172: Variación torque inducido del motor MV1009 y de la velocidad del eje, luego de activar el interruptor MV1500.

- Reemplazar la adquisición de torque del motor por la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor MV1009. Aumentar la corriente de

armadura del generador mediante la reducción de la resistencia de los resistores del banco MV1100 hasta que la corriente de armadura del generador sea de 6A. Realizar el aumento en pasos de 1A. Esto se muestra en la tabla 11.12.

Corriente DC de la armadura del generador (A)	Corriente RMS del motor MV1009 (A)	Velocidad del eje del motor o generador (rpm)	Frecuencia de operación del drive Danfoss FC302	Voltaje DC generado (V)
2.06	3.59	1184	40.5	119.8
3.01	3.88	1222	41.9	119.6
4.01	4.18	1282	43.9	120.2
5.01	4.47	1334	46.5	120.4
5.97	4.82	1395	49.2	120.2

Tabla 11.12: Variación de la corriente de armadura del generador, corriente RMS del motor MV1009, velocidad en el eje, frecuencia de operación del drive Danfoss FC-302 y voltaje generado.

En la Tabla 9.9, se observa que el voltaje generado permanece relativamente constante, mientras que el drive aumenta la frecuencia de operación para lograr este propósito.

- El siguiente paso es importante: se procede a retirar la carga eléctrica y se observa la variación de las señales adquiridas. Para ello, desactivar el interruptor MV1500. En la Fig. 11.173, se muestra la variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador. Se observa que el voltaje máximo generado durante la desconexión de la carga es de 165V. En la Fig. 11.174, se muestra la variación de la velocidad y de la corriente RMS hacia la terminal U1 del motor MV1009.

- Finalmente, detener el motor, des-energizar la tarjeta electrónica del panel y des-energizar el panel eléctrico Danfoss.

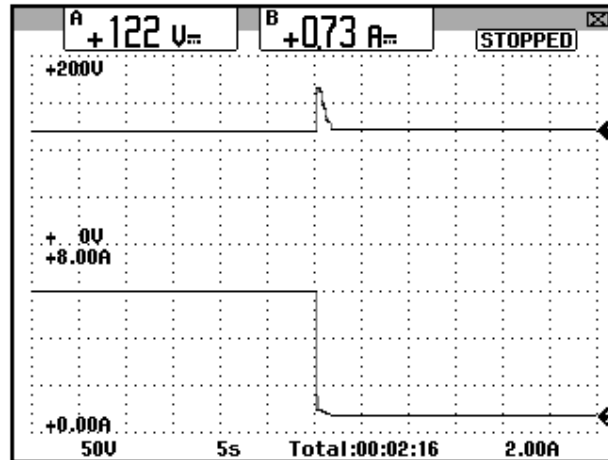


Figura 11.173: Variación del voltaje generado y de la corriente de armadura del generador MV1006, al retirar la carga eléctrica del generador.

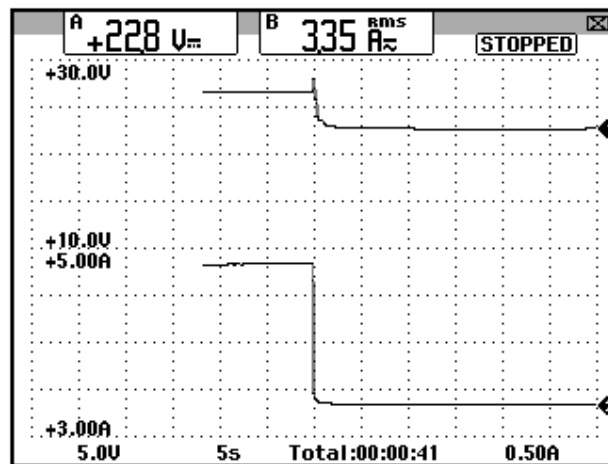


Figura 11.174: Variación de la velocidad y de la corriente hacia la terminal U1 del motor MV1009, al retirar la carga eléctrica del generador.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de mayor relevancia que se pueden realizar luego de terminado el proceso de diseño, documentación e implementación de las prácticas del Laboratorio de Electrónica de Potencia son:

