



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y FUERZA PARA PRUEBAS DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO EN FORMA PARALELA DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN MEDIDO EN MODO DIRECTO E INDIRECTO MEDIANTE EL USO DEL ION 7650, HIPOTRONIC Y LOGO ”

EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)

Previa a la obtención del Grado de:

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

AUTOR:

Miguel Angel Velasco Parra

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por guiarme a alcanzar un nuevo propósito en mi vida, la cual quedo enormemente agradecido a su Voluntad.

A mi familia que siempre me apoyaron en avanzar cada día, sin renunciar a los problemas, en luchar por en cada situación que se me presentaba.

A mis amigos, mi novia, que siempre, me dieron su motivación a culminar mi carrera, me ayudaron a crecer cada día, forjándome en la vida profesional.

Al M.Sc. Holger Cevallos por brindarme su apoyo incondicional en momentos difíciles y cruciales de mi vida, le estoy enormemente agradecido.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a sus docentes, por brindarme sus conocimientos, sus valores, sus experiencias que me han permitido crecer profesionalmente en mi carrera.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado para quién cada día me da una oportunidad para vivir, para ser una mejor persona, de apoyarme siempre en situaciones que parecía fracasar, estoy convencido que sin Él no podría haber culminado mis estudios, se lo dedico a Dios por guiarme en el desarrollo del proyecto.

Le dedico a mi papá que siempre ha sido mi ejemplo de perseverancia y esfuerzo a lo largo de todos estos años, a mi mamá que siempre me motivó a seguir adelante, dándome su confianza y apoyo en todos los momentos complicados de mi vida. A mis hermanos que han sido ejemplo de unión y fortaleza en mi familia, nuestro hogar.

Gracias a todos mis compañeros, a mis maestros, a aquellos que confiaron en mi esfuerzo de superación, a aquellos que me brindaron sus consejos, sus experiencias, a todos les dedico mi proyecto de graduación.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Holger Cevallos U.

EVALUADOR



Dr. Sixifo Falcones Z.

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este informe me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Miguel Angel Velasco Parra

RESUMEN

El presente proyecto está enfocado en la optimización de los procesos en las pruebas eléctricas de los transformadores monofásicos y trifásicos del Laboratorio Moretran, pruebas necesarias para garantizar la calidad del transformador, ya sea por su diseño, su construcción y su manufactura, cumpliendo con las normas ecuatorianas INEN respecto a los rangos máximos permisibles en pérdidas de potencia con carga y sin carga.

El diseño es una mejora de un sistema de control general que unifica las pruebas eléctricas de vacío y cortocircuito de transformadores eléctricos de distribución, para operar de forma manual y automática, cuyas pruebas eléctricas del control son operadas para una cantidad máxima de hasta catorce transformadores monofásicos tipo CSP Padmounted y Convencionales, todos ellos operando desde una sola conexión, sin necesidad de que el operador tenga que salir del mando de pruebas para realizar la conexión del siguiente transformador. Esto se da debido a que todos ellos están conectados en forma paralela al tablero de fuerza diseñado, para que cuando se realice la prueba ya sea en vacío o cortocircuito, cada transformador sea probado en una secuencia automática.

Para el diseño del sistema de control en la programación de la secuencia automática se utiliza el micro-PLC LOGO de Siemens, que con el analizador de energía ION7650 me permite realizar mediciones en modo directo y en modo indirecto en conjunto con los CTs y PTs respectivos. Se rediseña el circuito interno de control de

la máquina HIPOTRONIC que es un autotransformador variable, que me permite regular la alimentación de voltaje necesario para realizar la prueba en los transformadores monofásicos y trifásicos. Todo el sistema de control está programado en lenguaje ladder a través del micro PLC, el sistema interactúa con el operador a través de una interfaz amigable por medio de la pantalla LOGO TD.

Se incluye además el manual de operación del sistema de control para realizar la prueba de vacío, cortocircuito en modo manual y automático, en base a sus respectivas normas de operación en función de las normas ecuatorianas INEN.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ABREVIATURAS	xv
SIMBOLOGÍA	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
INTRODUCCIÓN	xxiii
1. MARCO GENERAL	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.	4
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.	5
1.4. OBJETIVOS.	6
1.4.1 OBJETIVOS GENERALES.....	6

1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5.	RESULTADOS ESPERADOS.	7
2.	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE FUERZA Y ALIMENTACIÓN. .	8
2.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRANSFORMADOR.	9
2.1.1.	EL TRANSFORMADOR.	9
	2.1.1.1 TRANSFORMADOR IDEAL.....	10
	2.1.1.2 TRANSFORMADOR REAL.....	10
	2.1.1.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR REAL.....	11
2.1.2.	COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR.	12
	2.1.2.1 CIRCUITO MAGNÉTICO.	12
	2.1.2.2 CIRCUITO ELÉCTRICO.	13
	2.1.2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO.	14
	2.1.2.4 TANQUES Y ACCESORIOS.....	15
2.2.	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES.	16
2.2.1.	PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR.....	17
	2.2.1.1 FLUJO DE DISPERSIÓN.....	17
	2.2.1.2 CICLO DE HISTÉRESIS.....	18
	2.2.1.3 CORRIENTES PARÁSITAS.	19
2.2.2.	PÉRDIDAS EN EL BOBINADO DE UN TRANSFORMADOR.....	19

2.3.	NORMAS INEN Y PROTOCOLOS DE PRUEBA.....	21
2.3.1.	PÉRDIDA SIN CARGA.....	22
2.3.2.	PÉRDIDA CON CARGA.....	23
2.4.	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PARA EL DISEÑO.....	23
2.4.1.	AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONIC.....	24
2.4.2.	ANALIZADOR DE ENERGÍA ION 7650.....	25
2.4.3.	MICRO PLC LOGO ETHERNET SIEMENS.....	26
2.4.4.	PANTALLA LOGO TD.	27
2.4.5.	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.....	28
2.4.6.	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	29
2.5.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO.....	30
2.5.1.	TIPOS DE TRANSFORMADORES PARA PRUEBAS.....	31
2.5.2.	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO PADMOUNTED.....	31
2.5.2.1	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO AUTO PROTEGIDO (CSP).....	32
2.5.2.2	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO PADMOUNTED.....	33
2.5.2.3	TRANSFORMADOR TRIFASICO CONVENCIONAL.....	34
2.5.2.4	TRANSFORMADOR TIPO SECO.....	35
2.5.3	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA DE FUERZA.....	36

2.5.3.1 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BAJA TENSIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.36

2.5.3.2 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN ALTA TENSIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.37

2.5.3.3 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BAJA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....39

2.5.3.4 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN ALTA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....40

2.6 ANÁLISIS DE ACOMETIDA Y DIAGRAMA ELÉCTRICO.....42

2.6.1 CAPACIDAD DEL AUTOTRANSFORMADOR HIPOTRÓNICO.43

2.6.2. CAPACIDAD DE LA ACOMETIDA.44

2.7 DISEÑO Y MONTAJE DEL TABLERO DE FUERZA.45

3. DISEÑO DEL SISTEMA LÓGICO DE CONTROL.47

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRICO GENERAL ADAPTADO AL PLC.....47

3.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL.....48

3.1.2 DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DEL MICRO PLC.49

3.1.3 DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS AL PLC.50

3.1.4 DESCRIPCIÓN DE SALIDAS.....51

3.2	PROGRAMACIÓN LADDER DEL SISTEMA DE CONTROL POR MEDIO DE LOGO ETHERNET SIEMENS.....	54
3.2.1	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PARA INICIO DE PANTALLA LOGO. 54	
3.2.2	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN CONEXIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA.	55
3.2.3	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PRUEBA VACÍO Y CORTOCIRCUITO.	57
3.2.4	LÓGICA DE PROGRAMA EN SECUENCIA DE 14 TRANSFORMADORES.....	57
3.2.5	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN INGRESO DE CANTIDAD DE TRAFOS.....	60
3.2.6	LÓGICA DE PROGRAMACIÓN CONTROL DEL HIPOTRONIC.	61
3.3	DISEÑO DE CONTROL Y OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONICS.....	63
3.3.1	DIAGRAMA DE CONTROL ORIGINAL HIPOTRONIC.	63
3.3.2	DIAGRAMA DE CONTROL ADAPTADO AL SISTEMA DE CONTROL.....	64
3.4	CONTROL Y ADAPTACIÓN AL SISTEMA DE FUERZA CON EL ION 7650. 64	
3.4.1	CONTROL DE MEDICIÓN MODO DIRECTO.....	65

3.4.2	CONTROL DE MEDICIÓN MODO INDIRECTO.....	66
4.	CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA GENERAL UNIFICADO.....	67
4.1	PUESTA EN MARCHA DEL CONTROLADOR.....	68
4.1.1.	PANEL DE OPERADOR Y SUS COMPONENTES.	68
4.1.1.1	PANTALLA DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL.....	69
4.1.1.2	PANTALLA DEL MEDIDOR DE ENERGÍA.....	70
4.1.1.3	CONTROL DEL TRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONIC.....	71
4.1.1.4	CONTROL DEL MODO DE ALIMENTACIÓN Y CONEXIÓN.	72
4.1.2	OPERACIÓN MANUAL.	73
4.1.3	OPERACIÓN AUTOMÁTICA.....	74
4.2	OPERACIÓN DEL SISTEMA ADAPTADO AL ANALIZADOR DE ENERGÍA, TRANSFORMADOR VARIABLE, PANTALLA DE CONTROL.	75
4.3	OPERACIÓN EN MODO DIRECTO DEL SISTEMA.....	76
4.4	OPERACIÓN EN MODO INDIRECTO DEL SISTEMA.	77
5.	GUÍA DE OPERACIÓN E INSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE PRUEBAS.	78

5.1.	INSTRUCTIVO DE PRUEBA EN VACÍO DE UN TRANSFORMADOR.....	78
5.1.1	PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.	79
5.1.2	PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.....	87
5.2.	INSTRUCTIVO DE PRUEBA EN CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR.....	93
5.2.1	PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO	94
5.2.2	PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.	102
6.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO.....	109
6.1	ANÁLISIS DE COSTOS.	110
6.2	TABLA DE COSTOS.	112
6.2.1	DESARROLLO DEL FLUJO DE CAJA.	116
6.2.2	ELABORACIÓN DEL FLUJO DE CAJA.....	117
6.2.3	BENEFICIO-COSTO.	119
6.3	GANANCIAS.	119
6.4	MANTENIMIENTO Y VIDA ÚTIL DEL SISTEMA.	120

6.4.1	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	121
6.4.2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	121
7.	PRUEBAS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.....	122
7.1.	PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE 50KVA.	123
7.2.	PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE 50KVA.	125
7.3.	PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 750 KVA.	128
7.4	PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 750 KVA.....	130
	CONCLUSIONES.....	132
	RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	133
	ANEXOS.	134
	BIBLIOGRAFÍA.....	146

ABREVIATURAS

PLC	Programmable Logic Controller
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
BT	Baja tensión
AT	Alta Tensión
AC/DC	Corriente alterna/corriente continua
AC	Corriente Alterna
GND	Ground
<i>Imp %</i>	impedancia de cortocircuito
KVA	Kilo Voltio-Amperio

SIMBOLOGÍA

V	Voltaje
A	Amperio
W	Vatio
Hz	Hertz
S	Potencia Aparente
P	Potencia Activa
Q	Potencia Aparente
°C	Grado Centígrado
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
V_{cc}	Voltaje de cortocircuito
P_{cu}	Pérdidas de vacío
P_o	Pérdidas de cortocircuito
I_o	Corriente de excitación

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. circuito de fuerza actual de pruebas de vacío y cortocircuito.	2
Figura 1.2. Transferencia de alimentación monofásica a manual.....	3
Figura 1.3. Diagrama de bloques de la solución propuesta.....	5
Figura 2.1. Principio de operación de un transformador. [2].....	10
Figura 2.2. Circuito equivalente de un transformador. [3].....	11
Figura 2.3. Núcleo tipo columna. [4]	13
Figura 2.4. Ciclo de histéresis en un material ferromagnético. [7].....	18
Figura 2.5. Perdidas parásitas en el núcleo de un transformador. [8]	19
Figura 2.6. Autotransformador variable HIPOTRONIC.....	25
Figura 2.7. Analizador de energía ION 7650.....	26
Figura 2.8. Logo oba6 y logo oba7. [12].....	27
Figura 2.9. Pantalla LOGO TD.....	28
Figura 2.10. Transformadores de potencial.	29
Figura 2.11. Transformadores de corriente.	30
Figura 2.12. Transformador monofásico Pad mounted.	31
Figura 2.13. Transformador monofásico auto protegido.....	32
Figura 2.14. Transformador Trifásico Pad mounted.	33
Figura 2.15. Transformador Trifásico convencional.	34
Figura 2.16. Transformador trifásico seco.....	35
Figura 2.17. Acometida del autotransformador HIPOTRONIC y Tablero de Fuerza.	45
Figura 2.18. Diseño del sistema de Fuerza.....	46

Figura 2.19. Montaje sistema de fuerza.....	46
Figura 3.1. Entradas digitales del PLC LOGO OBA7.....	49
Figura 3.2. Salidas digitales del PLC LOGO OBA7.....	49
Figura 3.3. Puesta en marcha y paro del sistema de control.....	54
Figura 3.4. Acceso a modo directo o indirecto.....	55
Figura 3.5. Combinación binaria de 4 salidas a 16 combinaciones.....	56
Figura 3.6. Confirmación de parámetros de entrada.....	56
Figura 3.7. Acceso a la prueba de vacío y cortocircuito de modo automático.....	57
Figura 3.8. Combinación binaria de 4 salidas a 16 combinaciones.....	58
Figura 3.9. Activación y desactivación por pulso para las salidas secuenciales binarias.....	59
Figura 3.10. Activación de la máquina HIPOTRONIC a través del micro PLC LOGO.....	61
Figura 3.11. Apagado de la máquina HIPOTRONIC a través del micro PLC LOGO.....	61
Figura 3.12. Control para subir y bajar voltaje del Hipotronic.....	62
Figura 3.13. Circuito original del control máquina HIPOTRONIC.....	63
Figura 3.14. Circuito modificado al control máquina HIPOTRONIC.....	64
Figura 3.15. Activación de contactos a través del control en modo directo e indirecto.....	65
Figura 4.1. Diseño del nuevo panel de control.....	69
Figura 4.2. Pantalla de control LOGO TD.....	69
Figura 4.3. Pantalla de medición ION 7650.....	70

Figura 4.4. Pulsadores de control manual del HIPOTRONIC.....	71
Figura 4.5 Selectores para modo de alimentación y conexión.	72
Figura 4.6. Posición del selector en modo automático.	73
Figura 4.7. Posición del selector en modo automático.	74
Figura 4.8. Sistema de fuerza control unificado.	75
Figura 5.1. Prueba de vacío de transformador monofásico.....	80
Figura 5.2. Pantalla TD tipo de alimentación.....	81
Figura 5.3. Pantalla TD modo de conexión.	81
Figura 5.4. Pantalla TD confirmar parámetros.	82
Figura 5.5. Pantalla TD selección cantidad de transformadores.	82
Figura 5.6. Pantalla TD tipo de prueba.	83
Figura 5.7. Pantalla TD prueba del transformador.	83
Figura 5.8. Panel de operador en espera.....	84
Figura 5.9. Pantalla TD bajando voltaje.	85
Figura 5.10. Pantalla TD Proceso terminado.	85
Figura 5.11. Prueba de vacío de transformador trifásico.....	88
Figura 5.12. Acción del modo manual.....	88
Figura 5.13. Pantalla TD selección trifásica.	89
Figura 5.14. Pantalla TD selección modo de conexión.	89
Figura 5.15. Pantalla TD confirmar parámetro.	90
Figura 5.16. Control Manual Autotransformador Hipotronic.	90
Figura 5.17. Prueba de cortocircuito de un transformador monofásico.	95
Figura 5.18. Pulsador SET.....	96

Figura 5.19. Pantalla TD Tipo de alimentación.	96
Figura 5.20. Pantalla TD Modo de conexión.	97
Figura 5.21. Pantalla TD confirmar parámetros.	97
Figura 5.22. Pantalla TD cantidad de transformadores aprobar.	98
Figura 5.23. Pantalla TD Tipo de prueba.	98
Figura 5.24. Pantalla TD prueba del transformador.	99
Figura 5.25. Pantalla TD bajando voltaje.	100
Figura 5.26. Pantalla TD Proceso terminado.	100
Figura 5.27. Prueba de cortocircuito de un transformador trifásico.	103
Figura 5.28. Acción del modo manual.	103
Figura 5.29. Pantalla TD selección trifásica.	104
Figura 5.30. Pantalla TD selección modo de conexión.	104
Figura 5.31. Pantalla TD confirmar parámetro.	105
Figura 5.32. Control Manual Autotransformador Hipotronic.	105
Figura 6.1. Costos de producción – unidades producidas.	112
Figura 6.2. Tablero panel operador terminado.	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Corriente nominal a baja tensión.....	37
Tabla 2.2. Capacidades de corriente nominal alta tensión.....	38
Tabla 2.3. Capacidades de corriente nominal baja tensión.....	39
Tabla 2.4. Capacidad de corriente en baja tensión.	41
Tabla 3.1. Entradas de Conexión del micro PLC LOGO ETHERNET.	50
Tabla 3.2. Salidas de Conexión del micro PLC LOGO ETHERNET.....	52
Tabla 3.3. Salidas de Conexión del micro PLC LOGO.....	59
Tabla 5.1 Valores máximos permitidos en pérdidas de Vacío.....	86
Tabla 5.2. Valores máximos permitidos en pérdidas de Vacío Trifásico.....	92
Tabla 5.3. Valores máximos permitidos en pérdidas de Cortocircuito.	101
Tabla 5.4. Valores máximos en pérdidas de Cortocircuito Trifásico.	107
Tabla 6.1. Tiempos de pruebas de vacío y corto de Transformadores.....	111
Tabla 6.2. Costos del proyecto.	113
Tabla 6.3. Precio de transformadores.....	117
Tabla 6.4. Producción estimada.....	117
Tabla 6.5. Costos totales de fabricación.	117
Tabla 6.6. Flujo de caja.	118
Tabla 6.7. Valor actual Neto.	119
Tabla 6.8. Beneficio-Costo.....	119
Tabla 7.1 Diseño de un transformador de 50 KVA.....	123
Tabla 7.2. Medición en el laboratorio de pruebas en vacío de 14 transformadores CSP.	124

Tabla 7.3. Diseño de un transformador de 50 KVA.	126
Tabla 7.4. Medición en el laboratorio de pruebas en cortocircuito de 14 transformadores.	127
Tabla 7.5. Calculo teórico de un transformador de 750 KVA.....	129
Tabla 7.6. Medición en el laboratorio de pruebas en vacío.	129
Tabla 7.7 Diseño de un transformador de 750 KVA.	130
Tabla 7.8. Medición en el laboratorio de pruebas en cortocircuito.....	131

INTRODUCCIÓN

El trabajo de un técnico de pruebas eléctricas en un laboratorio es verdaderamente arriesgado, sobre todo en una empresa que se diseña y construye todo tipo de transformadores de distribución, puesto que al realizar las pruebas se manejan voltajes de baja y de media tensión, que va en el orden de las decenas de miles de voltios. El problema es aun crítico cuando la demanda de producción es alta y el tiempo de entrega es corto, por lo que el laboratorio debe ajustarse a tiempos donde el técnico de pruebas debe trabajar con presión y mayor rapidez al momento realizar todas las pruebas en cada transformador.

Mi proyecto consiste en realizar un nuevo sistema de control y fuerza para las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores. Este diseño optimiza el proceso y mejora los tiempos de prueba para un sistema de control que opera en una secuencia automática de hasta catorce transformadores conectados en forma paralela y trabajando de manera secuencial. De esta forma todos los transformadores están conectados al mismo sistema de fuerza pero controlados uno por uno por medio un controlador lógico programable. Esto logra que no haya la necesidad de que el operador apague el sistema de fuerza y salga al campo de pruebas para realizar el cambio de conexión del siguiente transformador.

CAPÍTULO 1

MARCO GENERAL

En este capítulo se describen los problemas que se presentan en la realización de pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores eléctrico en el laboratorio Moretran. Se plantea la solución para resolver estos inconvenientes y a la vez optimizar el proceso de estas pruebas enfocándonos en los conocimientos de automatización y control industrial, diseñando un nuevo sistema de control amigable para el usuario y un sistema de fuerza para la realización de pruebas en secuencia paralela sin necesidad de salir de la oficina del panel del control.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Actualmente en el laboratorio de pruebas Moretran circuito de control de pruebas de vacío y cortocircuito es simple, no posee un diagrama eléctrico, por lo que no se le

da un buen mantenimiento por temor a desconectar algún circuito de control porque su apariencia es actualmente crítica como se muestra en la figura 1.1.

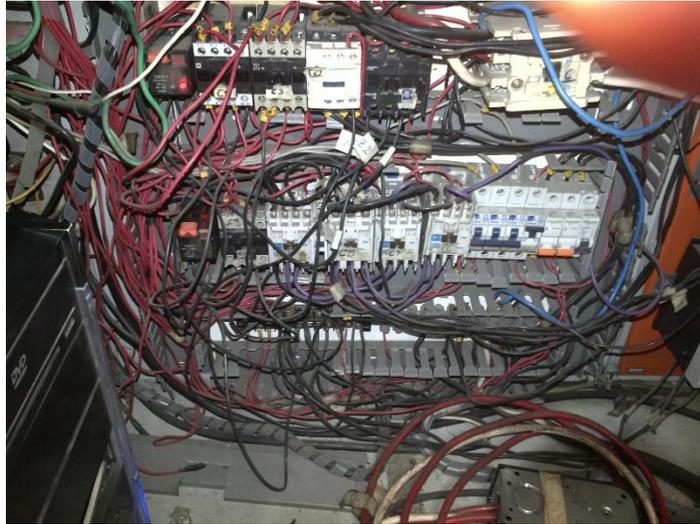


Figura 1.1. circuito de fuerza actual de pruebas de vacío y cortocircuito.

Además Se realizan para un sólo transformador, es decir las pruebas se realizan de uno en uno, siendo este un proceso no óptimo, puesto que en las pruebas de laboratorio se requiere mayor eficiencia debido a su demanda actual, por lo que mientras que el operador termina de probar un transformador y desconecte la fuente, el tiempo que requiere para salir de la oficina hasta el campo de pruebas toma un tiempo de un minuto. El sistema de control se encuentra diseñada por una lógica común no secuencial que presenta los siguientes problemas:

Para cambiar la prueba de alimentación de un transformador ya sea de un sistema trifásico a monofásico, el operador necesita ubicarse en el tablero de fuerza, bajar el breaker monofásico, para luego subir el breaker trifásico, parecido a una

transferencia manual, corriendo el riesgo de que el operador se confunda u olvide el cambio de alimentación según el tipo de transformador monofásico o trifásico que fuera a probar tal como se muestra en la figura 1.2.

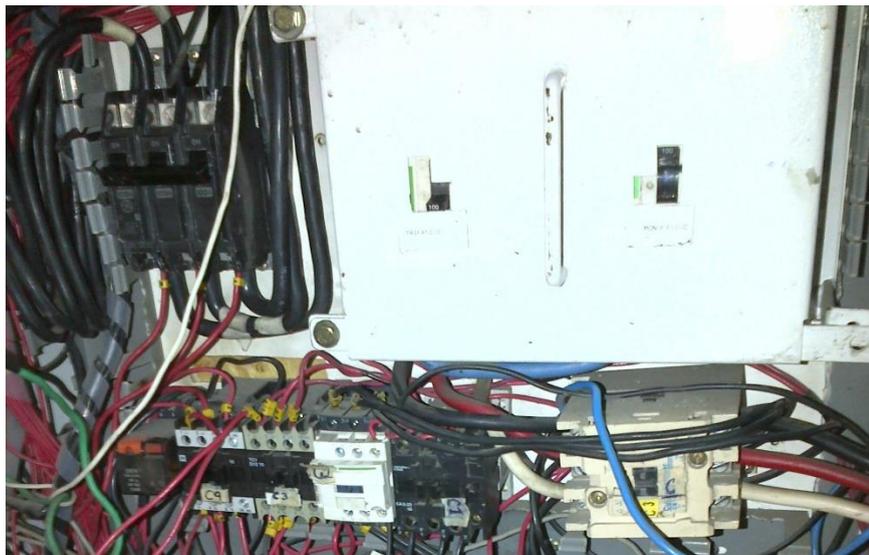


Figura 1.2. Transferencia de alimentación monofásica a manual.

El operador necesita salir de la oficina de control y luego pasar al área de transformadores para realizar el cambio de conexión para el siguiente transformador a probar tomándole alrededor de un minuto.

En el cambio de operación de modo directo a indirecto en las pruebas de transformadores el ION 7650 corre el riesgo de ser afectado por una sobrecorriente en función a la capacidad del transformador a operar, puesto que no se presenta una correcta protección.

No existe un visualizador digital que indique el tipo de prueba, la alimentación, el modo de conexión de la prueba que se está ejecutando en el proceso, todo está limitado con selectores sin existir una secuencia de control ordenada.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

Debido al incremento en la producción y la demanda de transformadores monofásicos y trifásicos en el país, se requiere optimizar los procesos de pruebas en el laboratorio para agilizar la entrega inmediata en el tiempo programado de cada transformador a sus respectivos clientes, las pruebas que se realizan actualmente en el laboratorio es de uno a uno. El manejo de operar con voltajes y corrientes en la prueba de transformadores según su potencia, capacidad y alimentación es muy delicado, una mala acción en su operación por descuido u olvido en el momento de la prueba puede ocasionar un daño irreparable tanto para el transformador como a sus equipos de medición.

El sistema de control actual es muy básico, no existe una secuencia de control programada, se requiere en estas pruebas un control automatizado que gestione el proceso para la activación de alarmas, protecciones, fallas. Por tal razón el sistema será controlado por un micro PLC LOGO Ethernet de Siemens, la operación y visualización del estado será a través de la pantalla del LOGO TD digital. Éste diseño de control podrá realizar el proceso automático de pruebas secuenciales de hasta 14 transformadores del tipo CSP Convencional y Pad Mounted.

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.

Se diseñará un sistema de control a través de un mando de operación amigable para el usuario, que posea su respectivo diagrama eléctrico para futuras modificaciones. Este panel de operador tendrá una pantalla de visualización y control que me permitirá supervisar el tipo de prueba, alimentación y el número actual del transformador que está en proceso.

Se diseñará un sistema de fuerza que se encontrará fuera de las oficinas del laboratorio, puesto que es grande por sus componentes de contactos de fuerza para conexión de catorce transformadores monofásicos controlados por el micro PLC, que permitirá a través de una modificación en el circuito de control de la máquina HIPOTRONIC las activaciones de alimentación y regulación de voltaje a través del sistema de control diseñado.

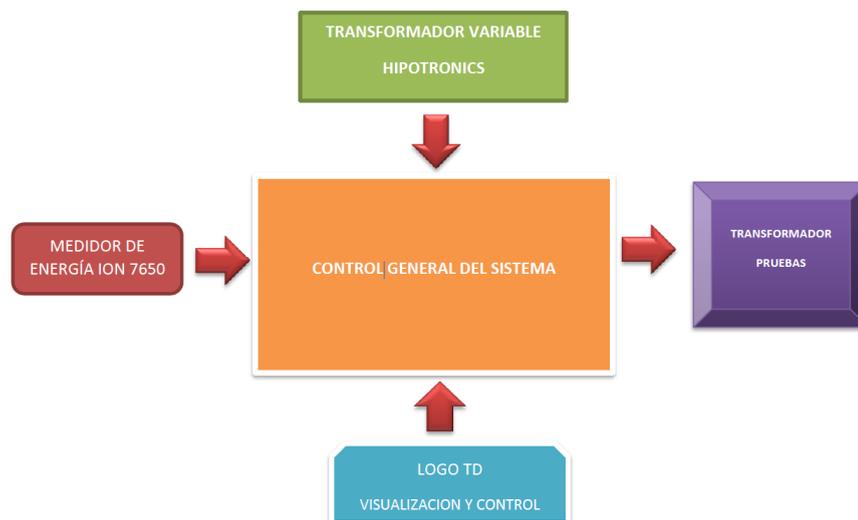


Figura 1.3. Diagrama de bloques de la solución propuesta.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVOS GENERALES.

- Aplicar conocimientos de control industrial, automatización, maquinarias eléctricas.
- Realizar un sistema de control y fuerza general para pruebas de vacío, cortocircuito, controlado por el micro PLC LOGO, para el proceso de una secuencia automática en forma paralela de hasta 14 transformadores monofásicos del laboratorio de Moretran.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un sistema de control general de pruebas secuenciales con la programación de lógica ladder en el micro PLC LOGO.
- Construir el tablero de fuerza externo al laboratorio para las pruebas de campo
- Construir un tablero de control y mando amigable para el operador dentro del laboratorio.
- Diseñar el diagrama del sistema de fuerza de alimentación trifásica para un solo transformador y de alimentación monofásica para una cantidad máxima de 14 transformadores en modalidad directa e indirecta.
- Acoplar el control automatizado del Logo Ethernet con el equipo de medición ION 7650 (Analizador de Energía), con el equipo de alimentación HIPOTRONICS (Transformador Variable), para gestionar el control y operación en las pruebas de vacío y cortocircuito.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS.

- Automatizar los procesos de pruebas de laboratorio (prueba de vacío, prueba de cortocircuito) de transformadores de distribución monofásicos y trifásicos tipo padmounted y Convencionales.
- Realizar pruebas múltiples en paralelo de transformadores monofásicos para un máximo de catorce en una sola conexión en operación secuencial.
- Gestionar las pruebas de laboratorio en un solo sistema de control por medio del micro PLC Logo Ethernet.
- Se diseña el sistema de control para la medición en los ensayos de pérdidas de vacío y corrientes de excitación, perdidas con carga y tensión de impedancia.
- Obtener un diagrama del sistema de fuerza y del sistema de control para futuras modificaciones, mejoras y reconocimiento de fallas.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE FUERZA Y ALIMENTACIÓN.

Este capítulo se basa en los fundamentos teóricos de las pruebas de transformadores, específicamente para las pruebas de vacío y pruebas de cortocircuito, se realiza un análisis de sus pérdidas, de sus magnitudes de voltaje y corriente, esto es para lograr un buen diseño en el sistema de fuerza cuyas capacidades de prueba estén dentro de la línea de todos los diseños de transformadores de distribución fabricados en la empresa Moretran. Las tolerancias del transformador fabricado deben estar dentro de los parámetros permitidos en las normas NTE INEN 2114 y NTE INEN 2115 con respecto a los transformadores de distribución monofásicos y trifásicos. Se analizará los requerimientos de conexión y carga para la implementación del diseño.

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL TRANSFORMADOR.

Un transformador de distribución, es sometido a pruebas y ensayos para verificar que ha sido adecuadamente diseñado y construido con el fin de soportar la carga solicitada y generar la menor cantidad de pérdidas eléctricas de sí misma.

Las pruebas que se realizan en los laboratorios de las empresas distribuidoras o en las fábricas, sólo son pruebas idealizadas, basadas sobre el buen estado de los materiales aislantes y de las piezas más importantes sobre las cuales se puedan presentar los mayores defectos de diseño o fabricación. A los transformadores se les practica una serie de pruebas que inicia desde una inspección visual, posteriormente a la materia prima, hasta las pruebas de mantenimiento.

2.1.1. EL TRANSFORMADOR.

Un transformador es un dispositivo electromagnético estático que transfiere la energía eléctrica desde un circuito a otro mediante la acción de la inducción electromagnética. Transforma voltajes y corrientes alternas a otros valores de voltajes y corrientes alternas a una misma frecuencia. Está constituido por dos circuitos eléctricos acoplados mediante un circuito magnético. El funcionamiento del transformador se basa en la Ley de inducción de Faraday, de manera que un circuito eléctrico influye sobre el otro a través del flujo generado en el circuito magnético. [1]

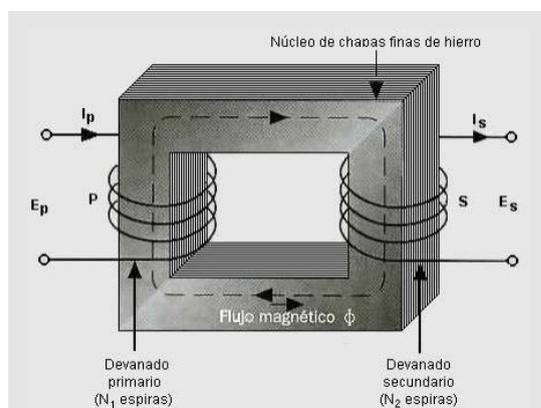


Figura 2.1. Principio de operación de un transformador. [2]

2.1.1.1 TRANSFORMADOR IDEAL.

Para analizar un transformador, vamos a iniciar su estudio suponiendo que el mismo es ideal, por lo que debe presentar las siguientes características:

- En las bobinas primaria y secundaria se considera la resistencia despreciable.
- Todo el flujo magnético que se establece en el núcleo es común a ambos devanados, al suponer nulo el flujo disperso.
- El núcleo no tiene reluctancia.
- El núcleo no tiene pérdidas por corrientes parasitas ni por histéresis.

2.1.1.2 TRANSFORMADOR REAL.

En el transformador real han de tenerse en cuenta:

- El flujo no es común a lo largo del circuito magnético, debido a la existencia de flujos dispersos, tanto en el primario como en el secundario.

- La resistencia óhmica de los devanados no es despreciable, por lo que habrá de tenerse en cuenta.
- El núcleo del transformador está formado por un apilado de chapas magnéticas, que motivarán unas pérdidas en el hierro.

2.1.1.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR REAL.

Para el cálculo y análisis del circuito del transformador, se puede simplificar modificando los valores de sus componentes, que son sus impedancias y reactancias. Para determinar los parámetros del transformador, se recurre a la realización de los denominados ensayos de corriente continua, en vacío y en cortocircuito. [1]

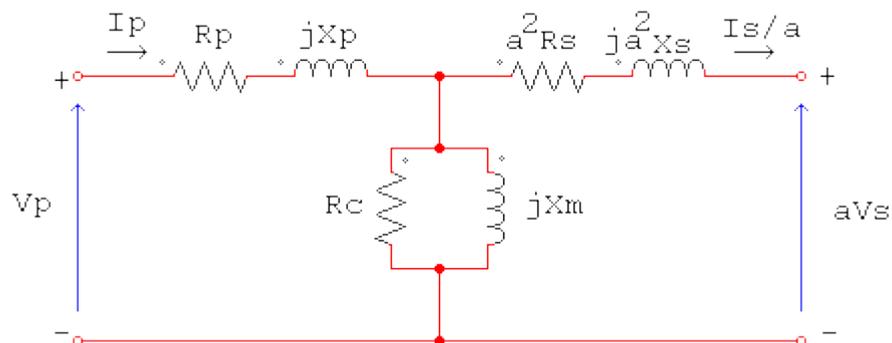


Figura 2.2. Circuito equivalente de un transformador. [3]

2.1.2. COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR.

Todos los transformadores están constituidos por elementos específicos los cuales se clasifican en:

- Circuito Magnético.
- Circuito eléctrico.
- Sistema de aislamiento.
- Tanques, herrajes y accesorios.
-

2.1.2.1 CIRCUITO MAGNÉTICO.

Es aquel elemento que permite conducir el flujo magnético a los circuitos eléctricos del transformador, comúnmente conocido como el núcleo, Están formados por un conjunto de laminaciones acomodadas en la forma y dimensiones requeridas. La razón de usar laminaciones de acero al silicio en los núcleos de las máquinas eléctricas, es que el silicio aumenta la resistividad del material y entonces hace disminuir la magnitud de las corrientes parásitas o circulantes y en consecuencia las pérdidas por este concepto. Este se clasifica en dos tipos los cuales son:

- Núcleo tipo columna.
- Núcleo tipo acorazado.



Figura 2.3. Núcleo tipo columna. [4]

2.1.2.2 CIRCUITO ELÉCTRICO.

El circuito eléctrico está constituido por los devanados (primario y secundario), estos son realizados sobre horma y cubierta de cinta aislante, tratadas al vacío, impregnadas de barniz aislante y cocido. La función que desempeñan cada uno de los devanados, da origen al funcionamiento del transformador y esto es posible con el uso de la corriente alterna. [5]

2.1.2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO.

Los transformadores poseen una serie de materiales aislantes, los cuales juntos forman el sistema de aislamiento, están constituidos mediante un conjunto de elementos aislantes, los cuales son:

- Cartón prensado.
- Papel Kraft normal o tratado.
- Papel manila y corrugado.
- Cartón prensado de alta densidad.
- Collarines de cartón prensado.
- Esmaltes y barnices.
- Porcelanas.
- Recubrimientos de polvo epóxico.
- Madera de maple.
- Algodón, hilos, cintas.
- Plásticos, telas, cintas adhesivas, cinta de fibra de vidrio.
- Fluido líquido dieléctrico.

El sistema de aislamiento aísla los devanados del transformador entre ellos y a tierra, así como las partes cercanas del núcleo y las partes de acero que forman la estructura. Entre las cualidades que deben cumplir este sistema de aislamiento para aumentar la vida útil del transformador y protegerlo son:

- Calidad para soportar las tensiones relativamente altas, como también ondas de impulso y transitorios, todo lo que involucre esfuerzos dieléctricos.
- Calidad de soportar esfuerzos mecánicos y térmicos, los cuales involucran a la disipación de calor y cortocircuitos.
- Calidad para prevenir excesivas acumulaciones de calor por lo cual debe haber una adecuada transmisión de calor. [5]

2.1.2.4 TANQUES Y ACCESORIOS.

Los transformadores deben estar contenidos en un tanque hermético, con el objetivo de preservar el aceite, puesto que el aceite tiene la función de actuar como refrigerante y como dieléctrico. Los transformadores que emplean refrigeración por líquido deben tener necesariamente sus núcleos y devanados inmersos en tanques, entre una temperatura de menos 5 °C a una máxima de 105 °C. [5]

Entre los accesorios más importantes del transformador de distribución tenemos:

- Bushings de A.T y B.T.
- Conmutador (cambiador de taps).
- Terminales de cobre para A.T y B.T.
- Válvula de aceite.
- Termómetro con contacto.
- Niveles de aceite con contacto.

2.2. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES.

Las pérdidas de potencia en un transformador real, son un tema muy crítico y complicado, dichas pérdidas han sido estudiadas por años y años, llegando a la conclusión de que es imposible no tener pérdidas en un transformador; es por esto que ahora lo que se pretende lograr es reducir las pérdidas lo máximo posible.

Un transformador real tiene perdidas por diferentes circunstancias, no solo por una, y sin embargo todas se manifiestan en forma de calor, es decir si un transformador tiene pérdida de potencia esta pérdida se transformara en calor, este es el principio de la conservación de energía.

Debido a las pérdidas de potencia es que cada transformador, debe tener su factor de potencia establecido por el fabricante, para así poder ver cuál es un transformador con bajas perdidas y cual es un transformador con altas perdidas, para así poder adquirir uno de estos según las circunstancias que se necesiten. Para analizar las pérdidas de potencia en un transformador es muy conveniente analizar las pérdidas en el núcleo y bobinado eléctrico del transformador por separado, puesto que cada uno de ellos presenta pérdidas por circunstancia totalmente diferentes. [5]

2.2.1. PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR.

Las pérdidas producidas en un transformador por el circuito magnético son constantes, es decir estas no cambian por la carga, por la corriente en el bobinado, por las voltajes o por el número de espiras, puesto que el flujo magnético es constante y depende únicamente del material que obviamente ya está construido y no sufrirá ninguna modificación durante su funcionamiento.

Las pérdidas producidas en el circuito magnético del transformador son las siguientes:

- Flujos dispersos.
- Ciclo de histéresis.
- Corrientes parásitas.

2.2.1.1 FLUJO DE DISPERSIÓN.

En el núcleo del transformador se produce un flujo magnético debido a la inducción magnética producida, dicho flujo circula por el núcleo, y en su trayecto en un transformador real este se dispersa en pequeñas cantidades dependiendo de la forma del núcleo, produciendo una pérdida de potencia, puesto que el flujo inducido no llega totalmente al segundo devanado si no que una parte de este se pierde en el trayecto, éstas pérdidas generalmente se producen en los bordes del núcleo magnético.

2.2.1.2 CICLO DE HISTÉRESIS.

El núcleo del transformador pertenece a los materiales ferromagnéticos, en estas se presentan las pérdidas de potencia producidas por el ciclo de histéresis.

El ciclo de histéresis se puede explicar entendiendo que el núcleo del transformador se encuentra ubicado dentro del campo magnético generado por el mismo y, en consecuencia, se imanta. Pero, ocurre que la corriente aplicada al transformador es alternada y, por tanto se invierte constantemente su polaridad, variando con la misma frecuencia el sentido del campo magnético, entonces las moléculas del material que forman el núcleo deben invertir en igual forma su sentido de orientación, lo cual requiere energía, que es tomada de la fuente que suministra la alimentación; lo cual representa, una pérdida de potencia. [6]

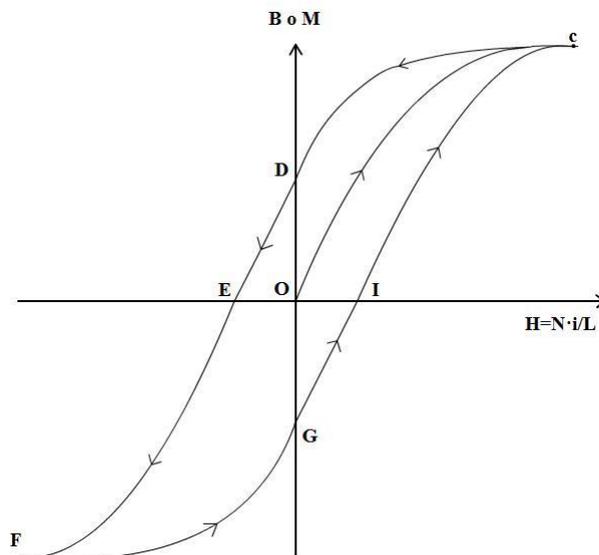


Figura 2.4. Ciclo de histéresis en un material ferromagnético. [7]

2.2.1.3 CORRIENTES PARÁSITAS.

Cuando en un transformador se induce un campo magnético, por la ley de Faraday aparece en el material también una fem inducida la cual da lugar a unas corrientes parásitas que circularan por el núcleo, donde hay un determinado flujo variable, originándose en dicho núcleo corrientes circulares que se opondrán en todo instante a la causa que las origina, como el núcleo es macizo la resistencia que ofrecerá a dichas corrientes circulares será baja, lo cual provocará el incremento de tales corrientes. Debido al incremento de tales corrientes la fuerza magnetizante se debilitará y en consecuencia, provocará un incremento en la corriente que circula por el primario, la cual la obtendrá de la de la fuente que suministra la alimentación, lo cual representa una pérdida de potencia. [6]

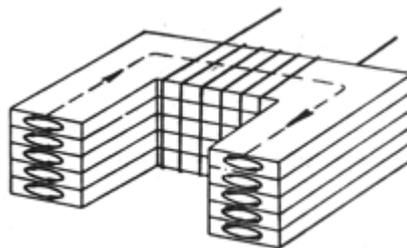


Figura 2.5. Pérdidas parásitas en el núcleo de un transformador. [8]

2.2.2. PÉRDIDAS EN EL BOBINADO DE UN TRANSFORMADOR.

Es la suma de las potencias pérdidas en los bobinados de un transformador, funcionando bajo carga nominal. El valor de esta potencia depende de la intensidad de corriente tanto en el bobinado primario como en el secundario, también depende

de su resistencia, la cual varía mucho desde el funcionamiento en vacío a plena carga de un transformador. La variación del valor de la potencia pérdida en el cobre es proporcional al cuadrado de la intensidades de corriente de carga y a la resistencia de los bobinados.

$$P_{cu} = I_{12}^2 \times r_1 + I_{22}^2 \times r_2 \quad (2.1)$$

Donde:

P_{cu} Pérdidas en los bobinados del transformador.

I_1 Intensidad en el bobinado primario.

I_2 Intensidad en el bobinado secundario.

r_1 Resistencia del bobinado primario.

r_2 Resistencia del bobinado secundario.

La manera de determinar las pérdidas en los bobinados de un transformador es mediante la prueba de cortocircuito. La potencia absorbida por el transformador en estas condiciones corresponde exactamente a las pérdidas totales en el cobre del conjunto de los dos bobinados. [6]

2.3. NORMAS INEN Y PROTOCOLOS DE PRUEBA.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización es un organismo público ecuatoriano encargado de la normalización, metrología y reglamentación técnica.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización - INEN tendrá las siguientes funciones:

- Cumplir las funciones de organismo técnico nacional competente, en materia de reglamentación, normalización y metrología, establecidos en las leyes de la República y en tratados, acuerdos y convenios internacionales.
- Formular, en sus áreas de competencia, luego de los análisis técnicos respectivos, las propuestas de normas, reglamentos técnicos y procedimientos de evaluación de la conformidad, los planes de trabajo, así como las propuestas de las normas y procedimientos metroológicos.
- Promover programas orientados al mejoramiento de la calidad y apoyar, de considerarlo necesario, las actividades de promoción ejecutadas por terceros.
- Preparar el Plan Nacional de Normalización que apoye la elaboración de reglamentos técnicos para productos.
- Organizar y dirigir las redes o subsistemas nacionales en materia de normalización, reglamentación técnica y de metrología.
- Prestar servicios técnicos en las áreas de su competencia.
- Previa acreditación, certificación y/o designación, actuar como organismo de evaluación de la conformidad competente a nivel nacional.
- Homologar, adaptar o adoptar normas internacionales. [9]

2.3.1. PÉRDIDA SIN CARGA.

Las pérdidas sin carga de un transformador, consisten principalmente de las pérdidas en el hierro del núcleo y son una función de la magnitud, frecuencia y forma de onda del voltaje aplicado. La corriente y las pérdidas sin carga son particularmente sensibles a las diferencias en la forma de onda, y por consiguiente, las medidas de las pérdidas sin carga varían apreciablemente con la forma de onda del voltaje aplicado.

Entre las especificaciones para realizar las pruebas de vacío según la norma INEN 2113:98 tenemos:

- Las variaciones ordinarias de temperatura no afectan sensiblemente las pérdidas sin carga y por tanto no es necesario hacer correcciones por esta razón.
- La determinación de las pérdidas sin carga debe hacerse con base en una onda sinusoidal de voltaje, a menos que sea inherente a la operación del transformador una forma de onda diferente.
- La lectura del voltímetro de valor promedio absoluto debe utilizarse para corregir las pérdidas sin carga con una onda sinusoidal de voltaje aplicado.
- Las pérdidas sin carga son en gran parte pérdidas por histéresis y éstas son una función de la máxima densidad de flujo en el núcleo. [10]

2.3.2. PÉRDIDA CON CARGA.

Las pérdidas con carga son aquellas que se producen debido a una carga específica conectada a un transformador. Las pérdidas con carga incluye las pérdidas I^2R en los bobinados y elementos de protección, si los hubiere, debido a la corriente de carga y, las pérdidas parásitas debido a las corrientes de Eddy inducidas por el flujo de dispersión en los bobinados, en el núcleo, en los protectores magnéticos, en las paredes del tanque y otras partes conductoras. Las pérdidas por dispersión también pueden ser causadas por corrientes circulantes en bobinados conectados en paralelo o traslapados.

Las pérdidas con carga son medidas, cortocircuitando uno de los bobinados de alto o bajo voltaje, y aplicando un voltaje al otro bobinado para causar la circulación de una corriente específica en estos. Las pérdidas de potencia dentro del transformador bajo esas condiciones, son iguales a las pérdidas con carga del transformador a la temperatura de ensayo y a una corriente específica de carga. [11]

2.4. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PARA EL DISEÑO.

En el diseño de fuerza seleccionamos los respectivos componentes necesarios para las pruebas de vacío y cortocircuito. Determinamos si la fuente proporciona el voltaje determinado para realizar las pruebas, debe poseer una capacidad de corriente tal que puede energizar y realizar la prueba de cortocircuito en un transformador de 2000 KVA. Entre los componentes tenemos:

- Autotransformador variable HIPOTRONIC.
- Analizador de energía ION 7650.
- Micro PLC LOGO Ethernet de Siemens.
- Pantalla Logo TD.
- Transformadores de potencial relación 2:1.
- Transformadores de corriente relación 200:5.

2.4.1. AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONIC.

El autotransformador variable HIPOTRONIC es similar a un transformador trifásico convencional con la diferencia que está constituido por un solo devanado alrededor del núcleo. Permite variar su voltaje en la salida desde 0V hasta el doble del voltaje de su entrada que es fija. El modelo del autotransformador variable es 60A48-96y1b/1s, su capacidad es 300KVA, su alimentación de entrada es de 480 Vca y su capacidad de corriente es de 360 A. El voltaje de salida es desde 0V, hasta un máximo de regulación de 960 Vac, su capacidad máxima de corriente es de 180 A a su voltaje máximo.



Figura 2.6. Autotransformador variable HIPOTRONIC.

2.4.2. ANALIZADOR DE ENERGÍA ION 7650.

Es un dispositivo que permite medir y controlar la calidad de la energía eléctrica, es decir es un dispositivo Clase A según la norma IEC 61000-4-30 que se refiere a la calidad de la energía. Este equipo es de alta precisión, tiene opciones múltiples de comunicación, sus mediciones pueden ser configuradas a sus propios requerimientos de medición.

Para nuestro diseño con respecto a las pruebas es un dispositivo que nos va a permitir obtener la medición de voltaje, la corriente de excitación y sobreexcitada, factor de potencia, y potencia activa de un voltaje nominal en el lado de baja tensión para obtener las pérdidas de vacío de un transformador. También nos permitirá obtener los valores de corriente nominal, voltaje de impedancia, factor de potencia y

potencia activa medida en el lado de alta tensión para obtener las pérdidas de cortocircuito del transformador ya sea monofásico o trifásico.



Figura 2.7. Analizador de energía ION 7650.

2.4.3. MICRO PLC LOGO ETHERNET SIEMENS.

Este dispositivo es un controlador lógico programable que se diseña a partir del lenguaje de programación ladder, que es el lenguaje más parecido a un esquema eléctrico de lógica de relés. Este dispositivo me permite reducir espacios y tiempos de construcción, y rediseño a solo una programación interna, ya que en función de señales de entrada ingresadas al mico PLC me permite según la lógica de mi diseño determinar una acción específica de control para realizar un proceso en secuencia y automático, como en este diseño de realizar las pruebas en secuencia de un grupo determinado de transformadores conectados todos ellos al mismo tiempo.



Figura 2.8. Logo oba6 y logo oba7. [12]

2.4.4. PANTALLA LOGO TD.

Es un dispositivo que permite interactuar con el operador para visualizar los procesos de acción y diagnósticos de alarmas, me permite ajustar parámetros para el control de diversos procesos del sistema. En nuestro diseño particular me permite seleccionar los parámetros tales como el tipo de alimentación, modo conexión, tipo de prueba y la cantidad de transformadores a probar en secuencia automática. También me permite visualizar el tipo de prueba realizada, el orden de los transformadores que está operando y las señales de emergencia en caso de activarse.



Figura 2.9. Pantalla LOGO TD.

2.4.5. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.

Son dispositivos que se usan para conectarse a instrumentos de medida en el lado de baja tensión, Estos transformadores tienen una potencia muy baja porque no manejan corrientes, sino voltajes para la medición en situaciones donde el rango de voltajes está fuera de los límites del dispositivo a medir, se llaman también PTs.



Figura 2.10. Transformadores de potencial.

2.4.6. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.

Son dispositivos que trabajan por medio de campos magnéticos generados por una corriente alterna en una bobina que induce una corriente proporcional en la segunda bobina, por general esta corriente inducida es de menor medida, se los llaman también Cts. Se los usa para supervisión, medición y control en dispositivos que admitan este rango de corriente.



Figura 2.11. Transformadores de corriente.

2.5. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO.

El diseño de fuerza para realizar pruebas de vacío y cortocircuito a cualquier transformador se debe analizar para un rango máximo de operación en las magnitudes de corriente y voltaje. El circuito de fuerza debe ser tal que soporte estas dimensiones de carga para todo tipo de transformadores de distribución. Por ejemplo un transformador trifásico de 2000 KVA posee una corriente nominal en el lado de alta tensión de aproximadamente 84 amperios a 13800 voltios, y un voltaje de cortocircuito de 520 voltios, entonces el sistema de fuerza diseñado debe soportar estas corrientes y voltajes en el proceso de pruebas.

2.5.1. TIPOS DE TRANSFORMADORES PARA PRUEBAS.

Los transformadores diseñados y construidos en la empresa Moretran, deben ser probados en el laboratorio de pruebas del mismo, El sistema de fuerza debe tener la capacidad para poder probar todo tipo de transformadores en base a su alimentación, voltaje y potencia. Entre los tipos de transformadores que fabrica la empresa tenemos:

2.5.2. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO PADMOUNTED.

Los transformadores monofásicos padmounted son recomendados para su uso en ciudadelas, edificios, y residencias ya que son colocados a la intemperie. Estos transformadores poseen un gabinete de protección que no permite que los bushings de AT y BT estén expuestos. Los transformadores padmounted pueden ser del tipo radial o malla de acuerdo a las necesidades de nuestros clientes, además de que pueden llevar protecciones como fusibles del tipo BAY-O-NET en media tensión y breaker en baja tensión.



Figura 2.12. Transformador monofásico Pad mounted.

2.5.2.1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO AUTO PROTEGIDO (CSP).

Los transformadores auto protegidos son especialmente diseñados para alimentación de cargas residenciales de distribución aérea. También están disponibles para cargas de iluminación comercial, industrial y otras diversas aplicaciones. Son diseñados para condiciones normalmente encontradas en sistemas de distribución de energía. El transformador auto protegido incluye elementos de protección contra: sobrecargas (breaker), cortocircuitos internos y externos (fusible de expulsión), y sobretensiones (pararrayos).



Figura 2.13. Transformador monofásico auto protegido.

2.5.2.2 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO PADMOUNTED.

Los transformadores trifásicos padmounted pueden ser construidos desde 30 KVA hasta 2500 KVA, están diseñados para aplicaciones en sistemas de distribución subterráneos, y sirven para suministrar energía a centros comerciales, edificios, urbanizaciones, y establecimientos industriales. Éstos transformadores poseen un gabinete de protección que no permite que los bushings de AT y BT estén expuestos. Los transformadores padmounted pueden ser del tipo radial o malla de acuerdo a las necesidades de nuestros clientes, además de que pueden llevar protecciones como fusibles del tipo BAY-O-NET en media tensión y breaker en baja tensión.



Figura 2.14. Transformador Trifásico Pad mounted.

2.5.2.3 TRANSFORMADOR TRIFASICO CONVENCIONAL.

Los transformadores trifásicos convencionales son utilizados para reducir o elevar el nivel de tensión del sistema trifásico, principalmente utilizados para aplicaciones industriales o en zonas metropolitanas en nuevas construcciones o edificios.

La configuración de los transformadores trifásicos se hace de acuerdo a la conexión solicitada por la norma o el cliente, siendo las más usadas Dyn5 y Yyn0.

Estos transformadores podrán ser solicitados por los clientes con accesorios de control y protección adicionales para temperatura, nivel de aceite, sobre-presión o humedad de acuerdo a las necesidades.



Figura 2.15. Transformador Trifásico convencional.

2.5.2.4 TRANSFORMADOR TIPO SECO.

Los transformadores secos son del tipo BAJA-BAJA, o sea lado primario y secundario son de baja tensión, pueden ser devanado abierto, monofásicos y trifásicos en tensiones menores que 600 V, con derivaciones en el devanado primario. El sistema de aislamiento que tienen nuestros transformadores es clase F (150°C) y bajo pedido clase H (180°C), tienen un mínimo nivel de ruido y bajas pérdidas en el núcleo. Los transformadores secos se usan generalmente para convertir bajos voltajes en locales comerciales e industrias que poseen equipos con diferentes niveles de tensión.

Se utilizan generalmente en hospitales, centros comerciales, industrias, edificios, en donde por razones de seguridad se restringe el uso de transformadores en liquido aislante.



Figura 2.16. Transformador trifásico seco.

2.5.3 CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA DE FUERZA.

Para que el diseño sea óptimo en las pruebas de todo tipo de transformadores de distribución fabricado en la empresa, se requiere conocer la máxima capacidad de corriente que pueda soportar el sistema de fuerza, necesario para dimensionar los calibres de conductores y protecciones.

2.5.3.1 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BAJA TENSIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.