1. En el capítulo 3, al implementar el control de velocidad por el método de taco-generator fue posible observar que al aumentar el valor del parámetro W_N , la respuesta al escalón de la velocidad cambia y fue posible obtener los tres tipos de respuesta ante una perturbación, como lo fue la reducción súbita de la carga mecánica: amortiguada, subamortiguada y críticamente amortiguada. Para el ajuste de $W_N=1$ y $1/G_N=0$, se alcanza la zona de inestabilidad del controlador de velocidad.
2. En el capítulo 6 se realiza el análisis de armónicos en una de las corrientes de entrada al drive. El resultado concluye que para el drive Mentor MP45A4, las componentes armónicas aumentan su magnitud al

operar en vacío, mientras que al aumentar la carga mecánica, estas disminuyen. Las componentes armónicas con mayor ponderación son las componentes de orden 5 y 7. La prueba se realizó para velocidades de 500rpm y 1000rpm.

3. En el capítulo 6, al realizar el control de velocidad por el método de taco-generador DC, la disminución de la ganancia proporcional del controlador de velocidad causa que la regulación de velocidad mejore, mientras que la variación de la ganancia integral del mismo controlador no causa mayor efecto. Es importante recalcar que al cambiar de método de control de velocidad por el método de aproximación de velocidad, se debe reajustar la ganancia proporcional del controlador de velocidad. El ajuste del parámetro 3.10 Speed controller proportional gain (K_p1) cambio de 0.008, en el método por taco-generador, a 0.002 en el método IxR.
4. En el capítulo 6, se implementó el control de torque. Para evitar que la velocidad del motor aumente indefinidamente, se configuró el parámetro 3.08 Overspeed threshold en 1200 para que la velocidad máxima a la que puede girar el eje del motor sea 1200 rpm. De esta forma, se protege mecánicamente al motor durante el control de torque en el cual la velocidad puede aumentar sin límite aparente.

5. En el capítulo 6, se implementó el control térmico del motor para que el drive indique al usuario el instante en que el motor ha alcanzado el umbral máximo de temperatura hasta el cual puede operar sin verse afectado. El parámetro 4.19 Overload accumulator, indica la temperatura como porcentaje de la máxima temperatura a la que el motor puede operar.
6. En el capítulo 8 se determinó que la rampa de aceleración es de torque, mas no de voltaje cuando el parámetro CLP está activado. Adicionalmente, se analizó la forma de la corriente de línea del motor durante el arranque. Se concluyó que existen dos etapas: en la primera etapa la corriente aumenta debido a que la tasa de aumento del torque es mayor que la tasa de disminución del deslizamiento; en la segunda etapa, la corriente decrece debido a que la tasa de aumento del torque es menor que la tasa de disminución del deslizamiento. Finalmente, fue posible controlar el frenado del motor, al elegir que el tipo de frenado STY se configure con el parámetro dEC, mediante una rampa de desaceleración de torque, la cual se combina con un frenado en rueda libre por medio del ajuste del parámetro EDC.
7. En el capítulo 9, se observó que durante el auto-ajuste que realiza el drive Altivar, la corriente que se aplica al motor es directa mas no alterna. Adicionalmente, la variable que se controla durante la rampa de aceleración y de desaceleración, es de frecuencia.

8. En el capítulo 9, fue posible observar, que al configurar el parámetro U_{Ft} con el ajuste L, se comprueba que para una frecuencia relativamente baja de 5Hz, se aplica un voltaje relativamente alto de 88V_{RMS}. Mientras que al configurar el parámetro U_{Ft} con el ajuste n, para una frecuencia relativamente baja de 5Hz, no se aplica un voltaje relativamente bajo ya que se también se aplica un voltaje de 88V_{RMS}. Adicionalmente en ambos metodos de control de flujo, la relación V/f es constante.
9. En el capítulo 9, el valor de torque en voltios para una frecuencia de operación de 5Hz empleando el método de control de flujo L fue de 0.272V, mientras que el valor de torque en voltios bajo la misma frecuencia de operación pero empleando el método de control de flujo n, fue de 0.411V, lo cual demuestra que el segundo método de control denominado control vectorial de flujo sin sensor, mejora el torque a frecuencias bajas.
10. En el capítulo 9, se muestra que empleando el método de control vectorial de flujo sin sensor, mantiene el deslizamiento relativamente constante y en un valor medio de 1.5, para las diferentes frecuencias de operación, lo cual no ocurre con el metodo de control n denominado par constante. El hecho que el deslizamiento permanezca constante indica que la diferencia entre la velocidad sincronica y la velocidad del eje del motor es constante y relativamente baja.