La máxima capacidad de corriente por cada transformador monofásico viene determinada por su potencia, encontrando así su corriente nominal. La ecuación para calcular la corriente en el lado de baja tensión se expresa de la manera siguiente:

$$I_{BT} = \frac{P \times 1000}{V_{BT}} \quad (2.2)$$

Donde:

P Es la potencia en KVA del Transformador.

V_{BT} Es el voltaje en el lado de baja del transformador.

I_{BT} Es la corriente nominal en el lado de baja del transformador.

Se determina en la tabla 2.1 la capacidad de corriente nominal de los transformadores monofásicos de distribución:

Tabla 2.1. Corriente nominal a baja tensión.

CAPACIDADES NOMINALES DE CORRIENTE		
POTENCIA NOMINAL KVA	VOLTAJE BAJA TENSIÓN	CORRIENTE BAJA TENSIÓN
3	240	12.5
5	240	20.8
10	240	41.7
25	240	104.2
37.5	240	156.3
50	240	208.3
75	240	312.5
100	240	416.7

2.5.3.2 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN ALTA TENSIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS.

La máxima capacidad de corriente por cada transformador monofásico viene determinada por su potencia, encontrando así su corriente nominal. La ecuación para calcular la corriente en el lado de alta tensión se expresa de la manera siguiente:

$$I_{AT} = \frac{P \times 1000}{V_{AT}} \quad (2.3)$$

Donde:

- P Es la potencia en KVA del Transformador.
- V_{AT} Es el voltaje en el lado de alta del transformador.
- I_{AT} Es la corriente nominal en el lado de alta del transformador.

Se determina en la tabla 2.2 la capacidad de corriente nominal de los transformadores monofásicos de distribución:

Tabla 2.2. Capacidades de corriente nominal alta tensión.

CAPACIDADES NOMINALES DE CORRIENTE ALTA TENSIÓN		
POTENCIA NOMINAL KVA	VOLTAJE ALTA TENSIÓN	CORRIENTE ALTATENSIÓN
3	7620	0.4
5	7620	0.7
10	7620	1.3
25	7620	3.3
37.5	7620	4.9
50	7620	6.6
75	7620	9.8
100	7620	13.1

2.5.3.3 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BAJA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

La máxima capacidad de corriente por cada transformador trifásico viene determinada por su potencia, encontrando así su corriente nominal. La ecuación para calcular la corriente en el lado de baja tensión se expresa de la manera siguiente:

$$I_{BT} = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{BT}} \quad (2.4)$$

Donde:

P Es la potencia en KVA del Transformador.

V_{BT} Es el voltaje en el lado de baja del transformador.

I_{BT} Es la corriente nominal en el lado de baja del transformador.

Se determina en la tabla 2.3 la capacidad de corriente nominal en baja tensión de los transformadores trifásicos de distribución:

Tabla 2.3. Capacidades de corriente nominal baja tensión.

CAPACIDADES NOMINALES DE CORRIENTE		
POTENCIA NOMINAL KVA	VOLTAJE BAJA TENSIÓN	CORRIENTE BAJA TENSIÓN
15	220	39.4
30	220	78.7
50	220	131.2

75	220	196.8
100	220	262.4
125	220	328
150	220	393.6
200	220	524.9
225	220	590.5
250	220	656.1
300	220	787.3
350	220	918.5
400	220	1049.7
500	220	1312.2
750	220	1968.2
1000	220	2624.3
1250	220	3280.4
1500	220	3936.5
2000	220	5248.6
2500	220	6560.8

2.5.3.4 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN ALTA TENSIÓN DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

La máxima capacidad de corriente por cada transformador trifásico viene determinada por su potencia, encontrando así su corriente nominal. La ecuación

para calcular la corriente en el lado de alta tensión se expresa de la manera siguiente:

$$I_{AT} = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{AT}} \quad (2.5)$$

Donde:

P Es la potencia en KVA del Transformador.

V_{AT} Es el voltaje en el lado de alta del transformador.

I_{AT} Es la corriente nominal en el lado de alta del transformador.

Se determina en la tabla 2.4 la capacidad de corriente nominal de los transformadores monofásicos de distribución.

Tabla 2.4. Capacidad de corriente en alta tensión.

CAPACIDADES NOMINALES DE CORRIENTE		
POTENCIA NOMINAL KVA	VOLTAJE ALTA TENSIÓN	CORRIENTE ALTA TENSIÓN
15	220	0.6
30	220	1.3
50	220	2.1
75	220	3.1
100	220	4.2
125	220	5.2

150	220	6.3
200	220	8.4
225	220	9.4
250	220	10.5
300	220	12.6
350	220	14.6
400	220	16.7
500	220	20.9
750	220	31.4
1000	220	41.8
1250	220	52.3
1500	220	62.8
2000	220	83.7
2500	220	104.6

2.6 ANÁLISIS DE ACOMETIDA Y DIAGRAMA ELÉCTRICO.

Para obtener la energía necesaria para realizar las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores de distribución se requiere conocer la capacidad máxima que posee el autotransformador variable HIPOTRONIC, en función de su potencia entregada y su voltaje máximo de regulación podemos conocer su capacidad máxima de corriente entregada al transformador de prueba.

2.6.1 CAPACIDAD DEL AUTOTRANSFORMADOR HIPOTRONIC.

Conociendo sus características calculamos la corriente mediante la expresión siguiente:

$$I_o = \frac{S_H \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{regulable}} \quad (2.6)$$

Donde:

S_H Es la potencia en KVA del autotransformador Hipotronic.

$V_{regulable}$ Es el voltaje máximo regulable del autotransformador Hipotronic.

I_o Es la corriente entregada por el autotransformador Hipotronic.

La potencia máxima que entrega el autotransformador es de 300KVA y el voltaje máximo regulable es de 960 Voltios según las especificaciones, reemplazando sus valores en la expresión (2.6) tenemos que la capacidad del autotransformador variable es de 180 A.

Analizado aquello nos permite considerar que en la prueba de vacío realizada en el lado de baja tensión nos permite estar dentro del rango de valores de voltaje nominal en todos los transformadores de distribución sin ningún inconveniente. La corriente de excitación de un transformador de 2500KVA es de 36 A y en voltaje sobre-excitado es de 90 A para una impedancia del 4%.

En la prueba cortocircuito para un transformador de un máximo de 2500 KVA la corriente nominal en el lado de baja tensión es de 104 A y el voltaje de cortocircuito es de 450 V.

Como resultado del análisis de la acometida el autotransformador HIPOTRONIC si satisface la demanda de energía para las pruebas de vacío y cortocircuito para cualquier tipo de transformadores, sabiendo que el máximo de su diseño es el transformador trifásico de 2500 KVA.

2.6.2. CAPACIDAD DE LA ACOMETIDA.

Conociendo las características del autotransformador HIPOTRONIC y la capacidad máxima que requiere en la pruebas de un transformador de distribución La capacidad de la entrada del conductor es de 225 amperios equivalente a un cable THHN de 3/0 AWG para el sistema de fuerza y su breaker principal de 250 amperios a 460V.

La capacidad del conductor a la salida del autotransformador variable HIPOTRONIC es de 125 amperios equivalente a un conductor THHN de 2 AWG para interconectar al tablero de fuerza y su breaker principal es de 120 amperios como se indica en la figura. Hay que considerar que la acometida va en electrocanales a la intemperie y no en tuberías EMT.

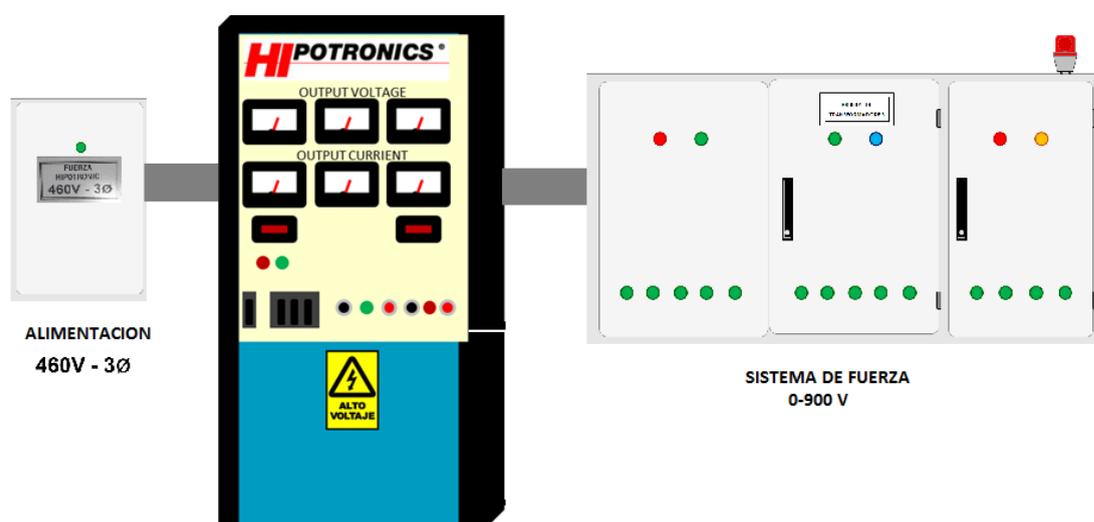


Figura 2.17. Acometida del autotransformador HIPOTRONIC y Tablero de Fuerza.

2.7 DISEÑO Y MONTAJE DEL TABLERO DE FUERZA.

A continuación se muestra el diagrama del sistema de fuerza para realizar las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores de distribución de hasta 2500 KVA. El tablero proporciona la capacidad de conectar hasta 14 transformadores en paralelo, separados por contactores de fuerza tal como se muestra el diseño.

Se puede comprobar los circuitos de conexión directa y conexión indirecta a través de los CT's y PT's, se comprueba el método de conexión en alimentación monofásica y trifásica a partir de contactores de fuerza.

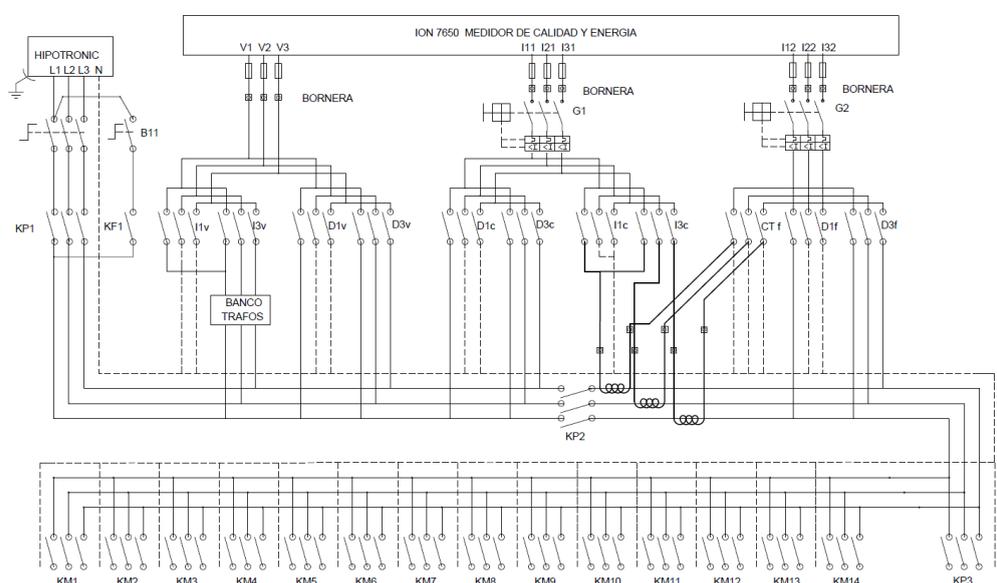


Figura 2.18. Diseño del sistema de Fuerza.

En el montaje y construcción adaptamos el circuito a un tablero cuyas medidas son de 160cmx100cmx60cm, compartidos en tres secciones, una para los transformadores de corriente y voltaje, y las otras dos secciones para el diseño de fuerza establecido por en contactores, guardamotores, breakers, fusibles ultrarrápidos, relés encapsulados y el micro PLC LOGO.



Figura 2.19. Montaje sistema de fuerza.

CAPÍTULO 3

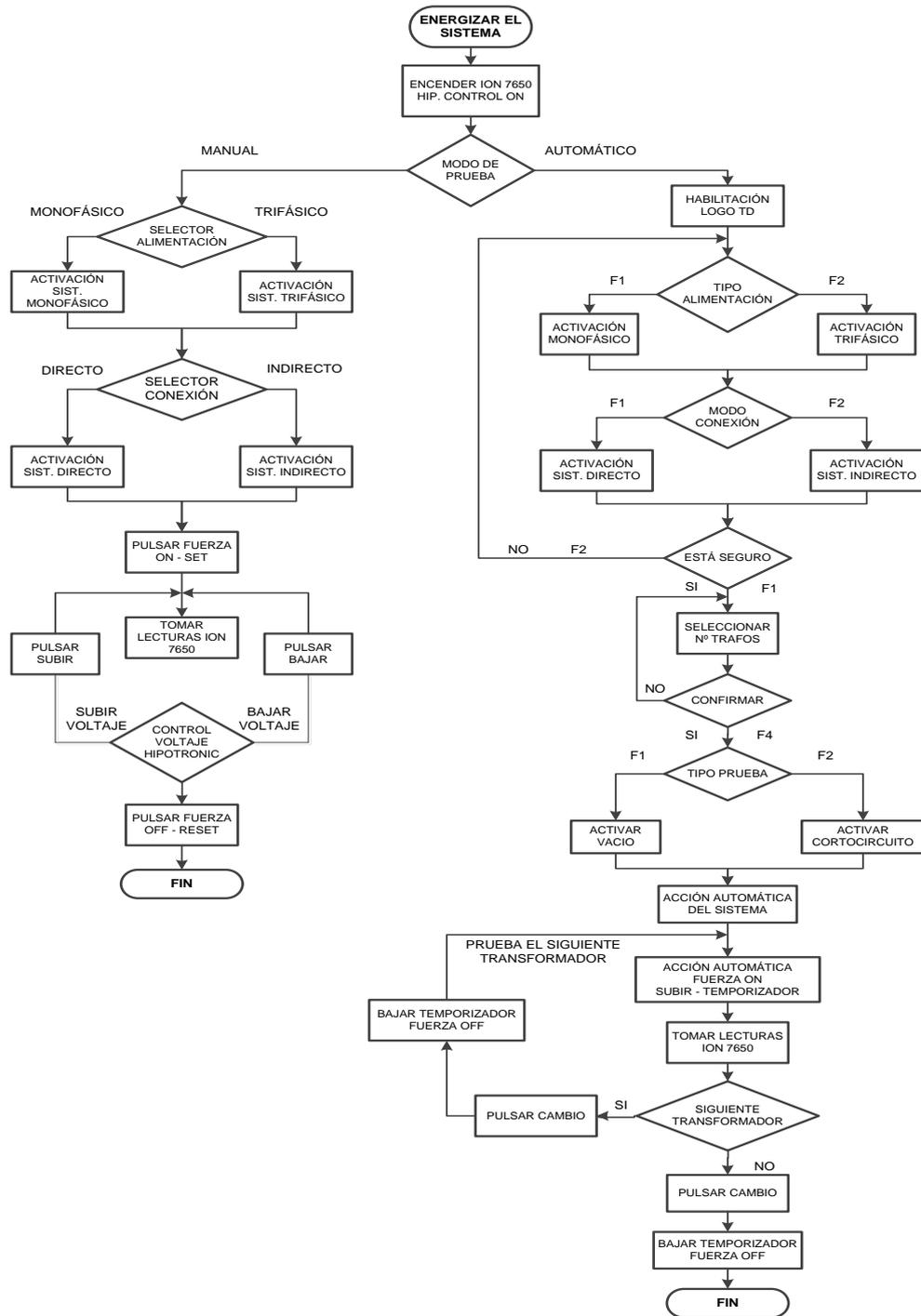
DISEÑO DEL SISTEMA LÓGICO DE CONTROL.

Una vez diseñado el sistema de fuerza, se diseña el sistema de control para que el proceso de pruebas tanto en vacío como en cortocircuito sea eficiente y dinámico con el operador. Se presenta el diseño a partir de su diagrama de flujo explicando el método de diseño para controlar señales digitales de entrada y salida al micro PLC, su programación interna ladder, como también el diagrama eléctrico externo para el control del transformador variable HIPORONIC y el analizador de energía ION7650.

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRICO GENERAL ADAPTADO AL PLC.

El diseño parte con la configuración de un diagrama de flujo para el seguimiento de cada proceso en función de sus entradas determinando cada acción que el controlador ejecute en el sistema de fuerza según la selección de parámetros elegidos por el operador.

3.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL.



3.1.2 DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DEL MICRO PLC.

En La figura 3.1 se presenta los componentes de entradas digitales que ingresan al micro PLC que determinan los parámetros de selección para cada proceso específico de pruebas.

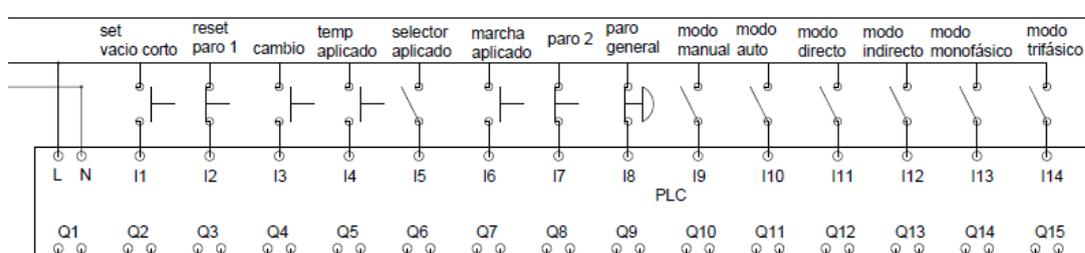


Figura 3.1. Entradas digitales del PLC LOGO OBA7.

En la Figura 3.2, se detallan las conexiones de salidas digitales del micro PLC, que accionan las distintas funciones del tipo de prueba a ejecutar, el modo de conexión, la selección de la cantidad determinada de transformadores a probar, y el control de la fuente de regulación variable de voltaje HIPOTRONIC.

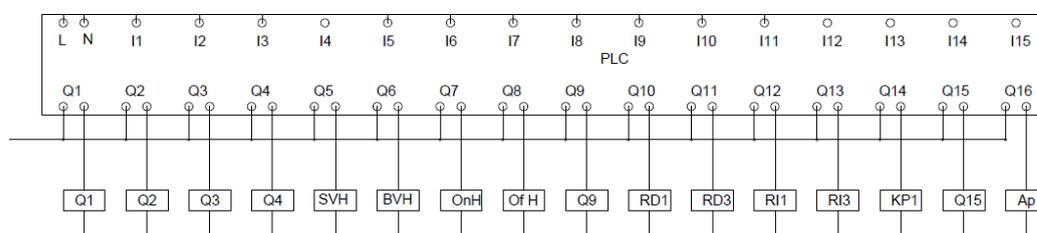


Figura 3.2. Salidas digitales del PLC LOGO OBA7.

3.1.3 DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS AL PLC.

En la Tabla 3.1 se describen cada una de las entradas que se utilizarán para el sistema de control general del micro PLC LOGO. Se especifica el tipo de dato y su función específica en el proceso de cada prueba.

Tabla 3.1. Entradas de Conexión del micro PLC LOGO ETHERNET.

DIRECCIÓN	NOMBRE	TIPO DE DATO	FUNCIÓN
I1	SET-MARCHA VACIO CORTO	Entrada digital, NO	Inicio del sistema de control en prueba de vacío y corto en modo manual y automático
I2	PARO RESET	Entrada digital, NC	Deshabilita la prueba en modo manual y automático
I3	CAMBIO	Entrada digital, pulsador NO	Permite realizar la secuencia de prueba para el siguiente transformador en automático
I5	PRUEBA APLICADO	Entrada digital, selector	Habilita la acción de prueba de aplicado a transformadores
I6	MARCHA APLICADO	Entrada digital, pulsador NO	Selección de abierto o cerrado para pruebas de paneles.
I7	PARO APLICADO	Entrada digital, pulsador NC	Deshabilita la función de prueba en aplicado
I8	PARO EMERGENCIA	Entrada digital, selector	Deshabilita cualquier función de prueba desactivando la alimentación general
I9	NODO MANUAL	Entrada digital, selector	Selecciona el modo de prueba de forma manual

I10	MODO AUTOMATICO	Entrada digital, selector	Selecciona el modo de prueba de forma automática
I11	MODO DIRECTO	Entrada digital, selector	Selecciona el modo directo de medición en la prueba
I12	MODO INDIRECTO	Entrada digital, selector	Selecciona el modo indirecto de medición en la prueba
I13	MODO MONOFASICO	Entrada digital, selector	Selecciona la prueba en modo de alimentación monofásica del transformador aprobar
I14	MODO TRIFASICO	Entrada digital, selector	Selecciona la prueba en modo de alimentación trifásica del transformador aprobar
F1	SELECCIÓN MODO 1 VACIO	Entrada digital, LOGO TD	Permite seleccionar en automático desde la pantalla LOGO TD la prueba de vacío
F2	SELECCIÓN MODO 2 CORTO	Entrada digital, LOGO TD	Permite seleccionar en automático desde la pantalla TD la prueba de cortocircuito
F3	CANTIDAD DE TRAFOS	Entrada digital, LOGO TD	Permite confirmar desde la pantalla TD el número de transformadores a probar en modo automático

3.1.4 DESCRIPCIÓN DE SALIDAS.

En la Tabla 3.2 se describen cada una de las entradas que se utilizarán para el sistema de control general del micro PLC LOGO. Se especifica el tipo de dato y su función específica en el proceso de cada prueba.

Tabla 3.2. Salidas de Conexión del micro PLC LOGO ETHERNET.

DIRECCIÓN	NOMBRE	TIPO DE DATO	FUNCIÓN
Q1	COMBINACION BIT 1	Salida digital	Combinación binaria para acceso a 14 transformadores
Q2	COMBINACION BIT 2	Salida digital	Combinación binaria para acceso a 14 transformadores
Q3	COMBINACION BIT 3	Salida digital	Combinación binaria para acceso a 14 transformadores.
Q4	COMBINACION BIT 4	Salida digital	Combinación binaria para acceso a 14 transformadores
Q5	SUBIR VOLTAJE	Salida digital	Incrementa el voltaje de la prueba desde el Hipotronic
Q6	BAJAR VOLTAJE	Salida digital	Disminuye el voltaje de la prueba desde el Hipotronic.
Q7	ON HIPOTRONIC	Salida digital	Activa la máquina Hipotronic.
Q8	OFF HIPOTRONIC	Salida digital	desactiva la máquina Hipotronic

Q9	PRUEBA CORTO	Salida digital	Acciona la conexión en modo de cortocircuito
Q10	MODO MONOFASICO DIRECTO	Salida digital	Acciona las salidas en modo monofásica y de medición directa
Q11	MODO TRIFASICO DIRECTO	Salida digital	Acciona las salidas en modo trifásico y de medición directa
Q12	MODO MONOFASICO INDIRECTO	Salida digital	Acciona las salidas en modo monofásico y de medición indirecta
Q13	MODO TRIFASICO INDIRECTO	Salida digital	Acciona las salidas en modo trifásico y de medición indirecta
Q14	KP1	Salida digital	Acciona la prueba en modo trifásico y de modo manual
Q15	PRUEBA APLICADO	Salida digital	Acciona la prueba de aplicado en los transformadores

3.2 PROGRAMACIÓN LADDER DEL SISTEMA DE CONTROL POR MEDIO DE LOGO ETHERNET SIEMENS.

La programación del sistema de control interno del micro PLC se basa en la programación ladder, llamada también programación de contactos o escalera. Se especifica de forma detallada cada esquema del circuito de programación con el objetivo de explicar la función que representa en el sistema de control que automatiza cada prueba.

3.2.1 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PARA INICIO DE PANTALLA LOGO.

En la Figura 3.3 se muestra la programación para el inicio de funcionamiento del proceso en la asignación de pruebas de transformadores. Se realiza el ingreso de variables a través de la pantalla LOGO TD, donde el operador interactúa con el sistema para la selección de variables, como el tipo de alimentación a probar, el modo de medición, el tipo de prueba y la cantidad necesaria de transformadores que requiera probar.

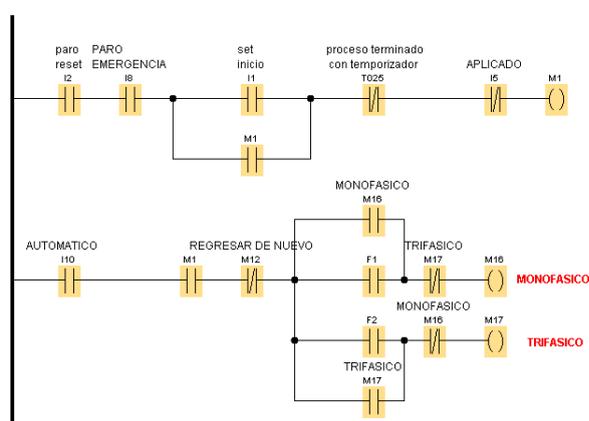


Figura 3.3. Puesta en marcha y paro del sistema de control.

En la gráfica 3.4 a través de la interacción del usuario después de elegir el selector en modo automático se ingresa a través de las entradas F1 o F2 el tipo de alimentación a la cual el transformador necesita realizar la prueba, luego se presenta la programación para la selección a través de las funciones de la pantalla LOGO TD la selección del tipo de conexión o medición a la cual se efectúa la prueba como se puede apreciar en la figura 3.4.

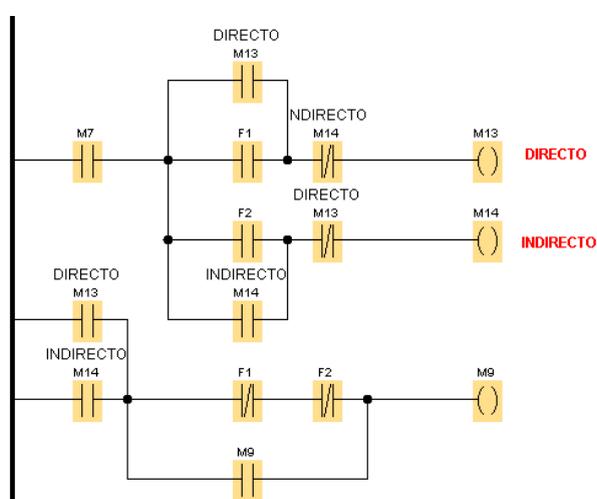


Figura 3.4. Acceso a modo directo o indirecto.

3.2.2 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN CONEXIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA.

En la programación del modo de conexión ya sea para transformadores monofásicos o trifásicos se asigna el tipo de medición que se desea realizar, ya sea en modo directo o indirecto como se muestra en la figura 3.6 que indica para cada proceso una sola salida de control para una determinada conexión en el sistema de fuerza .

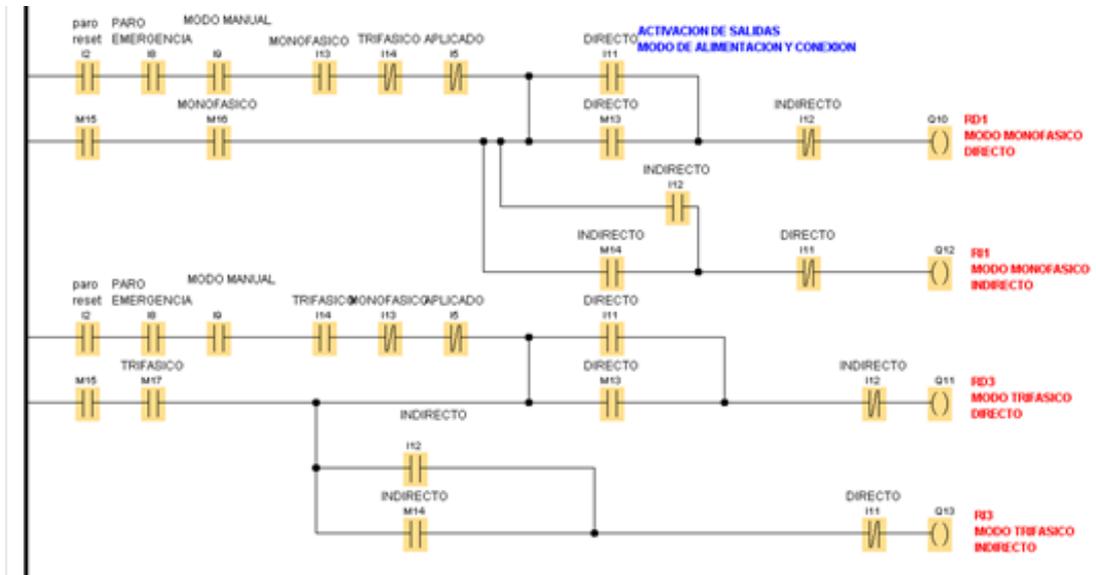


Figura 3.5. Combinación binaria de 4 salidas a 16 combinaciones.

En la configuración se acepta el tipo de la conexión y medición del transformador con la opción de regresar de nuevo a la elección de parámetros como se muestra en la figura 3.6.

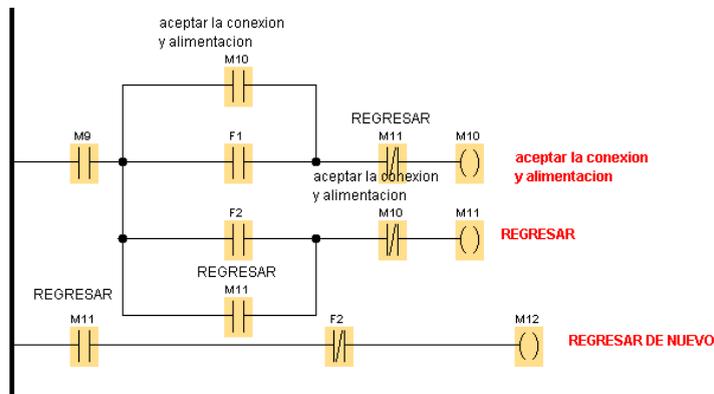


Figura 3.6. Confirmación de parámetros de entrada.

3.2.3 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PRUEBA VACÍO Y CORTOCIRCUITO.

En esta configuración se ingresa la selección del tipo de prueba a realizarse por medio de los botones F1 para acceder al proceso de la prueba de vacío y F2 para acceder al proceso de la prueba de cortocircuito como se indica en la figura 3.6, estas dos pruebas sólo pueden realizarse cuando el sistema trabaja en modo automático, el acceso se realiza por medio de la pantalla LOGO TD.

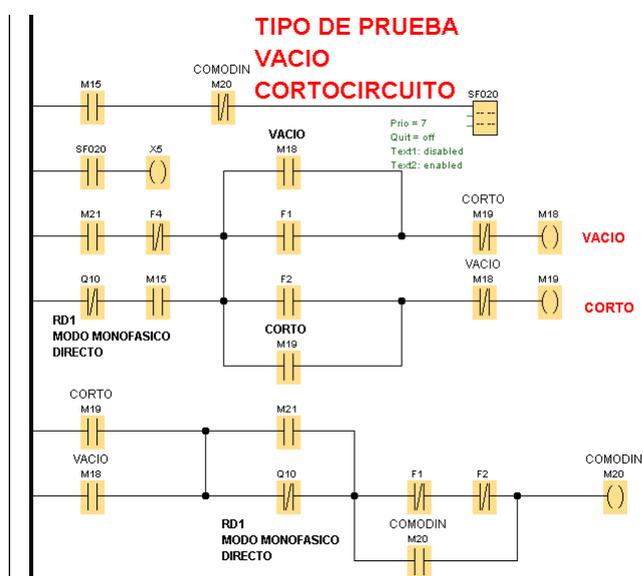


Figura 3.7. Acceso a la prueba de vacío y cortocircuito de modo automático.

3.2.4 LÓGICA DE PROGRAMA EN SECUENCIA DE 14 TRANSFORMADORES.

Para la configuración del número de transformadores a probar en forma secuencial por el sistema de control se necesitan un máximo de 14 salidas a controlar, por lo que sería abrumador usar casi todas las salidas digitales del micro PLC que tiene la capacidad de un máximo de 16 salidas digitales, conociendo que se deben usar

salidas para otros procesos y funciones con respecto al diseño. Por lo tanto se busca optimizar el proceso de pruebas secuenciales, la forma del diseño correcto en la programación sería de usar tan solo cuatro salidas digitales, para así realizar una combinación binaria de hasta 16 salidas a través de la ayuda externa de relés encapsulados, la programación de este diseño se muestra en la figura 3.8 .

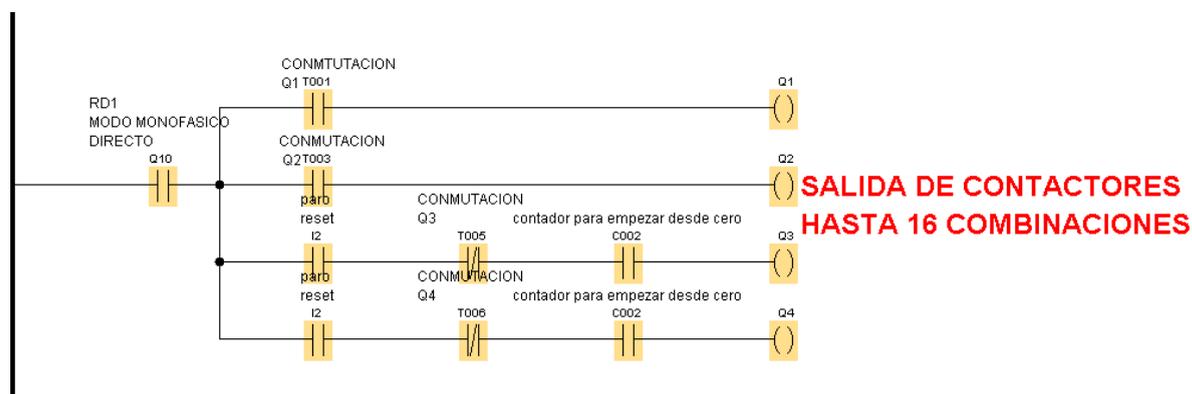


Figura 3.8. Combinación binaria de 4 salidas a 16 combinaciones.

Para realizar esta combinación escalonada de salidas desde la salida Q1 (bit menos significativo) hasta la salida Q4 (bit más significativo) como se aprecia en la figura 3.7 se usó el bloque Multiple function switch, que permite llevar la secuencia numérica accionando cada bloque en forma secuencial por pulso de activación y desactivación a través de la entrada I3.

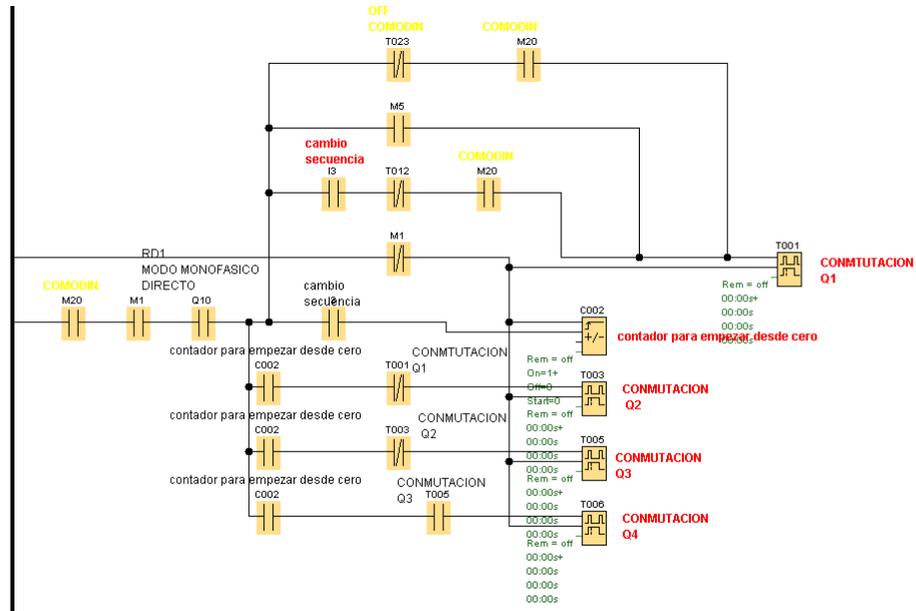


Figura 3.9. Activación y desactivación por pulso para las salidas secuenciales binarias.

En la tabla 3.3 se visualiza las 14 combinaciones a través de 4 salidas del LOGO.

Tabla 3.3. Salidas de Conexión del micro PLC LOGO.

#	Q4	Q3	Q2	Q1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0

3.2.5 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN INGRESO DE CANTIDAD DE TRAFOS.

En el ingreso del valor por usuario a través de la pantalla LOGO TD para la asignación del número de transformadores que se quieran probar, se ingresa el valor numérico a través del bloque contador C022. Este valor es aprobado por el sistema una vez que el botón F3 es presionado para luego seguir con el pedido de parámetros siguientes desde la pantalla. El contador C022 muestra en la pantalla el número de transformador que se prueba en el instante del proceso.

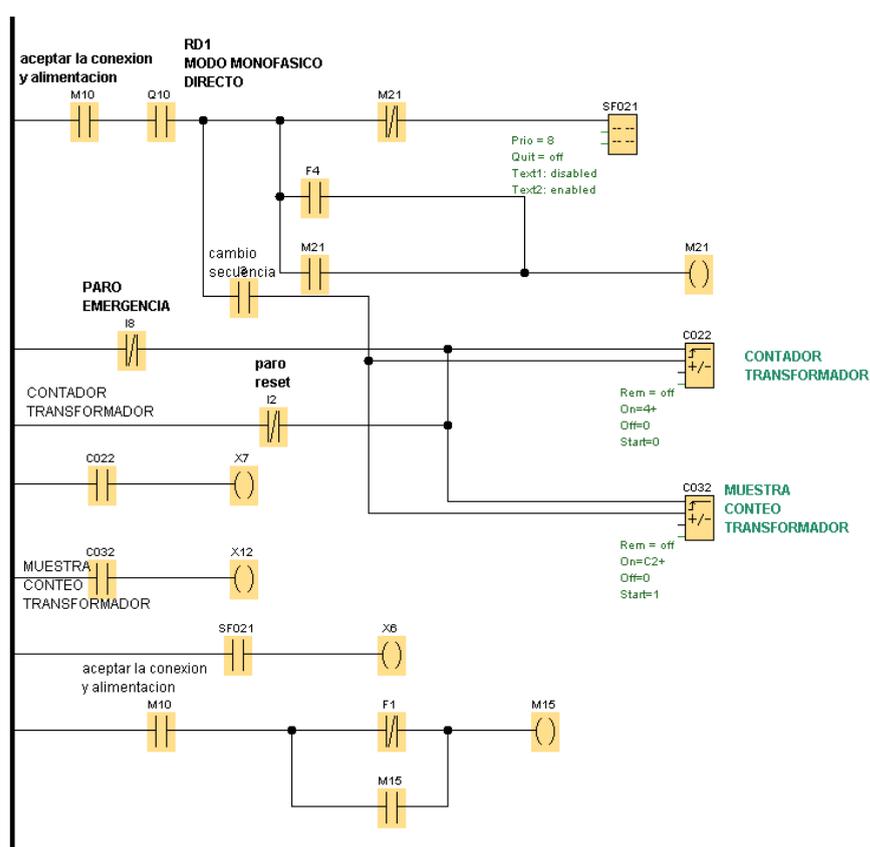


Figura 3.15. Configuración del ingreso de la cantidad de transformadores a probar.

3.2.6 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN CONTROL DEL HIPOTRONIC.

Se presenta la programación para controlar la máquina regulable (HIPOTRONIC) que es la responsable de proporcionar el voltaje necesario para poder realizar la prueba en los transformadores, ya sea en alimentación monofásica o trifásica. En la figura 3.8 se muestra la activación de encendido y en la figura 3.9 el apagado del HIPOTRONIC.

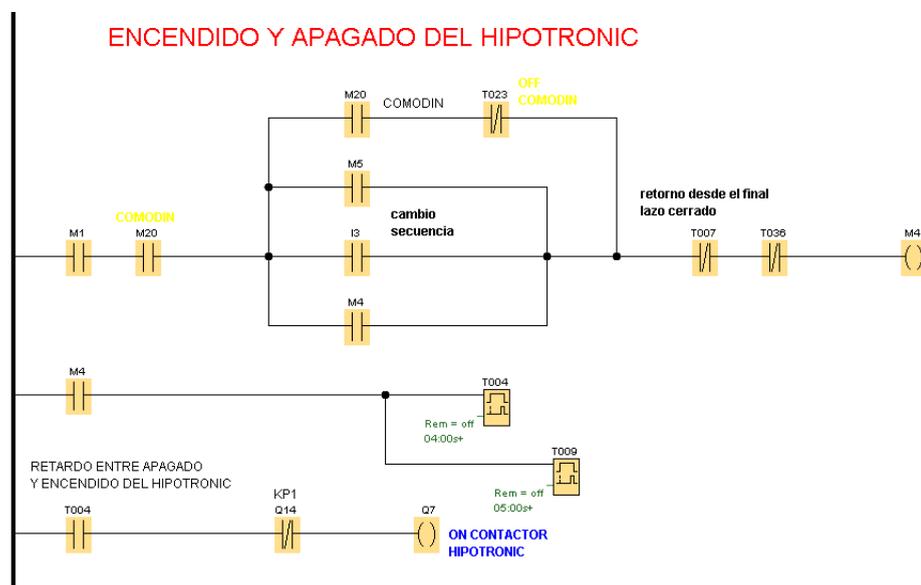


Figura 3.10. Activación de la máquina HIPOTRONIC a través del micro PLC LOGO.

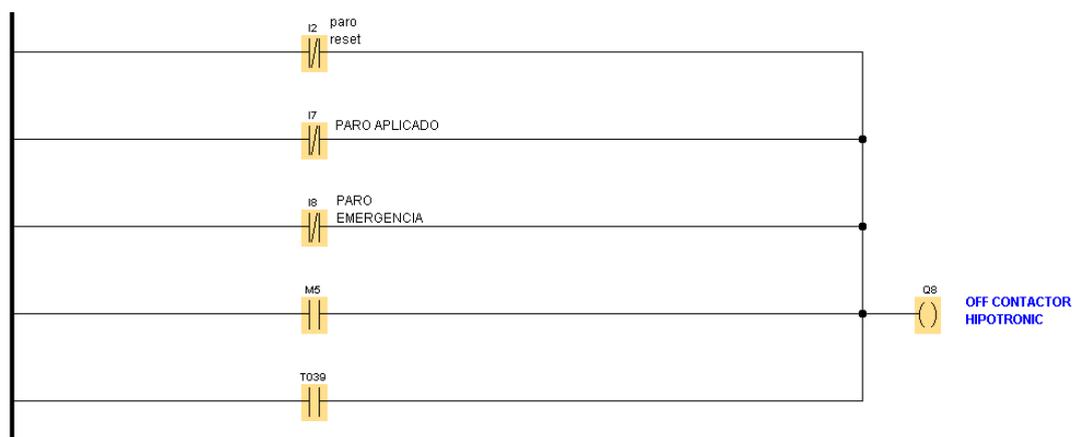


Figura 3.11. Apagado de la máquina HIPOTRONIC a través del micro PLC LOGO.

Puesto que se requiere que el micro PLC tenga el control del voltaje del HIPOTRONIC para que el sistema general diseñado sea automatizado y gestione la secuencia de cada prueba de todos los transformadores a probar de manera ordenada como se puede apreciar en la Figura 3.12, donde automáticamente realiza la activación para subir o reducir el voltaje de generación, por medio de los temporizadores que gestionan el sincronismo del voltaje en función del tiempo.

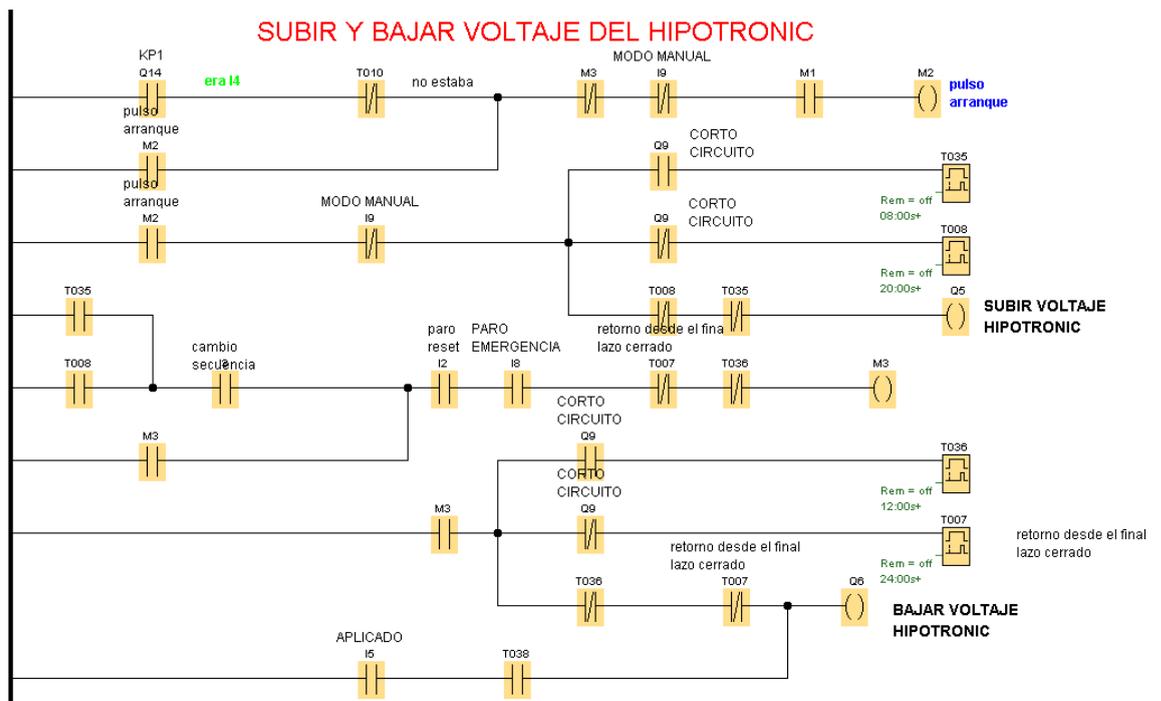


Figura 3.12. Control para subir y bajar voltaje del Hipotronic.

3.3 DISEÑO DE CONTROL Y OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONICS.

Para que el control de la máquina HIPOTRONIC sea operado desde el panel de pruebas y sea gobernado por el micro PLC LOGO se diseña un circuito de control que se adapta al circuito original de la máquina HIPOTRONIC, se presenta el circuito de control actual de la máquina y el diseño adaptado para que trabaje en conjunto con el micro PLC.

3.3.1 DIAGRAMA DE CONTROL ORIGINAL HIPOTRONIC.

En la figura 3.13 se presenta el diagrama de control del circuito original de la maquina HIPOTRONIC. Opera bajos pulsadores que accionan un motor DC, posee pulsadores de encendido, apagado, y retención con enclavamiento del contactor de fuerza, a más de indicadores de encendido, apagado y voltaje remanente.

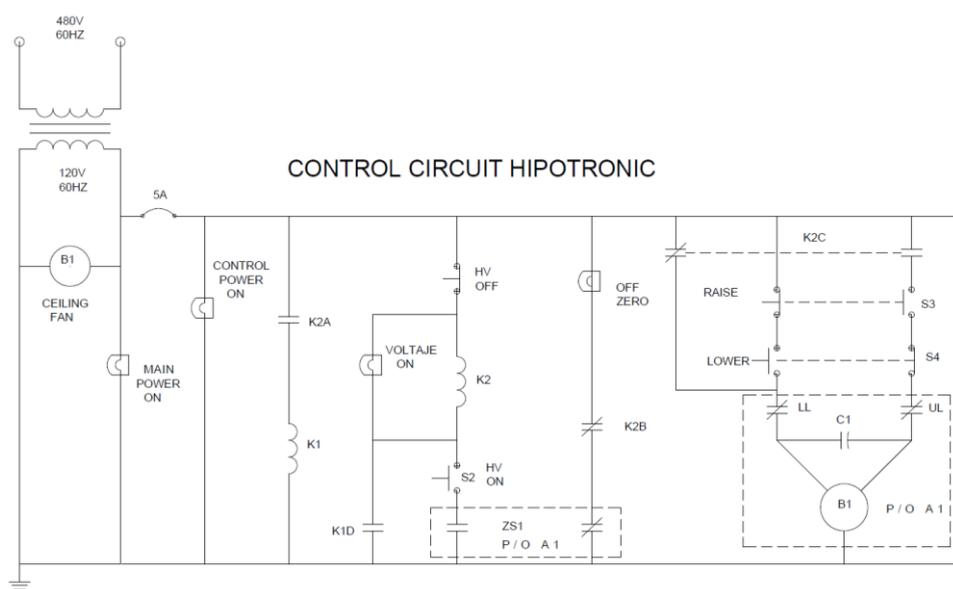


Figura 3.13. Circuito original del control máquina HIPOTRONIC.

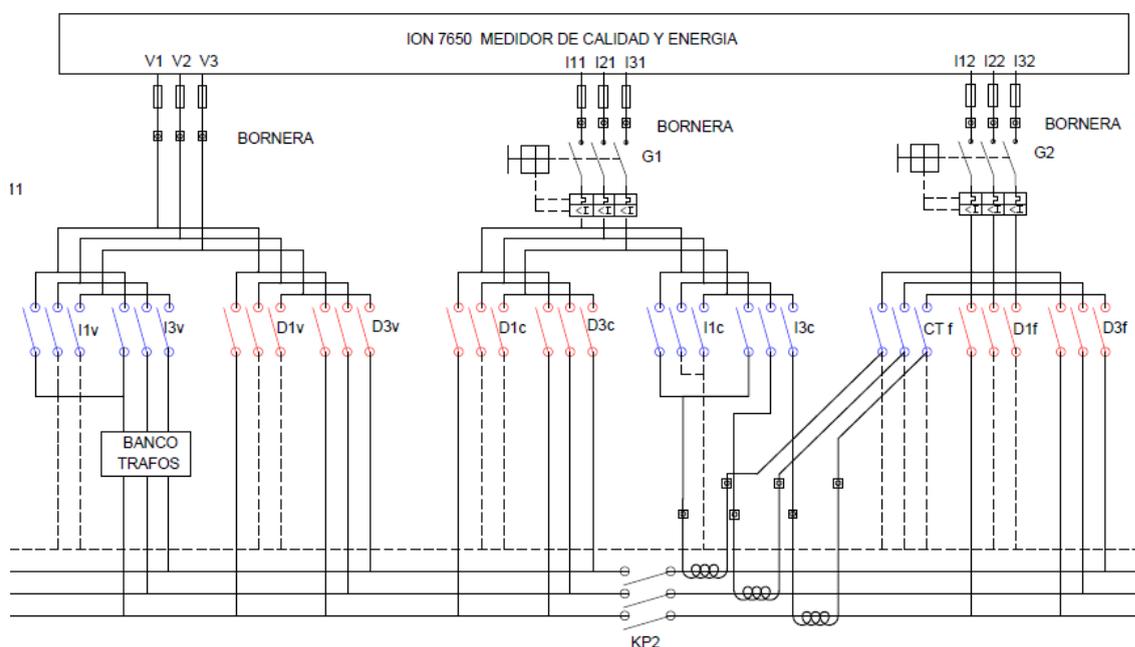


Figura 3.15. Activación de contactos a través del control en modo directo e indirecto.

3.4.1 CONTROL DE MEDICIÓN MODO DIRECTO.

El control en modo directo consiste en realizar un circuito de fuerza específico, en el que la regulación de la fuente de voltaje controlado por el usuario energice al transformador de forma tal que el circuito conecta directamente a las entradas del analizador de energía como se indica en la figura 3.15, llegando a los terminales de baja tensión de un transformador si la prueba es de vacío, y llegando a los terminales de alta tensión de un transformador si la prueba que se realiza es de cortocircuito.

Generalmente este tipo de conexión se realiza para obtener buenos resultados en la medición para una mayor precisión en la prueba. Este modo tiene su limitante de que el analizador de energía solo tiene una capacidad directa de medición de hasta 20 amperios, por lo que es de mayor riesgo este modo de conexión, ya que la carga está conectada directamente al transformador de prueba. Este tipo de conexión está protegido por fusibles ultrarrápidos para protección del dispositivo de medición.

3.4.2 CONTROL DE MEDICIÓN MODO INDIRECTO.

El control en modo indirecto consiste en realizar un circuito de fuerza diferente en características de medición, por lo que el analizador de energía no está conectado directamente a la carga, la medición se realiza por medio de transformadores de corriente y voltaje, que ayudan por la relación de transformación incrementar en el medidor de energía las posibilidades de medición a rangos mayores de operación.

Este tipo de conexión se realiza para transformadores de mayor potencia, en rangos superiores a los 400KVA, porque en la prueba de cortocircuito debe llegar a su corriente nominal en el lado de alta tensión y porque su voltaje de cortocircuito puede superar los rangos de medición de voltaje que permite el analizador de energía operar.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA GENERAL UNIFICADO.

En este capítulo se describe la construcción y operación del sistema general, cuyas partes que la componen tienen una importancia fundamental para el correcto funcionamiento en la realización de las pruebas de vacío y cortocircuito. Se explica la forma en que el proyecto opera con los distintos componentes necesarios para el control de la alimentación, fuerza, medición, conexión y visualización del sistema. En el diseño general se construye un tablero de fuerza que se encuentra ubicado en el campo de pruebas, fuera de las oficinas del laboratorio y se construye un panel de control y operación para manejo y control del técnico de prueba, se ubica dentro de las oficinas del laboratorio. Ambos tableros trabajan conjuntamente con el control y fuerza de la máquina HIPOTRONICS.

4.1 PUESTA EN MARCHA DEL CONTROLADOR.

El diseño de control a través de sus entradas como pulsadores, selectores y pantalla LOGO TD como se muestra en la figura 4.1, permiten que las señales digitales interactúen con la programación lógica del micro PLC explicado en el capítulo 3. Se describen los componentes y partes del proceso que conforman el control general para la correcta operación desde sus entradas que permiten el buen funcionamiento del sistema hasta su salida de voltaje, alimentación, conexión y visualización de parámetros eléctricos en la prueba de un transformador.

4.1.1. PANEL DE OPERADOR Y SUS COMPONENTES.

El diseño del panel de operador se muestra en la figura 4.1 donde todos sus componentes están distribuidos dentro del bloque llamado Prueba Vacío/Corto.

En la distribución de sus partes podremos decir que se divide en:

- Pantalla de visualización y control.
- Pantalla del medidor de energía ION 7650.
- Control modo manual y automático.
- Control del transformador variable HIPOTRONIC.
- Control del modo de alimentación, modo de conexión.

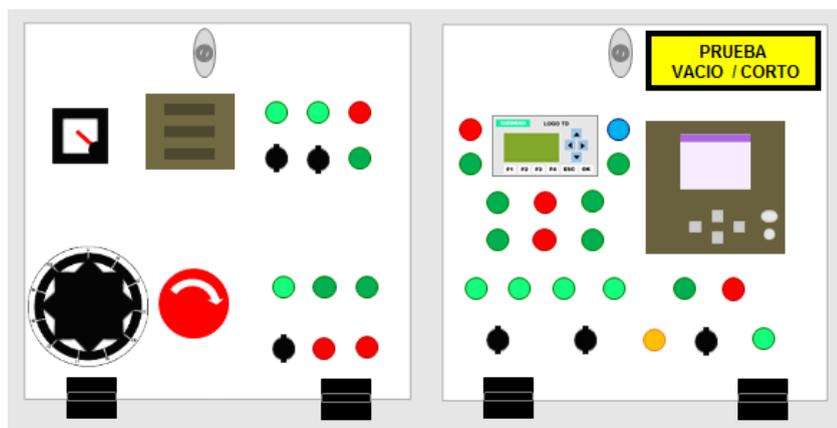


Figura 4.1. Diseño del nuevo panel de control.

4.1.1.1 PANTALLA DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL.

La pantalla de visualización permite llevar una comunicación amigable con el operador del equipo. En este diseño la pantalla LOGO TD me permite ingresar el modo de prueba, el tipo de alimentación, el modo de medición, el tipo de conexión, como también podemos visualizar las variables de prueba como el número determinado de cada transformador que está siendo probado cuando entramos en modo automático.

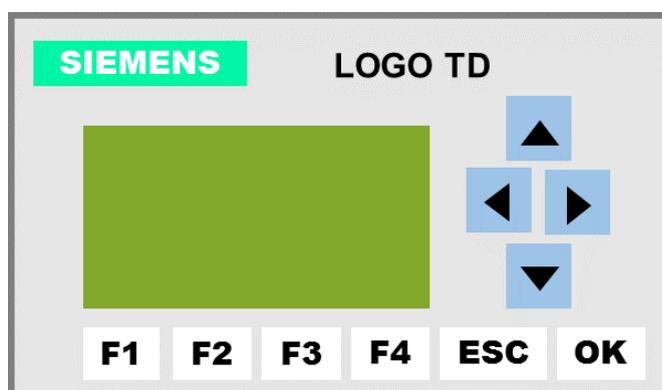


Figura 4.2. Pantalla de control LOGO TD.