11. En el capítulo 9, se muestra que en el drive Altivar 31, las componentes armónicas aumentan al disminuir la frecuencia de operación.
12. En el capítulo 10, al comparar los métodos de control U/f y VVCplus, el torque y el deslizamiento permanecen relativamente constantes tanto a bajas como a altas frecuencias empleando el primer método, lo cual no ocurre con el segundo método.
13. En el capítulo 10, se comprueba que la regulación de velocidad empleando el método de control VVCplus es mejor que empleando el método de control U/f.
14. En el capítulo 10, se muestra que en el drive Danfoss FC302, las componentes armónicas aumentan al disminuir la frecuencia de operación. Las componentes armónicas con mayor trascendencia son las de orden 5 y 7.

RECOMENDACIONES

1. Cada vez que se realice un proyecto que involucre la implementación de un panel eléctrico, tomar en consideración que la estructura del manual a entregar por el grupo de alumnos que desarrolla el proyecto, puede ser similar a la estructura que se presenta en los capítulos 4, 6, 8, 9 y 10, en los cuales se describen los componentes eléctricos del panel, el diagrama eléctrico panel con el marquillado correspondiente, descripción del funcionamiento eléctrico, ajuste del drive con los parámetros de fábrica, conexión al software del drive, procedimiento de autoajuste o auto-tuning en caso de que el drive facilite esta opción, formas de onda de señales eléctricas que varían durante el autoajuste, implementación de experimentos tales como variación de velocidad en lazo abierto, lazo cerrado de velocidad empleando los métodos de control para un drive DC, control de torque, control de proceso en un drive AC, sintonización de las ganancias de los controladores PI, comparación entre las formas de onda de la corriente de entrada y salida del drive, análisis de

armónicos de la corriente de entrada al drive empleando el analizador de energía Fluke 434 o 435.

2. En el drive Mentor MP45A4 visto en el capítulo 6 es posible implementar en el futuro el control de posición del motor empleando un encoder. Es posible también implementar en el drive Danfoss FC302, el control en lazo cerrado de velocidad del motor de inducción MV1009 por medio de un encoder.
3. Realizar la identificación de componentes eléctricos y electrónicos e implementar experimentos con los equipos MV4201 Thyristor Unit, MV4205 AC motor control, MV4208 Basic Power electronics trainer y HPS Four-quadrant-drive; la estructura del manual puede ser similar a la del capítulo 3, en el que se analiza el equipo MV4200 Thyristor unit. Estos equipos forman parte del inventario del Laboratorio de Electrónica de Potencia.
4. Es posible desarrollar un paper técnico cada vez que se desarrolle un proyecto de semestre con el fin de que los proyectos semestrales representen investigación realizada en el Laboratorio de Electrónica de Potencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rashid Muhammad H., Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones, Prentice Hall tercera edición, 2004.

- [2] Wikipedia, Serie de Fourier,http://es.wikipedia.org/wiki/Serie_de_Fourier, Consultado Julio 2014.

- [3] Espinoza Harol, Sánchez Richard, Rediseño y construcción del sistema eléctrico y electrónico de control de unidades educativas, tipo Mawdsley's, para el estudio de convertidores AC/DC, AC/AC y control de motores DC y AC, Proyecto de graduación de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2011.

- [4] Chapman Stephen, Máquinas eléctricas, McGraw-Hill quinta edición, 2012.

- [5] Motorola Co., Ltd., 2N2646 PN UJT Data Sheet.

- [6] Emerson Industrial Automation, Equipment manual, Series 2230 MKII Single-Phase Adjustable-Speed Regenerative DC Motor Controllers (1/6-5 HP).

- [7] Emerson Industrial Automation, Mentor MP Advanced User Guide, Part Number: 0476-0002-04, Issue: 4.

[8] Telemecanique, ATV31 Guía de programación.

[9] Danfoss, Guía de diseño del FC 300.