4.1.1.2 PANTALLA DEL MEDIDOR DE ENERGÍA.

El medidor de energía ION 7650 posee su propia pantalla de visualización y operación, me permite obtener las lecturas de prueba en cada transformador, lecturas de voltaje, corriente, desfaseamiento, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva. Estas variables son necesarias para determinar tanto en la prueba de cortocircuito como en la prueba de vacío, los valores de pérdidas en el núcleo y devanados, obteniendo la impedancia del transformador y su eficiencia. Cuando se presiona el pulsador ENCENDER se activa el sistema de control y se enciende el medidor ION 7650.



Figura 4.3. Pantalla de medición ION 7650.

4.1.1.3 CONTROL DEL TRANSFORMADOR VARIABLE HIPOTRONIC.

Este proceso de control nos permite desde el panel operador accionar el encendido y apagado del transformador variable HIPOTRONICS por medio del pulsador verde HIP.CONTROL ON que nos permite encender Máquina y pulsador rojo HIP.CONTROL OFF para apagarla. El pulsador FUERZA ON permite accionar el contactor de fuerza principal para transmitir el voltaje variable al tablero sistema de fuerza, y el pulsador rojo FUERZA OFF que nos permite desenergizar el contactor.

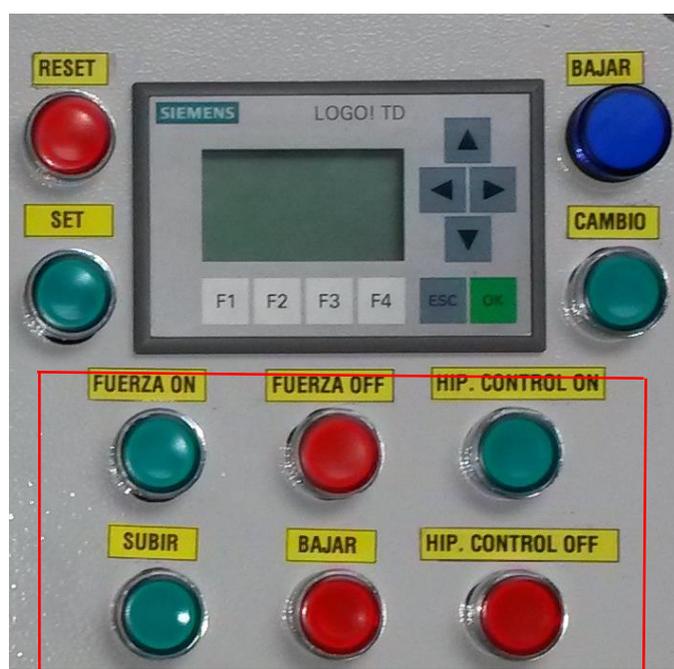


Figura 4.4. Pulsadores de control manual del HIPOTRONIC.

4.1.1.4 CONTROL DEL MODO DE ALIMENTACIÓN Y CONEXIÓN.

Este tipo de selección se realiza cuando la prueba de transformadores es manual, generalmente en transformadores trifásicos, porque que su construcción no es en cantidad sino bajo pedido. Al pasar al área de pruebas el máximo de transformadores trifásicos son de dos. Según el tipo de alimentación y su potencia elegimos por medio de los selectores las siguientes características:

- Modo Monofásico: para pruebas de transformadores de alimentación monofásica.
- Modo Trifásico: para pruebas de transformadores de alimentación trifásica.
- Modo Directo: Para realizar pruebas de medición directa desde el Voltaje de alimentación al transformador. Generalmente se usa para todos los transformadores monofásicos y transformadores trifásicos de hasta 400 KVA.
- Modo Indirecto: Para realizar la conexión de pruebas de medición indirecta. Generalmente para transformadores mayores a 400KVA.



Figura 4.5 Selectores para modo de alimentación y conexión.

4.1.2 OPERACIÓN MANUAL.

El proyecto puede trabajar en modo manual, que es el proceso donde el operador a través de un pulsador de subida y un pulsador de bajada puede controlar el voltaje variable entregado por el transformador variable Hipotronic, en este modo la pantalla LOGO TD queda inhabilitada para proceder a elegir el modo de conexión y modo de alimentación a través de los selectores de posición. Primero deberá seleccionar el modo manual a través del selector de posición como se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6. Posición del selector en modo automático.

4.1.3 OPERACIÓN AUTOMÁTICA.

Este modo de operación es para realizar las pruebas secuenciales de los transformadores monofásicos, una secuencia en paralelo desde uno hasta catorce transformadores como límite de prueba, puesto que es la capacidad neta de dos canastas de siete transformadores convencionales o CSP cada una. Este proceso se inicia seleccionando el modo automático a través del selector ubicado bajo el medidor de energía ION 7650. Luego de seleccionar este modo, la pantalla LOGO TD queda operativa en espera de seleccionar los parámetros correspondientes de conexión y el número determinado de transformadores.



Figura 4.7. Posición del selector en modo automático.

4.2 OPERACIÓN DEL SISTEMA ADAPTADO AL ANALIZADOR DE ENERGÍA, TRANSFORMADOR VARIABLE, PANTALLA DE CONTROL.

La operación del sistema implementado junto al analizador de energía ION 7650, el transformador variable HIPOTRONICS y la pantalla de visualización y control LOGO TD nos permiten realizar pruebas energizando cualquier transformador eléctrico de distribución a un voltaje controlado por el usuario desde la pantalla LOGO TD y pulsadores del panel de operador obteniendo lecturas de medición de corriente, voltaje, factor de potencia y energía del ION 7650, necesarios en los registros y análisis del comportamiento del transformador. Se concluye la prueba con de la determinación de aceptación o rechazo del transformador cuando no cumplen sus pérdidas según la norma NTE-INEN 2114 que se adjunta en el anexo del proyecto.

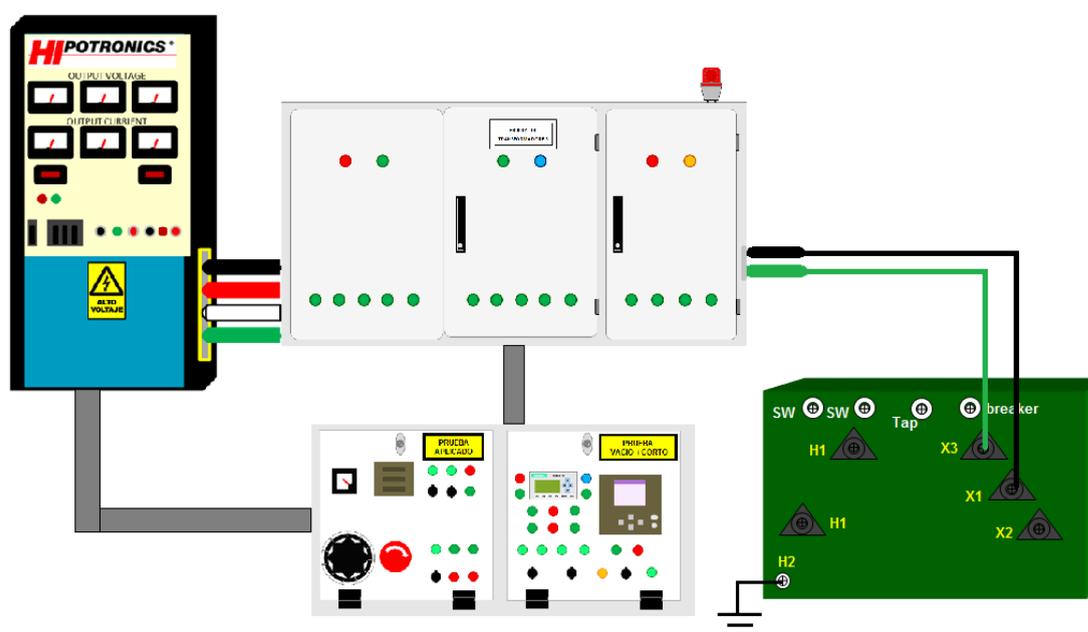


Figura 4.8. Sistema de fuerza control unificado.

4.3 OPERACIÓN EN MODO DIRECTO DEL SISTEMA.

Este modo operación se realiza para probar transformadores de potencias menores donde su corriente nominal para la prueba de cortocircuito sea menor a 20 A y cuyo voltaje de prueba sea menor de 600V en ambas pruebas. Por lo general todos los transformadores monofásicos trabajan en este modo, y ciertos transformadores trifásicos cuyas potencias sean menores de 500 KVA. Las mediciones de voltaje del medidor ION7650 son directas a la alimentación del transformador variable, y las mediciones de corriente son directas al transformador de prueba.

Este tipo de conexión tiene sus ventajas:

- La lectura del voltaje del Medidor ION 7650 es más precisa.
- La lectura del corriente del Medidor ION 7650 es más precisa.
- No se requiere ningún instrumento extra de medición.
- No se requiere modificar la configuración del medidor.

Este tipo de conexión tiene sus desventajas:

- Corre el riesgo de que un sobre voltaje queme el medidor ION7650 sin la debida protección.
- Corre el riesgo de que una sobre intensidad queme el medidor ION7650 sin la debida protección.

4.4 OPERACIÓN EN MODO INDIRECTO DEL SISTEMA.

Este modo operación se realiza para probar transformadores de potencias mayores donde su corriente nominal para la prueba de cortocircuito sea mayor a 20 A y cuyo voltaje de prueba sea de un máximo de 600V. La razón de este modo de operación es por los rangos permitidos corriente y voltaje que puede monitorear el ION7650, puesto que su medición no podría ser directamente desde el transformador de prueba sino a través de dispositivos de medición indirecta, como son los transformadores de corriente (TC) y transformadores de voltaje (TP) .

Este tipo de conexión tiene sus ventajas:

- Permite a través de relación de transformación de corriente (TC) o voltaje (TP) obtener valores aproximados de medición cuando son imposibles de medir.
- Protegen y aíslan los equipos de medición.
- No se requiere modificar la configuración del medidor.

Este tipo de conexión tiene sus desventajas:

- Su medición no es precisa para análisis de pérdidas de energía.
- La medición depende de dispositivos de medición indirecta.

CAPÍTULO 5

GUÍA DE OPERACIÓN E INSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE PRUEBAS.

En este capítulo se presenta un instructivo de cómo operar el sistema de control, para realizar el procedimiento de las pruebas de vacío, cortocircuito y aplicado para cada transformador. Todo se realiza a partir del mando de control vista por el operador, se explica cómo realizar cada prueba, el modo de conexión y verificar en la pantalla de medición el correcto funcionamiento en la marcha.

5.1. INSTRUCTIVO DE PRUEBA EN VACÍO DE UN TRANSFORMADOR.

Para las pruebas en vacío de un transformador ya sea monofásico o trifásico se requiere en el lado de baja tensión aplicar un voltaje iniciando desde cero hasta su voltaje nominal de operación, determinando así su corriente de excitación, y las

pérdidas generadas por el núcleo , se explica a continuación su procedimiento correcto para cada tipo de alimentación.

5.1.1 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

Objetivos:

- Determinar la corriente de excitación I_0 .
- Determinar las pérdidas del núcleo de la potencia P_0 .
- Determinar la corriente de excitación a tensión sobreexcitada I_{02} .

Procedimiento:

Teórico:

La potencia P_0 representa las pérdidas en vacío del transformador, que es el resultado de las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo. Esta prueba se realiza alimentando el bobinado secundario del transformador, manteniendo el bobinado del primario abierto. Para la regulación de la tensión de la prueba el sistema de control empezará automáticamente desde cero voltios hasta llegar a su voltaje nominal por medio del transformador variable HIPOTRONICS.

Práctico:

1. Prueba realizable tanto en caliente como en frío (temperatura del transformador).
2. Conecte los cables de Fase Negro (L1) al bushing X1 y el cable Verde (N) Neutro al bushing X3 como se muestra en la figura.
3. Conectar a tierra el transformador a través de H2.

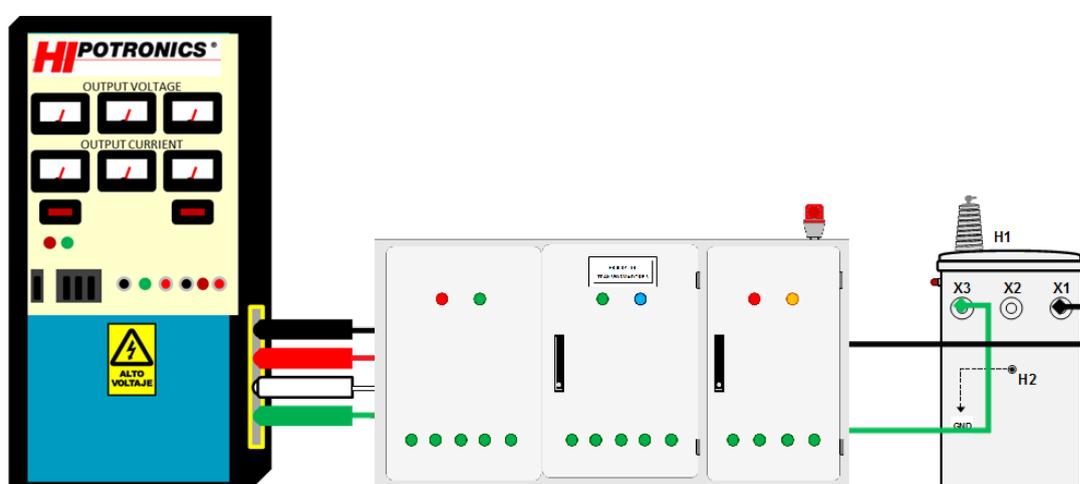


Figura 5.1. Prueba de vacío de transformador monofásico.

4. Ajuste el medidor ION 7650 a medición monofásica y presione el pulsador set del panel control.
5. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el tipo de alimentación para la prueba, seleccionar MONOFÁSICO presionando el botón F1.

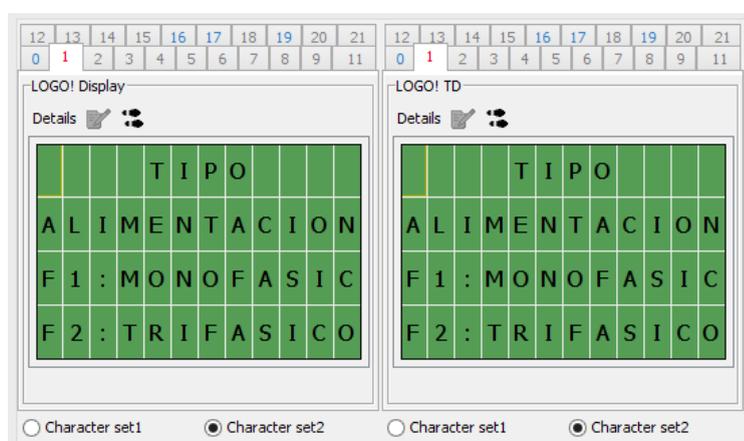


Figura 5.2. Pantalla TD tipo de alimentación.

6. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el modo de conexión para la medición de la prueba, seleccionar DIRECTA presionando el botón F1.

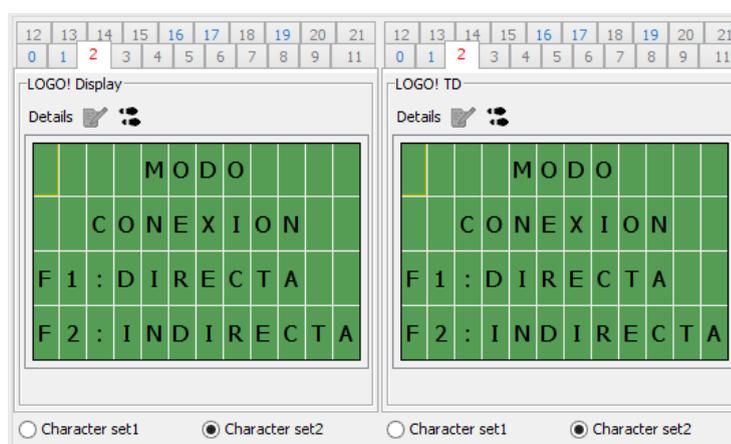


Figura 5.3. Pantalla TD modo de conexión.

7. La pantalla del LOGO TD le indicará si está seguro de la selección del tipo de alimentación y del modo de conexión que ha elegido, si la selección fue correcta presione F1 caso contrario presione F2 y regresará a la instrucción 4.

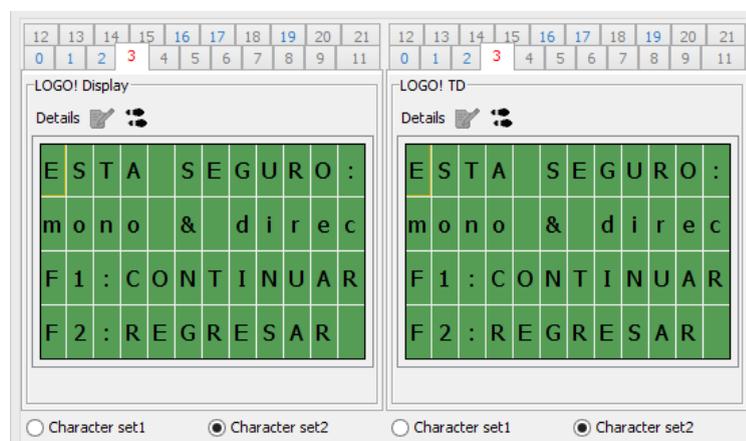


Figura 5.4. Pantalla TD confirmar parámetros.

8. Luego de la selección de parámetros de conexión, la pantalla del LOGO TD le pedirá que seleccione el número de transformadores que se someterán a la prueba, el número máximo de transformadores a probar son 14, una vez digitado en pantalla el número de transformadores, presionar el botón F4.

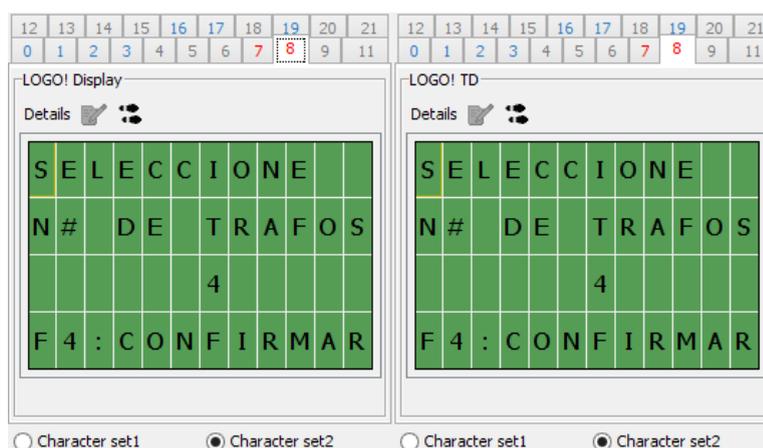


Figura 5.5. Pantalla TD selección cantidad de transformadores.

9. En la pantalla del LOGO TD le indicará el tipo de prueba que vaya a realizar, presione el botón F1 para seleccionar la prueba de Vacío.

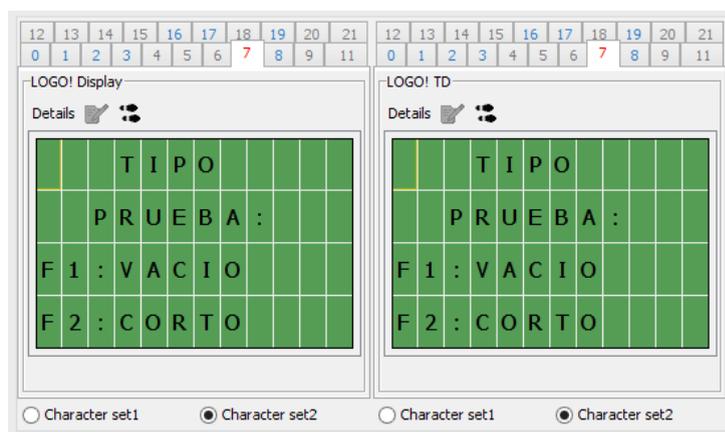


Figura 5.6. Pantalla TD tipo de prueba.

10. Luego de seleccionar el tipo de prueba el sistema inicia automáticamente la prueba de vacío, en la pantalla del LOGO TD se visualiza la prueba del primer transformador.

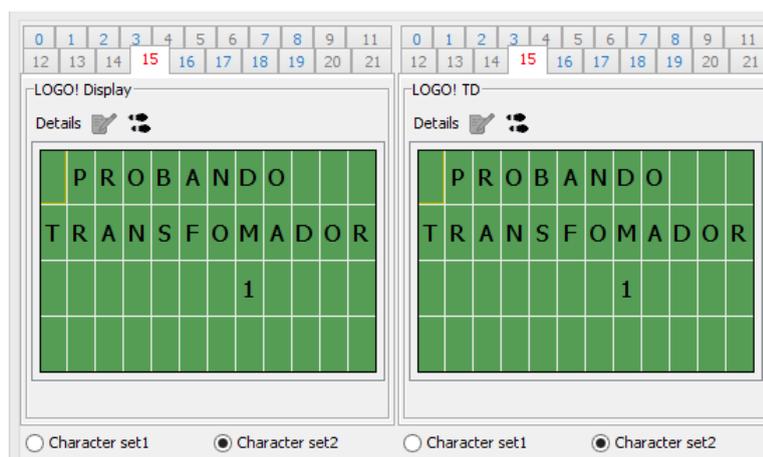


Figura 5.7. Pantalla TD prueba del transformador.

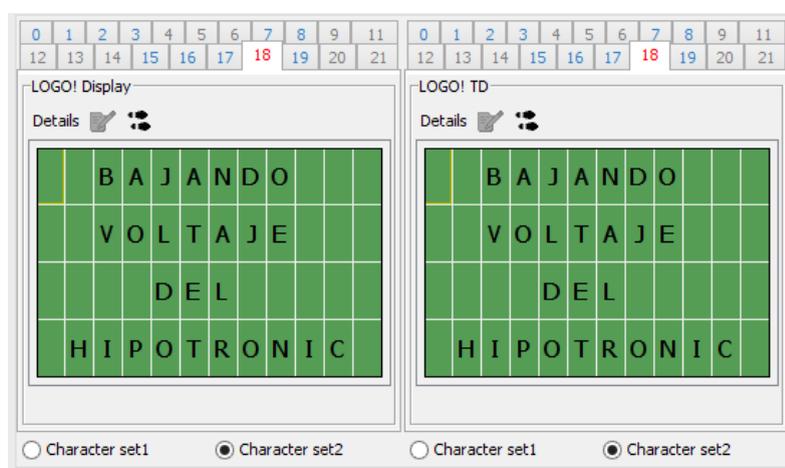


Figura 5.9. Pantalla TD bajando voltaje.

15. Después de esto se repetirán los procedimientos a partir de la instrucción 10 para cada transformador que se encuentre en proceso de prueba. Luego de realizar la prueba del último transformador, el sistema indica que el proceso ha terminado a la espera de presionar el pulsador PARO para dar el reinicio de un nuevo proceso de prueba.

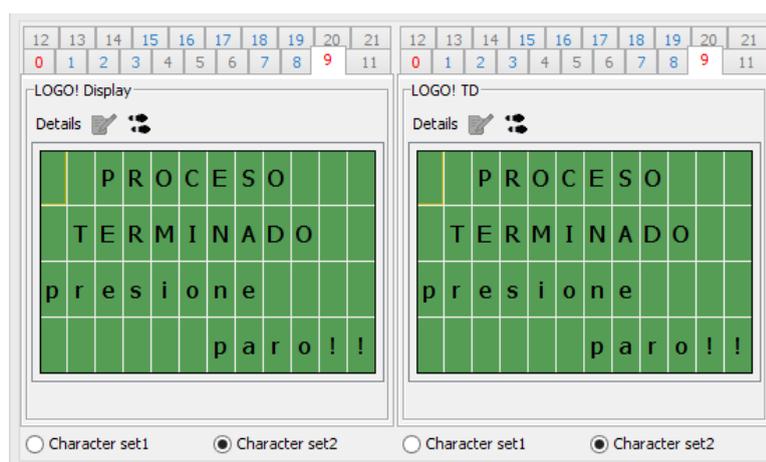


Figura 5.10. Pantalla TD Proceso terminado.

Criterios de Aprobación:

Para conocer los valores de aceptación se revisa las Tablas de Valores Máximos Permisibles para Transformadores de Distribución Monofásicos, según la Norma NTE INEN 2114:2004. En la tabla 5.1 se muestra los valores máximos de pérdidas en el transformador permitidas. Exclusivo para Transformadores Monofásicos de 3 a 333 KVA. Clase medio voltaje ≤ 25 Kv clase bajo voltaje $\leq 1,2$ Kv f-f referidos a 85°C . (NTE INEN 2114: 2004).

Tabla 5.1 Valores máximos permitidos en pérdidas de Vacío.

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
3	2,5	21	70	91	3,0
5	2,5	31	91	122	3,0
10	2,5	52	142	194	3,0
15	2,4	68	192	260	3,0
25	2,0	98	289	387	3,0
37,5	2,0	130	403	533	3,0
50	1,9	160	512	672	3,0
75	1,7	214	713	927	3,0
100	1,6	263	897	1 160	3,0
167*	1,5	379	1 360	1 739	3,0

Responsabilidades:

El técnico de Laboratorio es el responsable de la correcta aplicación y ejecución de estos procedimientos.

El Jefe de laboratorio es responsable de Revisar y aprobar éste procedimiento y de supervisar la correcta ejecución de éste procedimiento.

El Gerente General es responsable de aprobar éste procedimiento.

5.1.2 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.

Objetivo:

- Determinar la corriente de excitación I_0 .
- Determinar las pérdidas del núcleo de la potencia P_0 .
- Determinar la corriente de excitación a tensión sobreexcitada I_{02} .

Procedimiento:

Teórico:

La potencia P_0 representa las pérdidas en vacío del transformador, que es el resultado de las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo. Esta prueba se realiza alimentando el bobinado secundario del transformador, manteniendo el bobinado del primario abierto. Para la regulación de la tensión de la prueba el sistema de control empezará automáticamente desde cero voltios hasta llegar a su voltaje nominal por medio del transformador variable HIPOTRONIC.

Práctico:

1. Prueba realizable tanto en caliente como en frío (temperatura del transformador).
2. Conecte las líneas 3 de fase Negro (L1), Rojo (L2) y Blanco (L3) a los bujes de BT del transformador como se muestra en la figura.
3. Conectar a tierra el transformador a través del tanque.

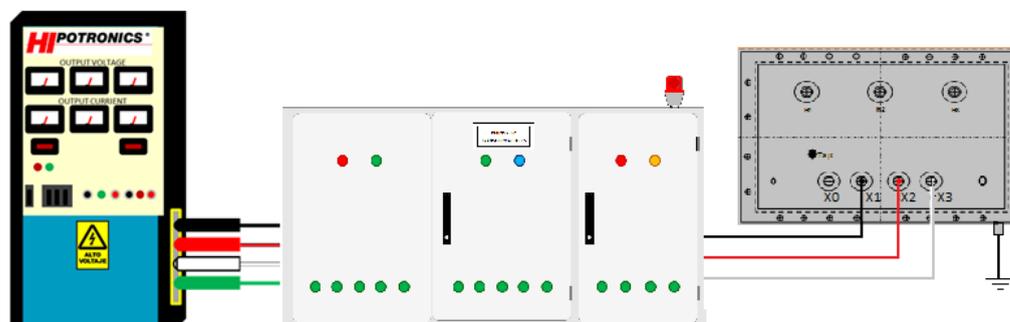


Figura 5.11. Prueba de vacío de transformador trifásico.

4. Ajuste el medidor ION 7650 a medición trifásica, accione el selector en modo manual del panel control y presione el botón set.



Figura 5.12. Acción del modo manual.

5. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el tipo de alimentación para la prueba, seleccionar TRIFÁSICO presionando el botón F2.

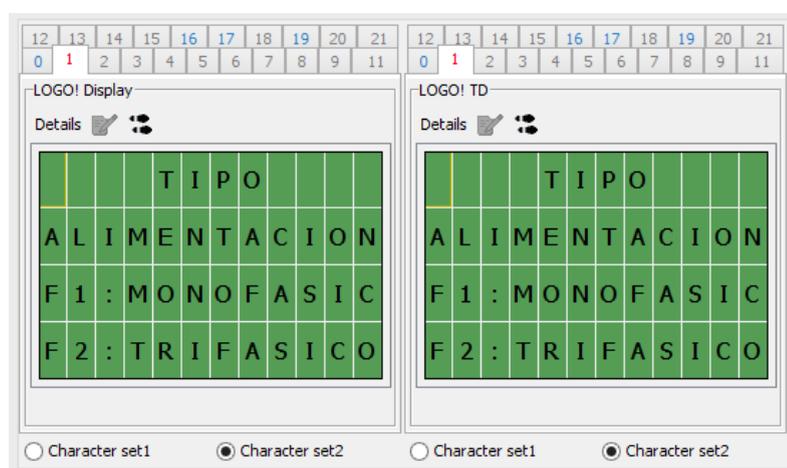


Figura 5.13. Pantalla TD selección trifásica.

- En la pantalla del LOGO TD aparecerá el modo de conexión para la medición de la prueba, seleccionar DIRECTA presionando el botón F1.

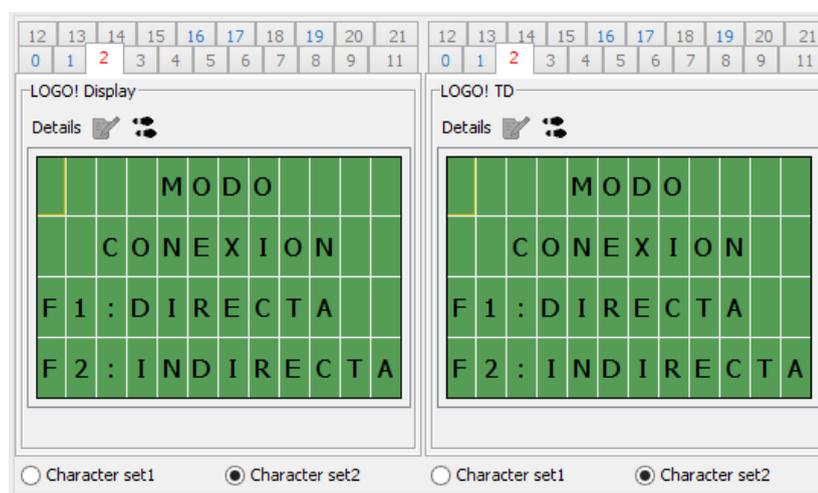


Figura 5.14. Pantalla TD selección modo de conexión.

7. En la pantalla del LOGO TD le indicará si está seguro de la selección del tipo de alimentación y del modo de conexión que ha elegido, si la selección fue correcta presione F1 caso contrario presione F2 y regresará a la instrucción 4.

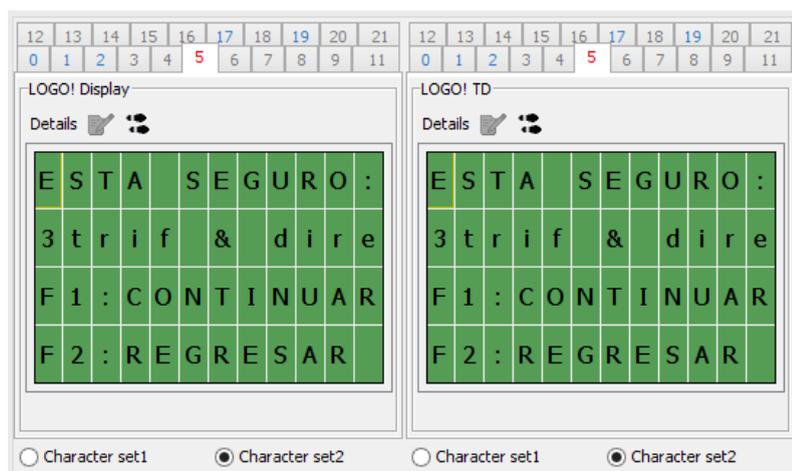


Figura 5.15. Pantalla TD confirmar parámetro.

8. Luego de la selección de parámetros de conexión, accione el pulsador HIP.CONTROL ON y el pulsador FUERZA ON.



Figura 5.16. Control Manual Autotransformador Hipotronic.

9. Luego de encender el autotransformador HIPOTRONIC y activar el contactor principal de fuerza, pulsar el botón subir, hasta llegar al voltaje nominal deseado en el lado de baja tensión.
10. Una vez que el sistema llegue a su voltaje nominal, dejar de pulsar subir y tome las lecturas de los valores de voltaje, corriente, factor de potencia y pérdidas que aparecen en la pantalla del medidor ION 7650. Regístrelos en el protocolo de pruebas para transformadores trifásicos.
11. Una vez registrado los resultados, aplique un voltaje de sobreexcitación presionando el pulsador SUBIR hasta llegar aproximadamente a un 10% más de su voltaje nominal y tome las lecturas igual que la instrucción 10.
12. Luego de registrar estos resultados de las pruebas a voltaje nominal y voltaje sobreexcitado, presionar el botón BAJAR hasta que la lectura de voltaje llegue a cero, luego de esto presione los botones FUERZA OFF e HIP.CONTROL OFF.

Criterios de Aprobación:

Para conocer los valores de aceptación se revisa las Tablas de Valores Máximos Permisibles para Transformadores de Distribución Trifásicos, según la Norma NTE INEN 2115:2004. En la tabla 5.2 se muestra los valores máximos de pérdidas permitidas en el transformador trifásico. Exclusivo para Transformadores Trifásicos de 15 a 2.000 kVA Clase medio voltaje ≤ 25 kV Clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV referidos a 85°C . (NTE INEN 2 115: 2004 Segunda revisión).

Tabla 5.2. Valores máximos permitidos en pérdidas de Vacío Trifásico.

Potencia Nominal KVA	I_0 (% de I_n) Max.	P_0 (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
15	4.4	80	313	393	3.0
30	3.6	134	514	648	3.0
45	3.6	182	711	893	3.0
50	3.4	197	776	973	3.0
60	3.2	225	903	1128	3.5
75	2.6	266	1094	1360	3.5
100	2.6	330	1393	1723	3.5
112.5	2.6	361	1539	1900	3.5
125	2.6	390	1682	2072	3.5
150	2.4	447	1959	2406	4.0
160	2.5	486	2211	2697	4.0
200	2.1	569	2630	3199	4.0
225	2.1	618	2892	3510	4.0
250	2.1	666	3153	3819	4.0
300	2.0	758	3677	4435	4.5
350	2.0	846	4200	5046	4.5
400	1.9	930	4730	5660	4.5
500	1.7	1090	5770	6860	5.0
630	1.6	1284	7170	8454	5.0
750	1.6	1453	8386	9839	5.0
800	1.6	1521	8909	10430	5.0
1000	1.6	1782	11138	12920	5.0

1250	1.5	2088	13454	15542	6.0
1500	1.5	2395	15770	18165	6.0
1600	1.5	2518	16696	19214	6.0
2000	1.5	3009	20402	23411	6.0

Responsabilidades:

El técnico de Laboratorio es el responsable de la correcta aplicación y ejecución de estos procedimientos.

El Jefe de laboratorio es responsable de Revisar y aprobar éste procedimiento y de supervisar la correcta ejecución de éste procedimiento.

El Gerente General es responsable de aprobar éste procedimiento.

5.2. INSTRUCTIVO DE PRUEBA EN CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR.

Para las pruebas en cortocircuito de un transformador ya sea de alimentación monofásica o trifásica, se requiere cortocircuitar el lado de baja tensión y en el lado de alta tensión aplicar un voltaje reducido iniciando desde cero hasta llegar a su corriente nominal en el lado de baja tensión para así determinar el voltaje de cortocircuito y las pérdidas generadas en el bobinado, se explica a continuación su procedimiento correcto para cada tipo de alimentación.

5.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Objetivos:

- Determinar la impedancia del transformador.
- Determinar las pérdidas generadas por el devanado de alta y baja tensión.

Procedimiento:

Teórico:

Esta prueba se realiza poniendo en cortocircuito el devanado de baja tensión, energizando el bobinado de alta tensión con un voltaje regulable desde cero hasta alcanzar la corriente nominal en el bobinado cortocircuitado. La tensión de cortocircuito se encontrará en el orden del 4 al 10% del voltaje nominal de alta tensión. La potencia absorbida de esta prueba corresponde a sólo pérdidas del cobre de ambos bobinados.

Práctico:

1. Prueba realizable sólo en frío (temperatura del transformador).
2. Coloque un puente que conecte los bujes de baja tensión X1- X3.
3. Conecte los cables de Fase Negro (L1) al bushing H1 y el cable Verde (N) Neutro al bushing H2 como indica en la figura.

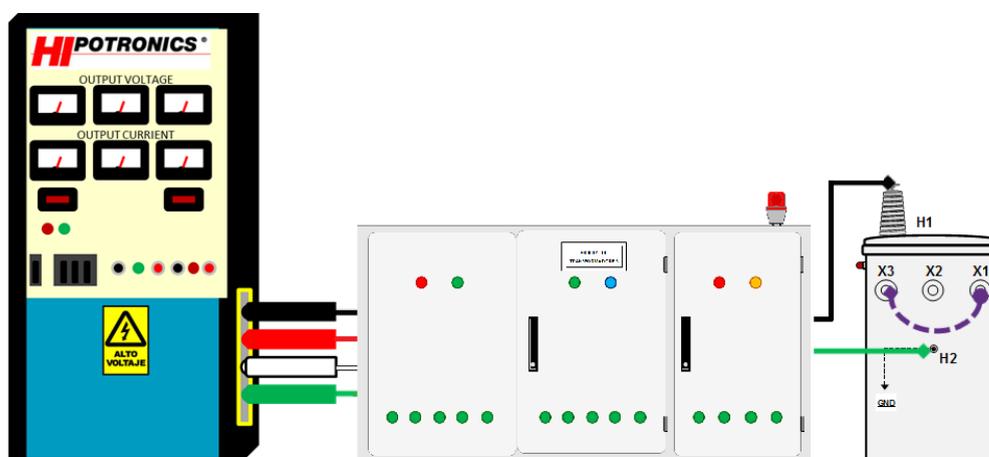


Figura 5.17. Prueba de cortocircuito de un transformador monofásico.

4. Calcule con la siguiente fórmula el amperaje I_{AT} que debe alcanzar la medición en el circuito de alta tensión y regístrelo en el formato de “protocolo de Pruebas para transformadores monofásicos”:

$$I_{AT} = \frac{P \times 1000}{V_{AT}} \quad (5.1)$$

5. Una vez conocidos los valores de corriente nominal en alta y baja tensión, ajuste el medidor ION 7650 a medición monofásica y presione el pulsador set del panel control.



Figura 5.18. Pulsador SET.

6. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el tipo de alimentación para la prueba, seleccionar MONOFÁSICO presionando el botón F1.

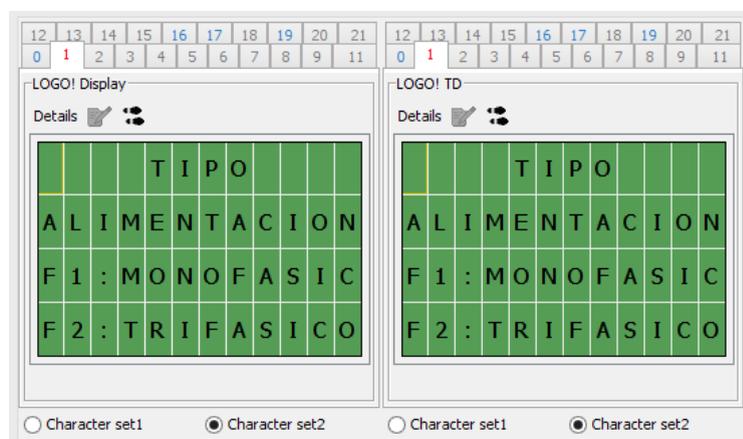


Figura 5.19. Pantalla TD Tipo de alimentación.

7. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el modo de conexión para la medición de la prueba, seleccionar DIRECTA presionando el botón F1.

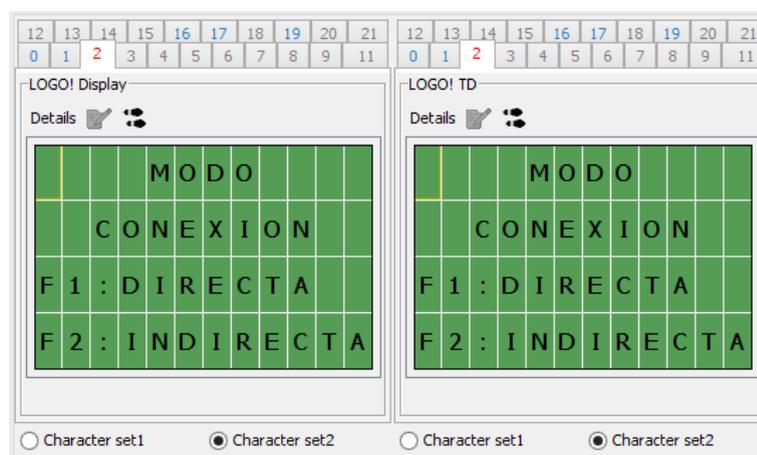


Figura 5.20. Pantalla TD Modo de conexión.

8. En la pantalla del LOGO TD le indicará si está seguro de la selección del tipo de alimentación y del modo de conexión que ha elegido, si la selección fue correcta presione F1 caso contrario presione F2 y regresará a la instrucción.



Figura 5.21. Pantalla TD confirmar parámetros.

9. Luego de la selección de parámetros de conexión, la pantalla del LOGO TD le pedirá que seleccione el número de transformadores que se someterán a la

prueba, el número máximo de transformadores a probar son 14, una vez digitado en pantalla el número de transformadores, presionar el botón F4.

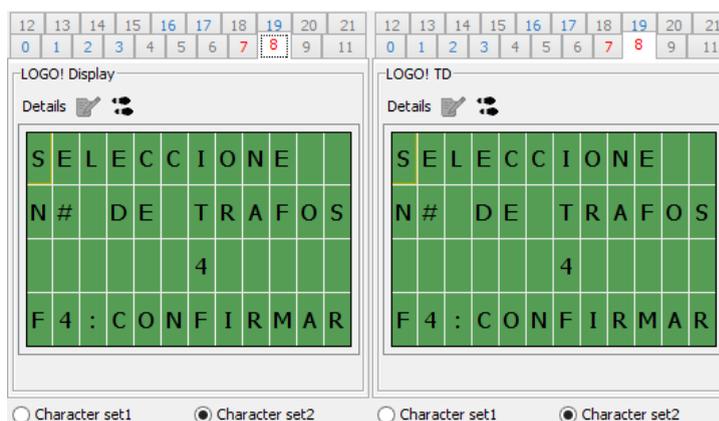


Figura 5.22. Pantalla TD cantidad de transformadores aprobar.

10. En la pantalla del LOGO TD le indicará el tipo de prueba que vaya a realizar, presione el botón F2 para seleccionar la prueba de Cortocircuito.

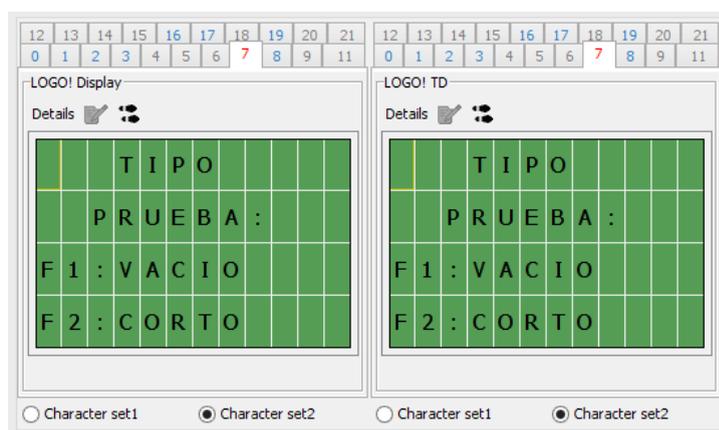


Figura 5.23. Pantalla TD Tipo de prueba.

11. Luego de seleccionar el tipo de prueba el sistema inicia automáticamente la prueba de cortocircuito, en la pantalla del LOGO TD se visualiza la prueba del primer transformador.

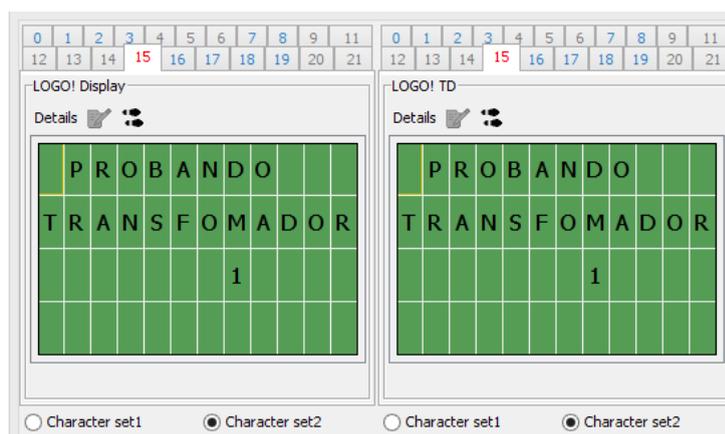


Figura 5.24. Pantalla TD prueba del transformador.

12. Una vez que el sistema llegue a su voltaje nominal, el indicador SUBIR se desactivará, el controlador estará en espera para que el operador regule el voltaje necesario para llegar a la corriente nominal, luego tome las lecturas.
13. Tome las lecturas de los valores de voltaje de cortocircuito, corriente nominal, factor de potencia y pérdidas que aparecen en la pantalla del medidor ION 7650. Registre estos valores en el protocolo de pruebas para transformadores monofásicos.
14. Luego de registrar estos resultados de las pruebas a la corriente nominal, presionar el pulsador CAMBIO para reiniciar el proceso automático. En la pantalla LOGO TD aparecerá el mensaje de “bajando el voltaje del Hipotronic” para luego iniciar el proceso de prueba al siguiente transformador.

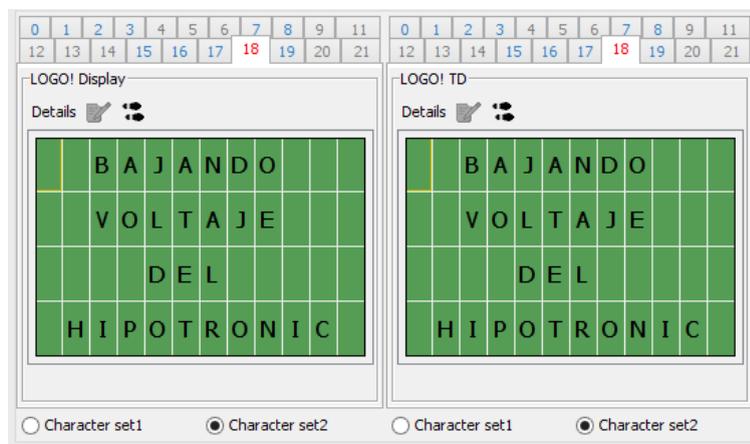


Figura 5.25. Pantalla TD bajando voltaje.

15. Después de esto se repetirán los procedimientos a partir de la instrucción 10 para cada transformador que se encuentre en proceso de prueba. Luego de realizar la prueba del último transformador, el sistema indica que el proceso ha terminado a la espera de presionar el pulsador PARO para dar el reinicio de un nuevo proceso de prueba.

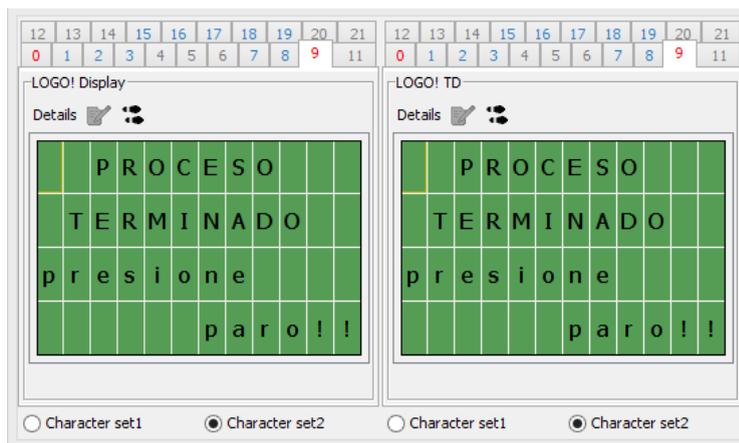


Figura 5.26. Pantalla TD Proceso terminado.

Criterios de Aprobación:

- Para conocer los valores de aceptación para pérdidas de cortocircuito se revisa las Tablas de Valores Máximos Permisibles para Transformadores de Distribución Monofásicos, según la Norma NTE INEN 2115:2004. Exclusivo para Transformadores Monofásicos de 3 a 333 KVA. Clase medio voltaje ≤ 25 Kv clase bajo voltaje $\leq 1,2$ Kv f-f referidos a 85°C . (NTE INEN 2 114: 2004).

Tabla 5.3. Valores máximos permitidos en pérdidas de Cortocircuito.

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
3	2,5	21	70	91	3,0
5	2,5	31	91	122	3,0
10	2,5	52	142	194	3,0
15	2,4	68	192	260	3,0
25	2,0	98	289	387	3,0
37,5	2,0	130	403	533	3,0
50	1,9	160	512	672	3,0
75	1,7	214	713	927	3,0
100	1,6	263	897	1 160	3,0
167*	1,5	379	1 360	1 739	3,0

Responsabilidades:

- El técnico de Laboratorio es el responsable de la correcta aplicación y ejecución de estos procedimientos.
- El Jefe de laboratorio es responsable de Revisar y aprobar éste procedimiento y de supervisar la correcta ejecución de éste procedimiento.
- El Gerente General es responsable de aprobar éste procedimiento.

5.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.

Objetivos:

- Determinar la resistencia equivalente del transformador.
- Determinar las pérdidas generadas por el devanado de alta y baja tensión en un transformador trifásico.

Procedimiento:

Teórico:

Esta prueba se realiza poniendo en cortocircuito el devanado de baja tensión, energizando el bobinado de alta tensión con un voltaje regulable desde cero hasta alcanzar la corriente nominal en el bobinado cortocircuitado. La tensión de cortocircuito se encontrará en el orden del 4 al 10% del voltaje nominal de alta tensión. La potencia absorbida de esta prueba corresponde a sólo pérdidas del cobre de ambos bobinados.

Práctico:

1. Prueba realizable sólo en frío (temperatura del transformador).
2. Coloque un puente que conecte los 3 bujes de baja tensión X1, X2, X3.
3. Conectar a tierra el transformador a través de la carcasa del tanque.

- Conecte el cable de fase L1 (negro) al buje H1, Conecte el cable de fase L2 (rojo) al buje H2 y conecte el cable de fase L3 (blanco) al buje H3 como indica la figura.

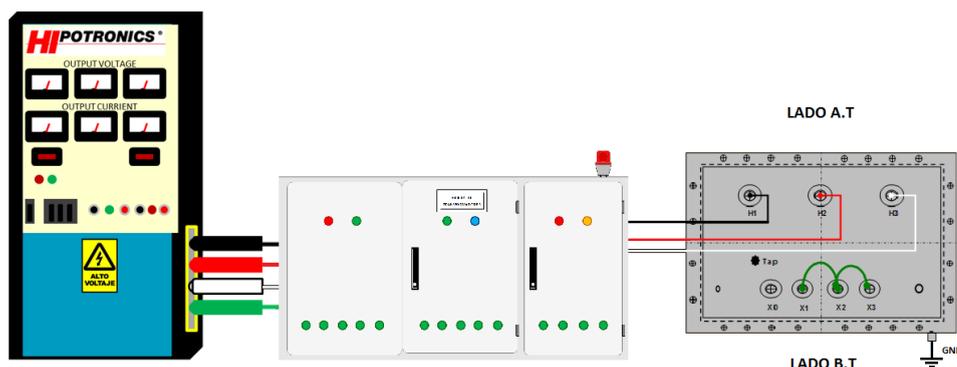


Figura 5.27. Prueba de cortocircuito de un transformador trifásico.

- Ajuste el medidor ION 7650 a medición trifásica, accione el selector en modo manual del panel control y presione el botón set.



Figura 5.28. Acción del modo manual.

- En la pantalla del LOGO TD aparecerá el tipo de alimentación para la prueba, seleccionar TRIFÁSICO presionando el botón F2.

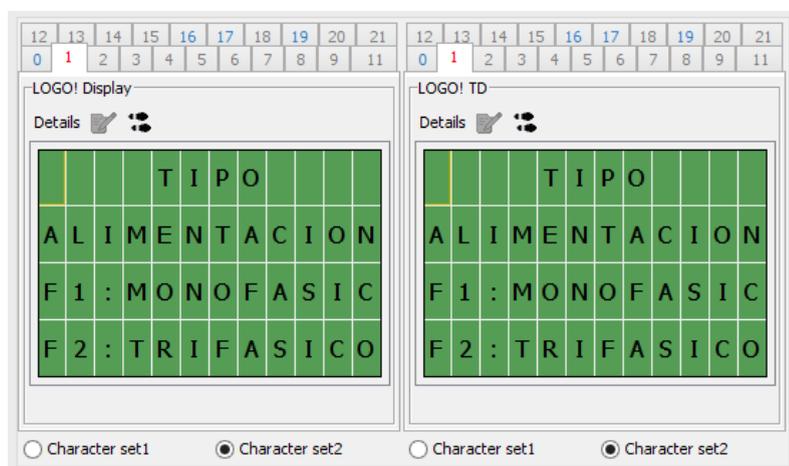


Figura 5.29. Pantalla TD selección trifásica.

7. En la pantalla del LOGO TD aparecerá el modo de conexión para la medición de la prueba, seleccionar DIRECTA o INDIRECTA si la corriente nominal en alta tensión es mayor a 20 Amperios.

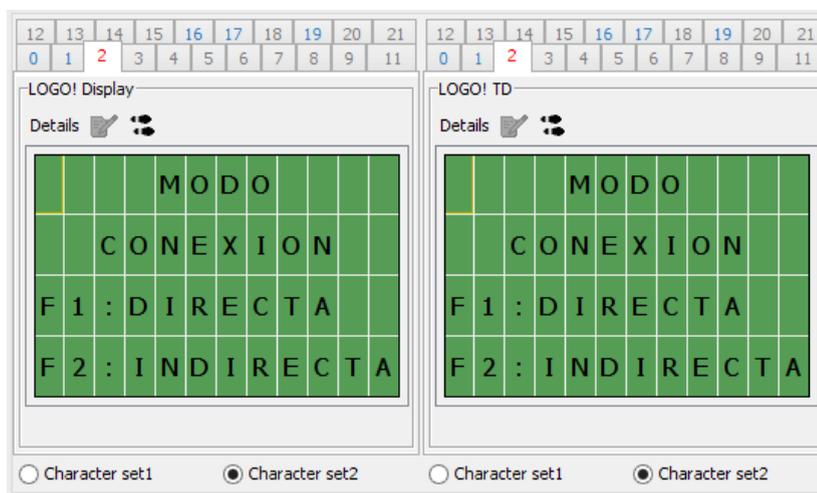


Figura 5.30. Pantalla TD selección modo de conexión.

8. En la pantalla del LOGO TD le indicará si está seguro de la selección del tipo de alimentación y del modo de conexión que ha elegido, si la selección fue correcta presione F1 caso contrario presione F2 y regresará a la instrucción 4.

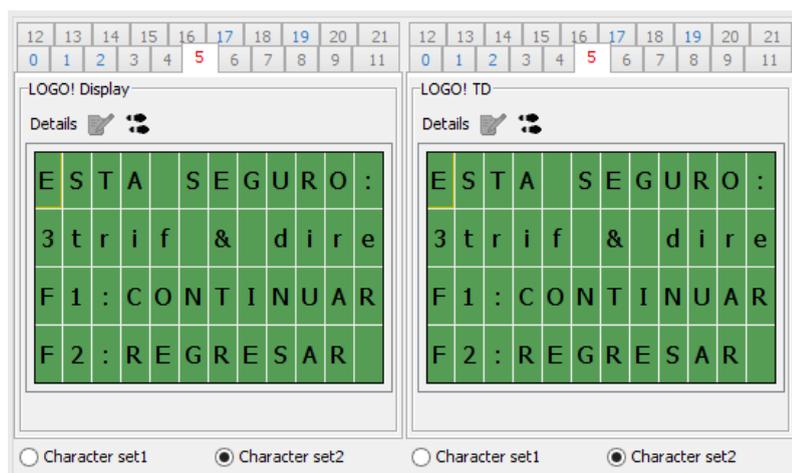


Figura 5.31. Pantalla TD confirmar parámetro.

9. Luego de la selección de parámetros de conexión, accione el pulsador HIP.CONTROL ON y el pulsador FUERZA ON.



Figura 5.32. Control Manual Autotransformador Hipotronic.

10. Luego de encender el autotransformador HIPOTRONIC y activar el contactor principal de fuerza, pulsar el botón subir, hasta llegar a la corriente nominal en el lado de alta tensión.
11. Una vez que el sistema llegue a su corriente nominal, dejar de pulsar subir y tome las lecturas de los valores del voltaje de cortocircuito, corriente nominal en alta tensión, factor de potencia y pérdidas que aparecen en la pantalla del medidor ION 7650. Regístrelos en el protocolo de pruebas para transformadores trifásicos.
12. Luego de registrar estos resultados de las pruebas a corriente nominal, presionar el botón BAJAR hasta que la lectura de voltaje llegue a cero. Luego de esto presione los botones FUERZA OFF e HIP.CONTROL OFF.

Criterios de Aprobación:

Para conocer los valores de aceptación para pérdidas de cortocircuito se revisa las Tablas de Valores Máximos Permisibles para Transformadores de Distribución Monofásicos, según la Norma NTE INEN 2115:2004. Exclusivo para transformadores trifásicos de 15 a 2.000 kVA Clase medio voltaje ≤ 25 kV Clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV referidos a 85°C .

Tabla 5.4. Valores máximos en pérdidas de Cortocircuito Trifásico.

Potencia Nominal Kva.	I_0 (% de I_n) Max.	P_0 (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
15	4.4	80	313	393	3.0
30	3.6	134	514	648	3.0
45	3.6	182	711	893	3.0
50	3.4	197	776	973	3.0
60	3.2	225	903	1128	3.5
75	2.6	266	1094	1360	3.5
100	2.6	330	1393	1723	3.5
112.5	2.6	361	1539	1900	3.5
125	2.6	390	1682	2072	3.5
150	2.4	447	1959	2406	4.0
160	2.5	486	2211	2697	4.0
200	2.1	569	2630	3199	4.0
225	2.1	618	2892	3510	4.0
250	2.1	666	3153	3819	4.0
300	2.0	758	3677	4435	4.5
350	2.0	846	4200	5046	4.5
400	1.9	930	4730	5660	4.5
500	1.7	1090	5770	6860	5.0
630	1.6	1284	7170	8454	5.0
750	1.6	1453	8386	9839	5.0
800	1.6	1521	8909	10430	5.0
1000	1.6	1782	11138	12920	5.0

1250	1.5	2088	13454	15542	6.0
1500	1.5	2395	15770	18165	6.0
1600	1.5	2518	16696	19214	6.0
2000	1.5	3009	20402	23411	6.0

Responsabilidades:

El técnico de Laboratorio es el responsable de la correcta aplicación y ejecución de estos procedimientos.

El Jefe de laboratorio es responsable de Revisar y aprobar éste procedimiento y de supervisar la correcta ejecución de éste procedimiento.

El Gerente General es responsable de aprobar éste procedimiento.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO.

En este capítulo se valoriza en términos monetarios todos los costos y benéficos que incurren directamente e indirectamente en el proyecto. Teniendo como puntos primordiales la cuantificación de materiales, mano de obra, costos fijos y costos variables que inciden en la elaboración del proyecto, el objetivo principal es la demostración de la factibilidad del mismo.

Uno de los requerimientos para la aprobación del proyecto fue que los costos de materiales sean mínimos en función del diseño, pedido de materiales, equipos implementados, construcción y montaje de los tableros, por lo que se partió desde una lógica de programación secuencial y automática con un micro PLC que inicia por ser barato y muy dinámico para el proceso de pruebas.

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS.

Se realizó una revisión de las necesidades de la empresa y su entorno permitiendo apreciar niveles de satisfacción de los clientes, por lo cual inicialmente estamos evaluando el mejoramiento de un activo, donde el costo asociado al mejoramiento no incurre en elevados costos.

Esta propuesta se encuentra en proyectos de ampliación del proceso de pruebas de transformadores, para aumentar la productividad en cuanto a la liberación de pruebas del laboratorio, debido a la forma que actualmente se realiza las pruebas existe una capacidad ociosa, ofertando la posibilidad de producir más y no solo limitarse a no hacerlo por razones fundamentales como: que no se cuenta con la capacidad de acuerdo a la demanda actual por tiempos ociosos.

Siendo un proyecto que busca dar respuesta a una oferta efectiva el cual se observa en otros lugares, esto mejorará la competitividad de la empresa. La generación de esta idea permite mejorar los tiempos de realización de pruebas, en la tabla de tiempos de pruebas nos muestra la reducción en horas hombre que se lograra al implementarla el proyecto, ya que actualmente el operador no tiene la facilidad de realizar pruebas de forma secuencial y con la respectiva seguridad.

Tabla 6.1. Tiempos de pruebas de vacío y corto de Transformadores.

TIPO	LINEA	POTENCIA	TIEMPO EN REALIZACION DE TODAS LAS PRUEBAS FORMA MANUAL SIN TABLERO	TIEMPO EN REALIZACION DE TODAS LAS PRUEBAS IMPLEMENTADO EL TABLERO
PAD	3F	300	1.1	0.6
CONV	3F	400	1.1	0.6
CSP	1F	50	1.1	0.6
PAD	1F	37.5	1.1	0.6
CONV	1F	75	1.1	0.6

Otros beneficios que permitirá obtener el proyecto son los siguientes:

- Disminuir los tiempos ociosos.
- Aumentar la satisfacción del cliente por la mejora del servicio.
- Evitar accidentes y disminuir los costos asociados.
- Disminuir el espacio físico de almacenamiento por cola de transformadores en espera de pruebas.
- Disminuir los costos de pruebas.

Mediante los métodos de Beneficio-Costos y el Flujo de caja, daremos a conocer la rentabilidad del proyecto, los cuales aplicaremos mediante una estructura convencional basada en criterios conocidos y aceptados para la evaluación de los distintos agentes involucrados en el proceso de creación del proyecto.

6.2 TABLA DE COSTOS.

El proyecto de la elaboración de un tablero de panel de control y un tablero de fuerza incurre en costos de:

- Capital (inversión).
- Costos variables (mano de obra, materias primas, suministros de producción).
- Costos fijos (alquiler de bodegas, remuneraciones, seguros de máquinas).

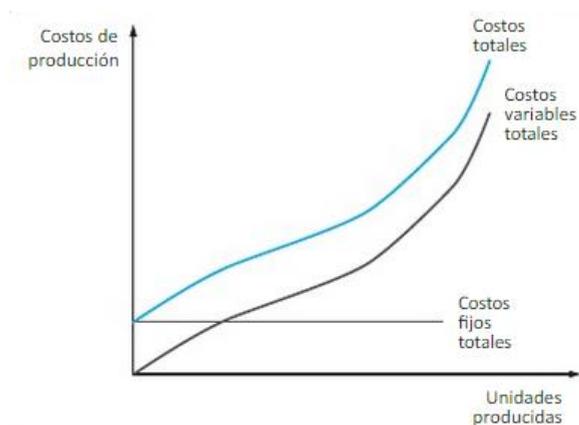


Figura 6.1. Costos de producción – unidades producidas.

Para el desarrollo del tablero de pruebas se necesitan los siguientes componentes cuyos costos están detallados a continuación y representados en dólares americanos. En la tabla 6.2 se detallan los costos tomados del presupuesto para elaboración del tablero de control de pruebas C.A. Moretran, en marzo 2015.

Tabla 6.2. Costos del proyecto.

Item	Descripción	Cantidad	Un Medida	Precio unitario	Precio total
1	RELE 11 PINES 240V C. I.	7	UN	\$ 8.46	\$ 59.22
2	RELE 8 PINES 240V C. I. 51A2240 C IM	5	UN	\$ 8.77	\$ 43.85
3	BORNERA 4mm ² SCRW4UCR P/RIEL DIN IM	50	UN	\$ 0.27	\$ 13.50
4	BORNERA 2,5mm ² SCRW6UCR P/RIEL DIN IM	20	UN	\$ 0.24	\$ 4.80
5	BORNERA 10mm ² BCP16 P/RIEL DIN IM	20	UN	\$ 0.47	\$ 9.40
6	AMARRAS CABLES NEGRAS PVC 20cm PC5X200	1	100UN	\$ 1.64	\$ 1.64
7	CANALETA R.C/T PVC 40 x 60 x 2.000mm CG IM	3	UN	\$ 3.03	\$ 9.09
8	CINTA AISLANTE AT 19mm x 20,1m SUPER 33+ 3M	1	RL	\$ 3.44	\$ 3.44
9	RIEL DIN Al 35mm x 1m	3	UN	\$ 1.20	\$ 3.60
10	CONTACTOR 3P 115A/AC3 XT B/240V XTCE115G00B	2	UN	\$ 173.53	\$ 347.06
11	CONTACTOR 3P 15A/AC3 XT B/240V XTCE015B10B	5	UN	\$ 19.60	\$ 98.00
12	CONTACTOR 3P 32A/AC3 XT B/240V XTCE032C10B	6	UN	\$ 38.34	\$ 230.04
13	CONTACTOR 3P 50A/AC3 XT B/240V XTCE050D00B	1	UN	\$ 60.77	\$ 60.77
14	CONTACTO AUX.2NA/2NC XTCEXFCC22 PC/XT 7- 32A E	3	UN	\$ 4.70	\$ 14.10

Ítem	Descripción	Cantidad	Un Medida	Precio unitario	Precio total
16	CONTACTO AUX.1NA/1NC	3	UN	\$ 3.02	\$ 9.06
17	GUARDAMOTOR 10-16A 600V	3	UN	\$ 29.48	\$ 88.44
18	GUARDAMOTOR 1.6-2.5A 600V	2	UN	\$ 25.43	\$ 50.86
19	BREAKER CA3125 125A 3P 220V E IM	2	UN	\$ 72.93	\$ 145.86
20	BR. RIEL 3P 2A 400V MMC6-C2/3	1	UN	\$ 18.15	\$ 18.15
21	C. SENCILLO TW NEGRO Cu	1	UN	\$ 10.68	\$ 10.68
22	C.THUN UNILAY azul Cu 12AWG 600V C	3	UN	\$ 33.61	\$ 100.83
23	C. SENCILLO TW ROJO	2	UN	\$ 10.12	\$ 20.24
24	CABLE CONCENTRICO 4X18	400	MT	\$ 1.50	\$ 600.00
25	CABLE CONCENTRICO 4X10	300	MT	\$ 3.00	\$ 900.00
26	LUZ PILOTO VERDE 240 V	4	UN	\$ 2.63	\$ 10.52
27	LUZ PILOTO ROJA 240V	4	UN	\$ 2.63	\$ 10.52
28	PULSADOR LED VERDE ILUM.C/NA HD16C2/HC22Y1 C IM	3	UN	\$ 17.88	\$ 53.64
29	PULSADOR ROJO ILUM.C/NC HD16C1/HC22Z1 IM	3	UN	\$ 2.07	\$ 6.21
30	SELECTOR 3 POSICIONES C/NA	5	UN	\$ 11.03	\$ 55.15

Item	Descripción	Cantidad	Un Medida	Precio unitario	Precio total
31	MODULO LOGICO 115/230	1	UN	\$ 204.00	\$ 204.00
32	LOGO DM16 230R 6RD10 8DI	1	UN	\$ 102.40	\$ 102.40
33	LOGO! Power. Entrada: 110/220VAC Salida: 24VDC 2.5A	1	UN	\$ 74.40	\$ 74.40
34	LOGOTD pantalla4MH00 OBA0	1	UN	\$ 160.00	\$ 160.00
35	TABLERO DE FUERZA PARA PRUEBAS LABORATORIO	1	UN	\$ 220.00	\$ 220.00
36	TABLERO DE MANDO PARA OPERADOR	1	UN	\$ 180.00	\$ 180.00
37	PINZAS	4	UN	\$ 10.00	\$ 40.00
38	MODULO EXPASION LOGO	1	UN	\$ 120.00	\$ 120.00
39	MODULO EXPASION LOGO	1	UN	\$ 150.00	\$ 150.00
40	MODULO EXPASION LOGO	1	UN	\$ 90.00	\$ 90.00
41	MODULO LOGICO LOGO	1	UN	\$ 300.00	\$ 300.00
42	FUENTE DE PODER LOGO	1	UN	\$ 120.00	\$ 120.00
				VALOR TOTAL	\$ 4,752.73

6.2.1 DESARROLLO DEL FLUJO DE CAJA.

Para el desarrollo del análisis del flujo de Caja tomaremos datos referenciales proporcionados por la C.A. Moretran. Esta empresa se encuentra entre las medianas empresas con un crecimiento anual rentable y participación de mercado de un 4%, de acuerdo a datos estimados por el departamento de estadística de la compañía, su objetivo principal es minimizar costos y obtener una mayor participación en el mercado afianzando clientes mediante costos y tiempos de entregas competitivos.

Las ventas estimadas se realizan mediante una estimación del precio de venta basado en transformadores monofásico autoprotegidos, teniendo como política de empresa que el proyecto tenga un periodo de recuperación de la inversión de 3 años y una tasa de descuento del 4%.

Siendo un proyecto de mejoramiento una vez puesta en marcha y durante su funcionamiento la maquina necesita que se realice mantenimientos preventivos cada seis meses, los costos están incluidos en los costos fijos de mano de obra.

6.2.2 ELABORACIÓN DEL FLUJO DE CAJA.

En el desarrollo del tablero de pruebas evaluaremos la rentabilidad de la inversión, mediante el flujo de caja detallado a continuación y representaremos en dólares americanos.

Tabla 6.3. Precio de transformadores.

Años	1	2	3
Precio Promedio de transformadores línea monofásica	\$ 1,800.00	\$ 1,845.00	\$ 1,891.13

Tabla 6.4. Producción estimada.

Producción estimada (Método participación de mercado)			
Año	1	2	3
Cantidad mercado (20% 5-10)	1036000	1026000	995000
Participación (3-4% 3)	4%	4%	4%
Producción estimada	41440	41040	39800

Tabla 6.5. Costos totales de fabricación.

COSTOS TOTALES			
Costo variable Total (q)(Inf)	\$ 60.00	\$ 61.50	\$ 63.04
Producción	41440	41040	39800
Costo Variable Total	\$ 2,486,400.00	\$ 2,523,960.00	\$ 2,508,892.50
Costo fijo Total (Infl)	21000	21525	22063
COSTO TOTAL	\$ 2,507,400.00	\$ 2,545,485.00	\$ 2,530,955.63

Tabla 6.6. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A TRES AÑOS SIN FINANCIAMIENTO				
Años	0	1	2	3
INGRESOS				
Ingresos por ventas		\$ 74,592,000	\$ 75,718,800	\$ 75,266,775
TOTAL		\$ 74,592,000	\$ 75,718,800	\$ 75,266,775
GASTOS				
Gastos Operacionales				
Costos Variables		\$ 2,486,400	\$ 2,523,960	\$ 2,508,893
Costos Fijos		\$ 21,000	\$ 21,525	\$ 22,063
Gastos de depreciación				
Tablero de control		\$ 1,584	\$ 1,584	\$ 1,584
maquinarias compañía		\$ 53,000	\$ 53,000	\$ 53,000
TOTAL		\$ 2,561,984	\$ 2,600,069	\$ 2,585,540
UTILIDAD OPERATIVA		\$ 72,030,016	\$ 73,118,731	\$ 72,681,235
IMPUESTOS (25%)		\$ 18,007,503.94	\$ 18,279,682.69	\$ 18,170,308.7
UTILIDAD O PERDIDA NETA		\$ 54,022,512	\$ 54,839,048	\$ 54,510,926
Tablero de control		\$ 1,584	\$ 1,584	\$ 1,584
maquinarias compañía		\$ 49,000	\$ 53,000	\$ 53,000
		\$ 54,073,096	\$ 54,893,632	\$ 54,565,511
Inversiones				
Maquinaria 1	\$ 4,753			
Capital de trabajo	\$ 6,000			
	\$ 10,753			
FLUJO DE CAJA	\$ 10,753	\$ 54,073,096	54,893,632	\$ 54,565,511

Tabla 6.7. Valor actual Neto.

Tasa de descuento	4%
VAN	\$ 151,264,903.36

6.2.3 BENEFICIO-COSTO.

Mediante este método determinaremos la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración en términos monetarios de todos los costos y beneficios que incurren directa e indirectamente del proyecto. Para obtener el beneficio-costo del proyecto utilizaremos la siguiente fórmula:

$$b/c=(\text{beneficios positivos}-\text{beneficios negativos})/\text{costos}$$

Tabla 6.8. Beneficio-Costo.

	BENEFICIO / COSTO	
BENEFICIO	\$ 208,641,253	
COSTO	\$ 7,165,892	
B/C	29.12	1 > 1,19

6.3 GANANCIAS.

En los resultados obtenidos de Beneficio-costo obtenemos como resultado un 29.12%, indicador que muestra que los costos en la elaboración del tablero son realmente económicos y que de acuerdo a la demanda actual de la compañía será una inversión que no demanda una constante inyección de capital.

En el valor actual neto nos indica que nuestro proyecto es factible ya que actualmente si se tiene una mayor participación de mercado a través del mejoramiento en los tiempos de entrega se lograra afianzar clientes tanto por precios como por tiempos de entrega, se nota una eficiente utilización de los recursos de la compañía además no existe endeudamiento a largo plazo y se obtiene un beneficio directo y eficiente al momento de recuperar el capital.

El capital de trabajo fue de \$4753 con su respectiva recuperación en el 3er año, lo que se verá reflejado en la mano de obra ya que los tiempos ocios reducirán, y los mantenimientos preventivos no incurren en gastos variables porque estos están incluidos en los costos fijos de mano de obra. Mediante la elaboración del flujo de caja y beneficio-costos, podemos indicar que el proyecto es viable ya que cumple con las expectativas del proyecto.

6.4 MANTENIMIENTO Y VIDA ÚTIL DEL SISTEMA.

Para asegurar una larga vida del tablero y que este opere correctamente todo el tiempo, es de vital importancia estar chequeando periódicamente su desempeño y proporcionarle un mantenimiento adecuado cada tres meses.

Por lo cual se propone que se realicen mantenimientos periódicos y revisión de instrumentos. Entre los mantenimientos que debemos considerar son el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

6.4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Para este tipo de mantenimiento debemos tener siempre a la mano el diagrama eléctrico general tanto para el sistema de fuerza como para el sistema de control, en caso de ocurrir un problema que implique una falla o alguna avería dentro de algún componente eléctrico.

6.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Aplicando este tipo de mantenimiento se programa una revisión de partes y componentes cada tres meses del sistema de control y fuerza, como pueden ser también un ajuste de terminales tanto en los breakers como en los contactores de fuerza, ajuste en los terminales de control, revisión de temperaturas para evitar sobrecalentamiento de cables. En este mantenimiento se debe también enfocarse en los ajustes y calibración de instrumentos cada año.



Figura 6.2. Tablero panel operador terminado.

CAPITULO 7

PRUEBAS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.

Luego de realizar el análisis, diseño y construcción del tablero de fuerza y de control en las pruebas de vacío y cortocircuito para todo tipo de transformadores de distribución fabricados en la planta Moretran, se pasa a realizar un ensayo de pruebas con dos tipos de transformadores que sean trifásico y monofásico. Trabajaremos con el análisis de pérdidas sin carga (vacío) dada por la norma NTE INEN 2113 y las perdidas con carga (cortocircuito) dada por la norma NTE INEN 2116 adjuntados en el anexo de este proyecto.

Se inicia con los datos de un diseño de un transformador monofásico CSP auto protegido de 50KVA a 7620v/240v para ser comparados con las pruebas de vacío y cortocircuito de catorce transformadores de la misma característica , en función de la

norma NTE INEN 2114 en base a las perdidas permitidas en el transformador, culminaremos con las pruebas de vacío y cortocircuito de un transformador trifásico de 750KVA a 13200v/220v y evaluaremos el análisis de pérdidas real con el medido, aceptando o rechazando la prueba en función de la norma NTE INEN 2114.

7.1. PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE 50KVA.

Se asigna un diseño monofásico de la parte activa de un transformador de 50KVA, cuyo voltaje de alta y baja tensión es 7620V/240V diseñado y construido en la planta Moretran.

Sus características de potencia, corriente y voltaje y el cálculo teórico de las pérdidas de vacío se visualizan en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 Diseño de un transformador de 50 KVA.

PARAMETRO DE DISEÑO DE UN TRAFIO MONOFASICO DE 50 KVA		
POTENCIA	50 KVA	
V A.T	7620 V	
V B.T	240 V	
I A.T	6,56 A	
I B.T	208,33 A	
PESO NUCLEO	132 kg	
FACTOR W/kg	1,04 w/kg	
Bm	14743,73 gauss	
P nucleo	pesox factor	pérdidas teóricas
	136 x1,07	146W

Obtenido las características del diseño pasamos a proceder las mediciones por medio del sistema de pruebas en vacío para comprobar que el diseño sea óptimo y

verificar las lecturas a través de la pantalla del ION7650 escrita en el protocolo de pruebas en la tabla 7.2.se puede comprobar lo siguiente:

Tabla 7.2. Medición en el laboratorio de pruebas en vacío de 14 transformadores CSP.

PRUEBA DE VACÍO	Tensión (V)	I(X1-X3) (A)	I(X1-X3) (%)	Pérd. Med. (W)	Factor de Potencia
Transformador 1	240	0.9	0.43	138	0.63
Transformador 2	240	0.95	0.46	136	0.62
Transformador 3	240	0.91	0.44	136	0.62
Transformador 4	240	0.7	0.34	125	0.75
Transformador 5	240	0.85	0.41	130	0.64
Transformador 6	240	0.95	0.46	134	0.55
Transformador 7	240	0.86	0.41	133	0.65
Transformador 8	240	0.77	0.37	127	0.69
Transformador 9	240	0.86	0.41	133	0.64
Transformador 10	240	0.74	0.36	131	0.75
Transformador 11	240	0.95	0.46	137	0.60
Transformador 12	240	1.45	0.70	156	0.44
Transformador 13	240	0.79	0.38	132	0.68
Transformador 14	240	0.9	0.43	137	0.63

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero hasta su voltaje nominal nos dan las lecturas de la corriente de excitación, el factor de potencia, las potencias activas medidas por el ION 7650 son los valores de las pérdidas de vacío.

Con estos valores se comprueba que las pérdidas reales son menores al de la norma NTE INEN 2114 que indica que para transformadores de 50 KVA sus pérdidas máximas de vacío permitidas son de 160 W. Por lo tanto los 14 transformadores pasan satisfactoriamente la prueba de vacío.

7.2. PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO DE 50KVA.

En la prueba de cortocircuito se inicia con el diseño de la parte activa de un transformador monofásico de 50 KVA cuyo voltaje de alta y baja tensión es 7620V/240V diseñado y construido en la planta Moretran.

Sus características de potencia, corriente, voltaje, la sección de los conductores tanto en alta como en baja tensión, se calcula la resistencia total de cada bobinado, el cálculo teórico de las pérdidas de vacío se visualiza en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Diseño de un transformador de 50 KVA.

PARAMETRO DE DISEÑO DE UN TRAF0 MONOFASICO DE 50 KVA	
POTENCIA	50 KVA
V A.T	7620 V
V B.T	240 V
I A.T	6,56 A
I B.T	208,33 A
sección B.T	106,8 mm ²
Seccion A.T	2,62 mm ²
resistencia B.T	0,0043 ohmios
resistencia A.T	4,954 ohmios
P cortocircuito	pérdidas totales a 85 (°C)
(IAT 2xresAT+IBT2xresBT)	497,2 W

Obtenido las características del diseño pasamos a procedemos a realizar la prueba de cortocircuito para comprobar que el diseño sea óptimo y verificar las lecturas a través de la pantalla del ION7650 escrita en el protocolo de pruebas en la tabla 7.4 y se puede comprobar lo siguiente:

Tabla 7.4. Medición en el laboratorio de pruebas en cortocircuito de 14 transformadores.

PRUEBA DE CORTOCIRCUITO	I_{cc} (A)	V_{cc} (V)	Pérd. Med. (W) 85 °C	Factor de Potencia	Impedancia (%)
Transformador 1	6.56	110	466	0.54	1.44
Transformador 2	6.56	110	479	0.56	1.44
Transformador 3	6.56	110	461	0.54	1.46
Transformador 4	6.56	111	485	0.56	1.46
Transformador 5	6.56	111	472	0.55	1.46
Transformador 6	6.56	111	483	0.56	1.46
Transformador 7	6.56	111	490	0.56	1.46
Transformador 8	6.56	111	485	0.55	1.46
Transformador 9	6.56	111	500	0.57	1.46
Transformador 10	6.56	116	478	0.54	1.52
Transformador 11	6.56	110	465	0.54	1.44
Transformador 12	6.56	118	479	0.54	1.55
Transformador 13	6.56	117	467	0.52	1.54
Transformador 14	6.56	117	475	0.54	1.54

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero a un voltaje reducido hasta llegar a la corriente nominal en el lado de alta tensión nos permite obtener las lecturas del voltaje de cortocircuito para cada transformador monofásico, esto nos permite hallar la impedancia de cada transformador, que es la relación del voltaje de cortocircuito con respecto al voltaje nominal de alimentación en alta. Las potencias activas medidas están ya referidas a 85 °C y representan las pérdidas en los devanados de alta y baja tensión.

Con estos valores se comprueba que las pérdidas reales son menores al diseño, excepto el transformador 9, pero puesto que la norma NTE INEN 2114 indica que para transformadores de 50 KVA sus pérdidas máximas de cortocircuito permitidas son de 512 W referidos a 85 °C. Por lo tanto los 14 transformadores monofásicos pasan satisfactoriamente la prueba de cortocircuito.

7.3. PRUEBA DE VACÍO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 750 KVA.

Partimos con un diseño de la parte activa de un transformador trifásico de 750KVA, cuyo voltaje de alta y baja tensión es 13800V/220V conexión Dyn5 diseñado y construido en la planta Moretran. Sus características de potencia, corriente y voltaje se visualizan en la tabla 7.5.

Tabla 7.5. Calculo teórico de un transformador de 750 KVA.

PARAMETRO DE DISEÑO DE UN TRAF0 TRIFÁSICO DE 750 KVA		
POTENCIA	750	KVA
CONEXIÓN	Dyn5	
V A.T	13800	V
V B.T	220	V
I A.T	31,38	A
I B.T	1968,24	A
PESO NUCLEO	702	kg
FACTOR W/kg	1,56	w/kg
Bm	14743,73	gauss
FACTOR DEST	1,3	
Po núcleo	pesox factorxfactor dest	pérdidas teóricas
	702 x1,56x1,3	1424W

Obtenido las características del diseño pasamos a proceder las mediciones realizando la prueba de vacío para comprobar que el diseño haya sido óptimo y verificar las lecturas de la prueba a través de la pantalla del ION7650 escrita en el protocolo de pruebas en la tabla 7.6 y se puede comprobar lo siguiente:

Tabla 7.6. Medición en el laboratorio de pruebas en vacío.

	Tensión (V)	I(prom) (A)	I(o) (%)	Pérd. Med. (W)	Factor de Potencia
5.- PRUEBA EN VACIO	220	5.02	3.91	1317	0,68
6.- PRUEBA SOBRE-EXC.	242	18,35	20.88	1993	0,26

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero hasta su voltaje nominal nos da las lecturas de la corriente de excitación promedio trifásica que es de 5.02 amperios, las perdidas activas son de 1317W, y su factor de potencia es de 0.68.

Con estos valores se comprueba que las pérdidas son menores al diseño, y que la norma NTE INEN 2115 que indica que para transformadores trifásicos de 750 KVA, sus pérdidas máximas de vacío permitidas en estos transformadores de 750 KVA es de 1453 W. Por lo tanto el transformador trifásico pasa satisfactoriamente la prueba de vacío.

7.4 PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 750 KVA.

En la prueba de cortocircuito se parte con el diseño de la parte activa de un transformador trifásico de 750 KVA cuyo voltaje de alta y baja tensión es 13800V/220V conexión Dyn5 diseñado y construido en la planta Moretran.

Sus características de potencia, corriente y voltaje y el cálculo teórico de las pérdidas de vacío se visualizan en la tabla 7.7.

Tabla 7.7 Diseño de un transformador de 750 KVA.

PARAMETRO DE DISEÑO DE UN TRAF0 MONOFASICO DE 750 KVA		
POTENCIA	750	KVA
V A.T	13800	V
V B.T	220	V
I A.T	31,37	A
I B.T	1968,24	A
sección B.T	736	mm ²
Seccion A.T	5,26	mm ²
resistencia B.T	0,000506	ohmios
resistencia A.T	2,884	ohmios
P cortocircuito	pérdidas totales a 85 (°C)	
1,5x(IAT 2xresAT+IBT2xresBT)	7597,31 W	

Obtenido las características del diseño pasamos a procedemos a realizar la prueba de cortocircuito para comprobar que el diseño sea óptimo y verificar las lecturas a través de la pantalla del ION7650 escrita en el protocolo de pruebas en la tabla 7.8 y se puede comprobar lo siguiente:

Tabla 7.8. Medición en el laboratorio de pruebas en cortocircuito.

7.- PRUEBA DE CORTOCIRCUITO		FACT. POT.	0,53	TEMP. (°C)	28	REF. a 85 °C
		Pérdidas (W)		423		8159
I_{cc} (A)	31.38	I ² xR (W)		6074		7368
U_{cc} (V)	494	Impedancia (%)		3.58		3.64

Las mediciones de la prueba al regular la tensión del Autotransformador desde cero a un voltaje reducido hasta llegar a la corriente nominal en el lado de alta tensión nos permite obtener las lecturas del voltaje de cortocircuito que es de 494 V, hallando la impedancia del transformador de 3.58 relacionando con respecto al voltaje nominal de alta. Las pérdidas activas medidas son de 8159W referido a 85 °C, y su factor de potencia es de 0.26.

Con estos valores se comprueba que las pérdidas reales son mayores al diseño, y que la norma NTE INEN 2115 indica que para transformadores de 750 KVA sus pérdidas máximas de cortocircuito permitidas en estos transformadores de 750 KVA es de 8386 W referidos a 85 °C, por lo tanto, pasa la prueba de cortocircuito.

CONCLUSIONES.

1. Se implementó un sistema de control y fuerza para realizar las pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos y trifásicos de distribución.
2. El diseño del sistema de fuerza tiene la capacidad para realizar pruebas de transformadores trifásicos de hasta 2500 KVA, sabiendo que el máximo diseño que fabrica la empresa es de 2000 KVA.
3. Se modifica el sistema de control interno de la máquina HIPOTRONIC para que sea gobernado por el nuevo diseño de control, gestionando los procesos de automatización a través del micro PLC LOGO.
4. El sistema general realiza el proceso de pruebas en modo manual para pruebas de uno en uno y en modo automático para pruebas de automatización en forma secuencial de hasta un número máximo de 14 transformadores monofásicos CSP y Padmounted.
5. Se logra obtener una mayor competitividad del mercado debido a que el laboratorio es uno de los procesos finales donde llega el producto, entregando los transformadores al área de despacho, en un tiempo menor en función a las anteriores pruebas de trabajo.
6. Se obtiene un manual de procedimiento para pruebas de vacío y cortocircuito de transformadores de distribución aplicado al laboratorio de Moretran.
7. Se logró realizar el diseño control y fuerza con los menores recursos económicos estipulados a partir de un micro PLC barato y dinámico.

RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.

1. El sistema está diseñado para futuras modificaciones en el proceso de control automático de transformadores trifásicos.
2. Para futuros proyectos de mejora se debe puede realizar un control PID con la máquina HIPOTRONIC para controlar el voltaje de alimentación desde un sistema SCADA.
3. Las pruebas en secuencia automatizadas son exclusivamente para transformadores monofásicos porque la empresa tiene una capacidad de construcción de siete a catorce transformadores CSP o autoprotegidos, mientras que la capacidad de construcción de transformadores trifásicos es de uno y máximo de dos.
4. Se recomienda darle un mantenimiento al tablero de fuerza cada tres meses ajustando terminales de contactos, breakers y también la revisión de transformadores de corriente y voltaje porque estos pueden afectar los valores medidos en función del valor real en las pruebas.
5. El ION 7650 es un medidor poderoso capaz de controlar y enviar la información a un SCADA. Hay que sacar el máximo provecho a futuro de sus características controlando el autotransformador como una alimentación variable y automática ingresada desde el operador de pruebas.

ANEXOS.

ANEXO 1

GLOSARIO DE TERMINOS UTILIZADOS

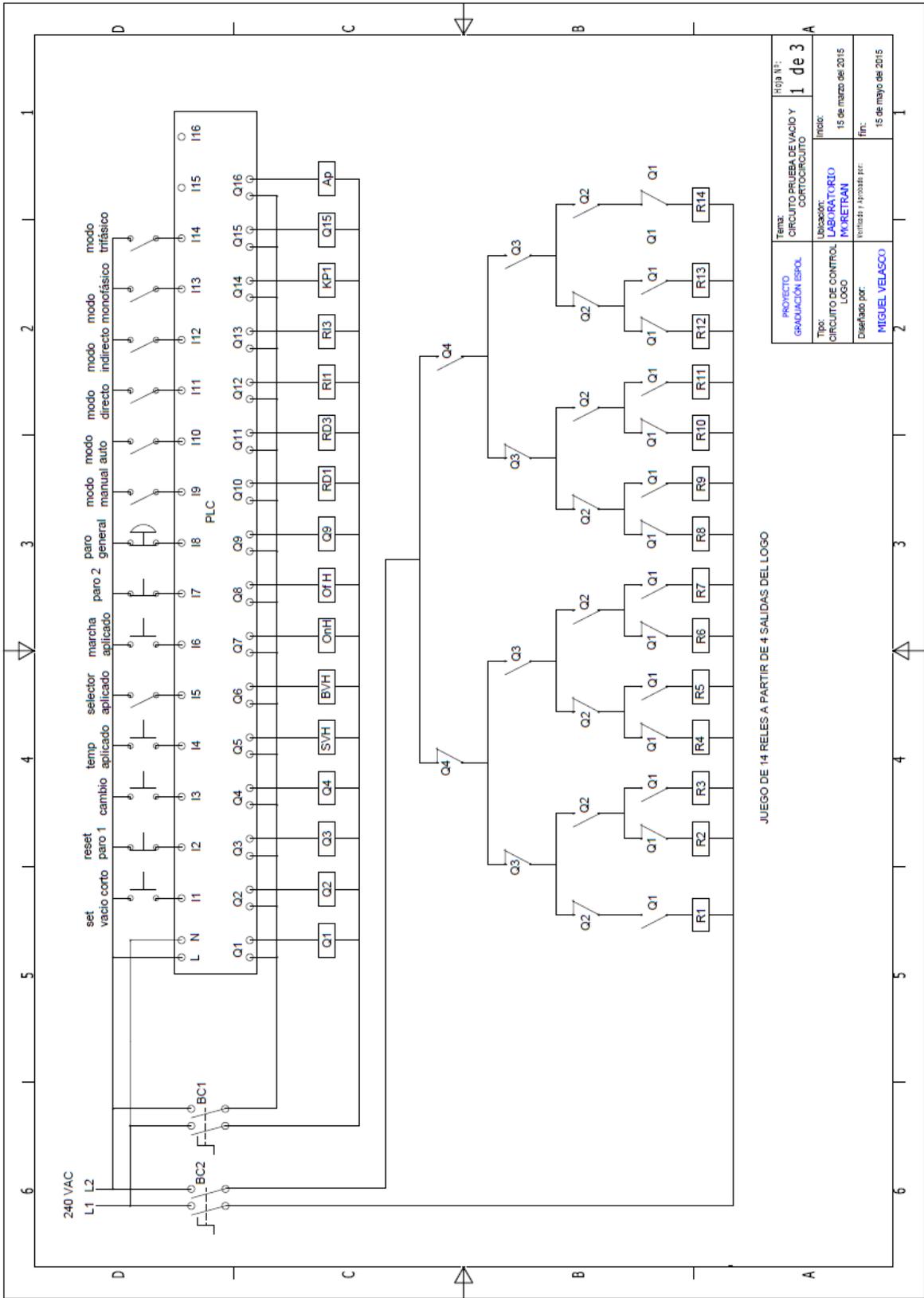
ION 7650: Analizador de energía, permite realizar mediciones de corriente y voltaje, determina el factor de potencia, análisis y muestro de ruido, armónicos. Permite obtener lecturas de potencia activa, reactiva y aparente.

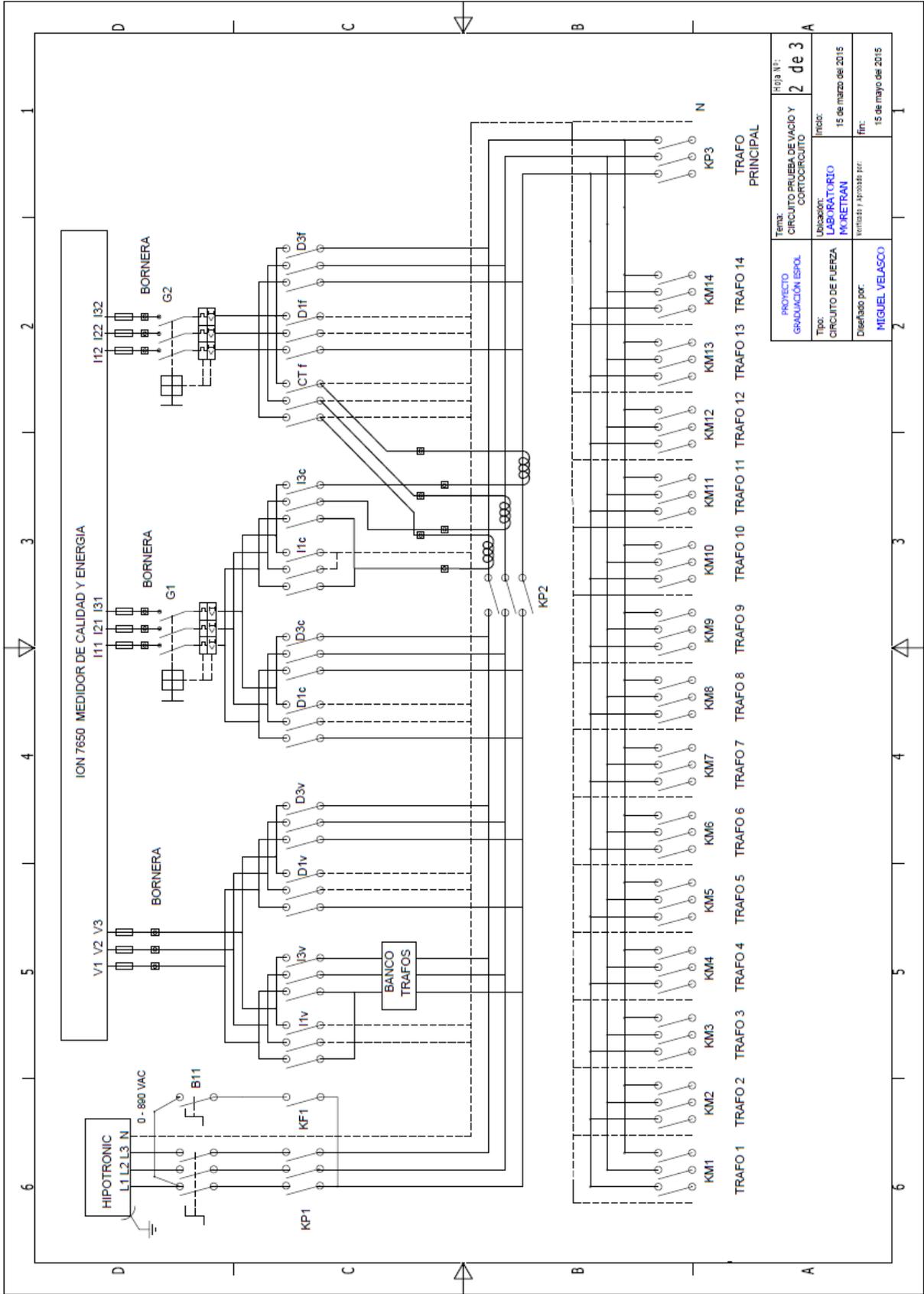
CTs: son transformadores que se utilizan para reducir proporcionalmente la corriente de un circuito en otro para utilizar en instrumento de medición.

PTs: son transformadores que se utilizan para reducir proporcionalmente los voltajes de un circuito para obtener medidas de lectura de forma indirecta.

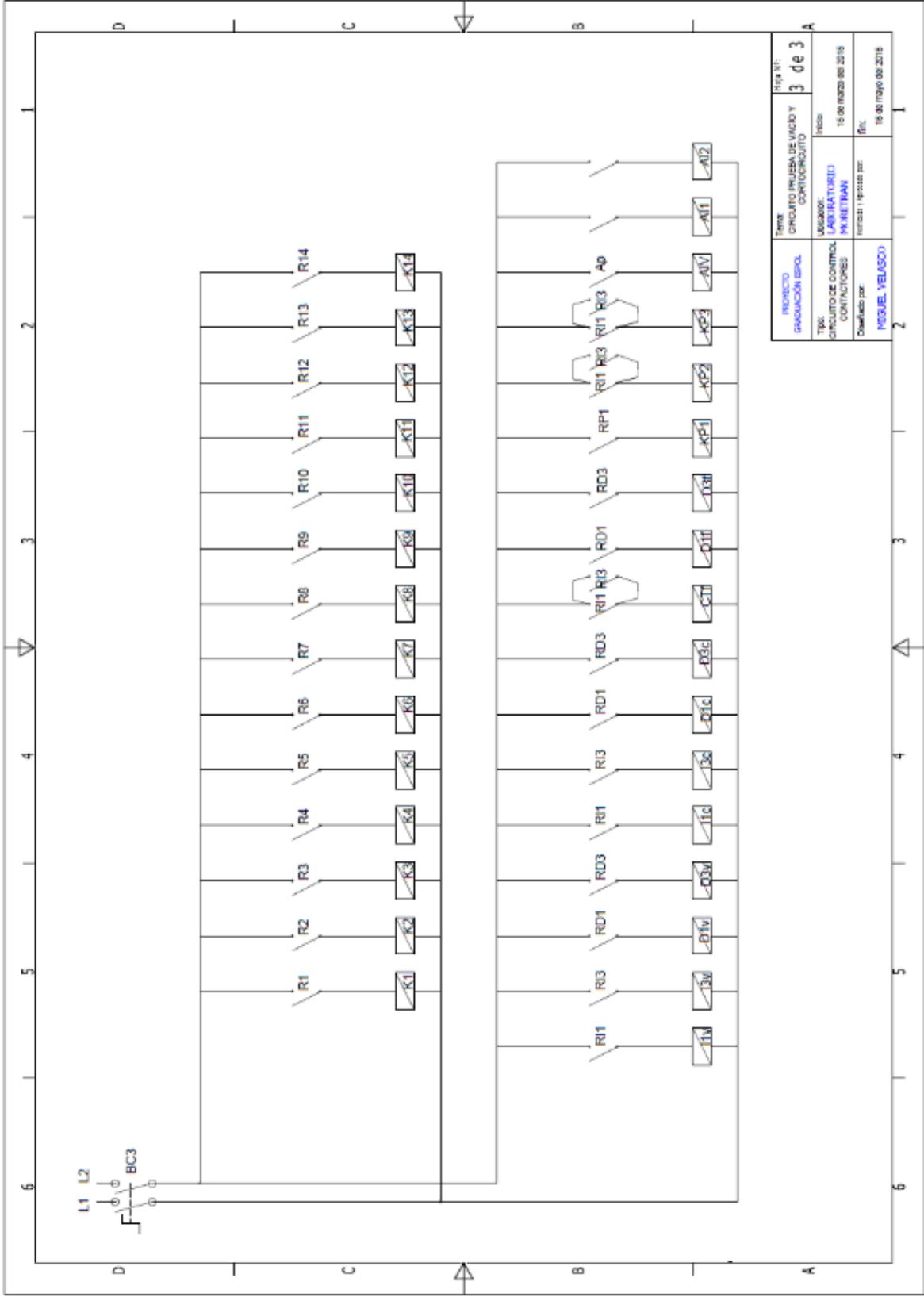
HIPOTRONIC: Autotransformador regulable trifásico para realizar pruebas de vacío y cortocircuito.

ANEXO 2
DIAGRAMA DE CONEXIONES

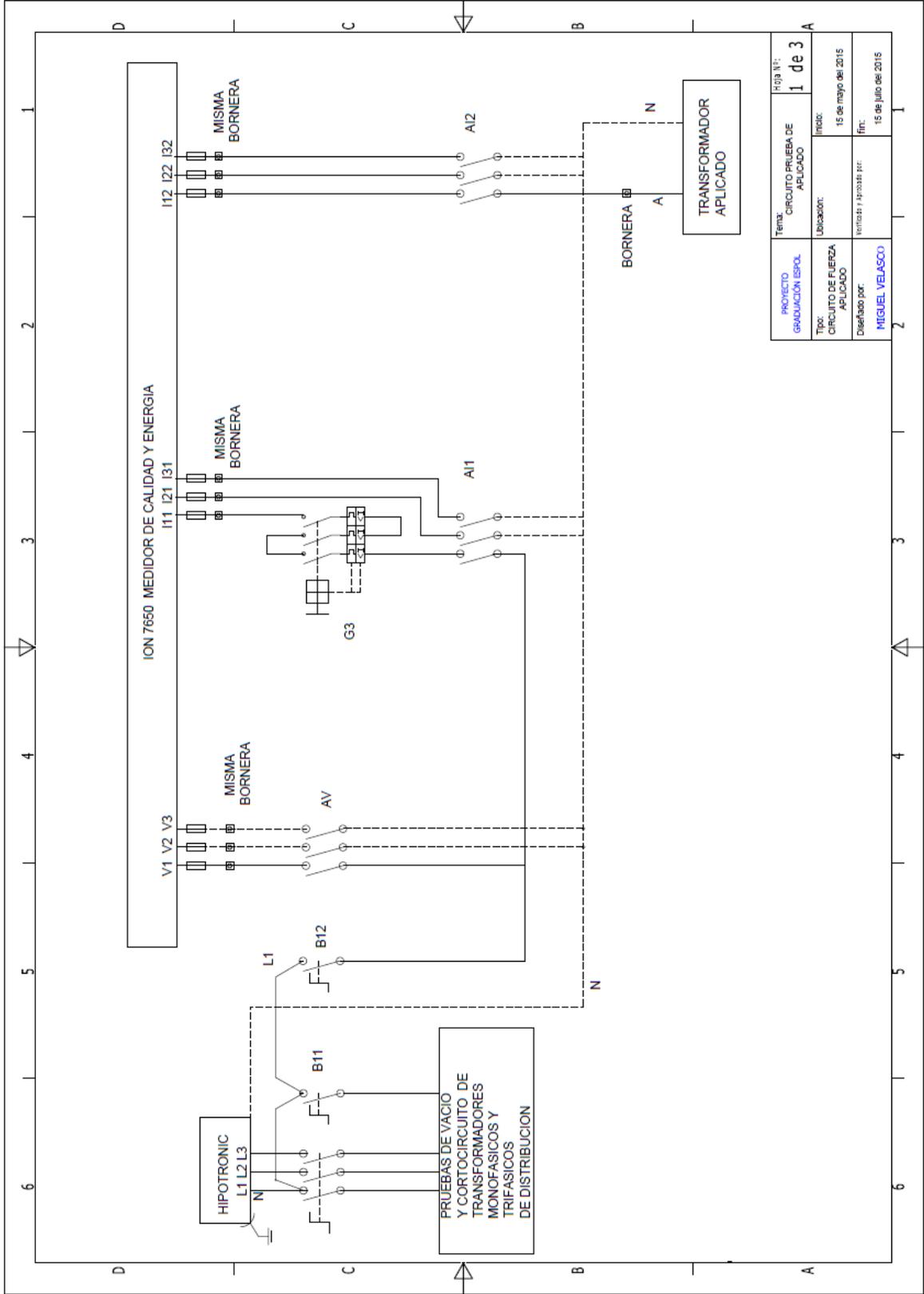




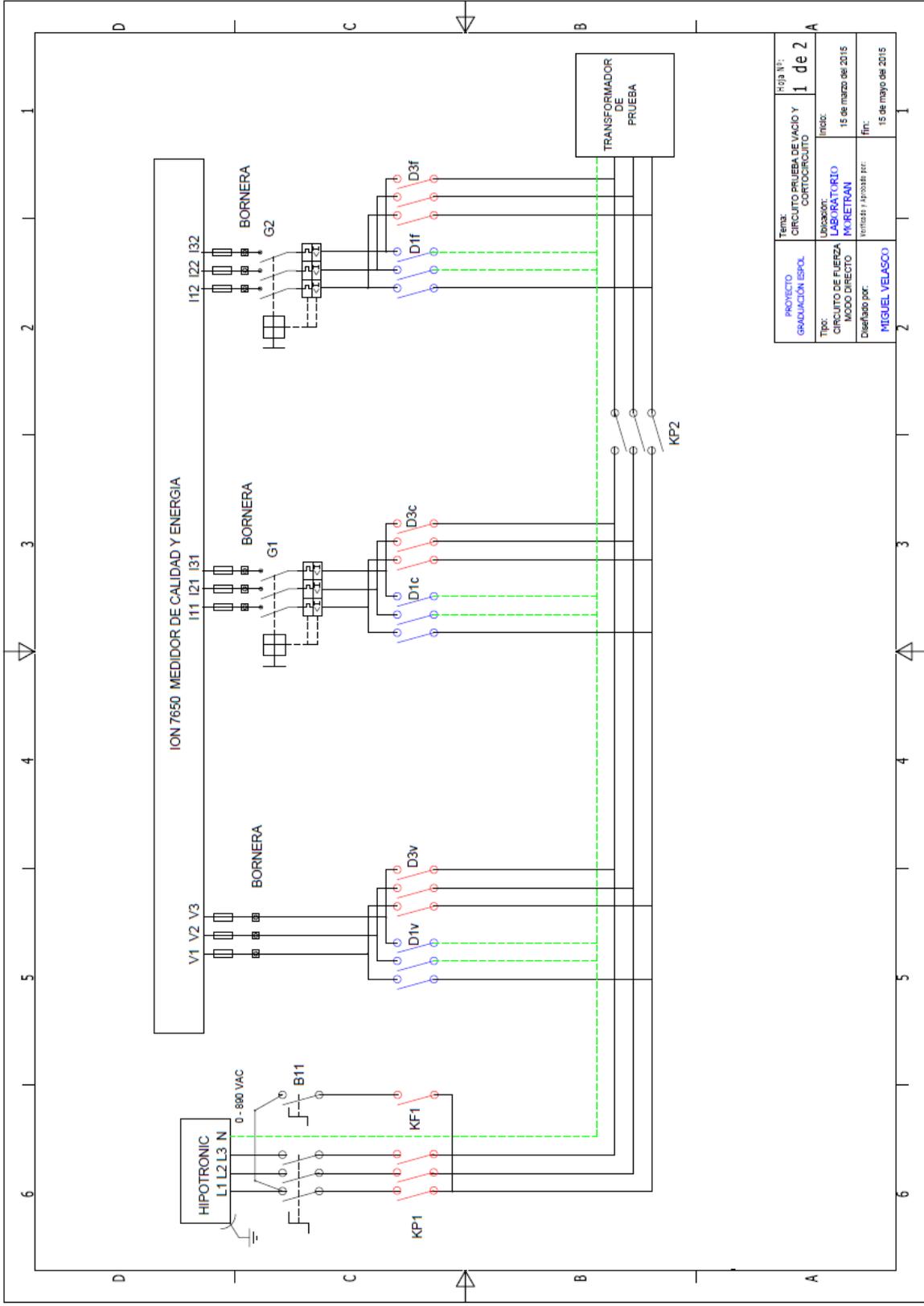
PROYECTO GRADUACIÓN ESOL	Tema: CIRCUITO PRUEBA DE VACIO Y CORTOCIRCUITO	Hoja N.º: 2 de 3
Tipo: CIRCUITO DE FUERZA	Ubicación: LABORATORIO MURETRAN	Inicio: 15 de marzo del 2015
Diseñado por: MIGUEL VELASCO	Verificado / Aprobado por:	Fin: 15 de mayo del 2015



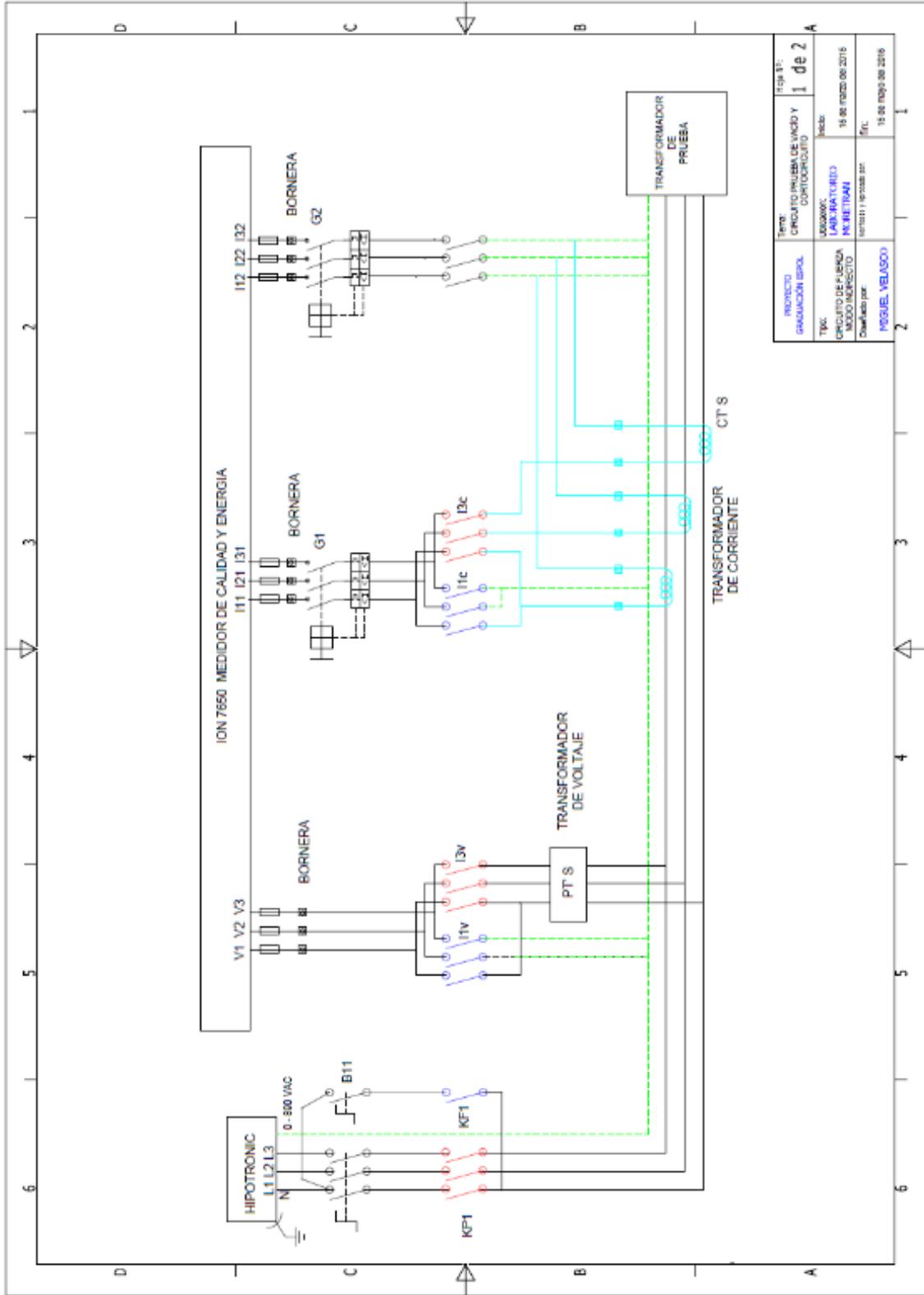
PROYECTO GRADUACIÓN ESOL	TÍTULO CIRCUITO ENLACE DE UNIDAD Y CORTOCIRCUITO	FOLIO Nº: 3 de 3
Tipo: CIRCUITO DE CONTROL CONTACTORES	Usuario: LADRIANA TUREDO MELITRAN	Fecha: 18 de marzo del 2015
Diseñado por: MIGUEL VELAZCO	Revisado / aprobado por:	Fecha: 18 de mayo del 2015



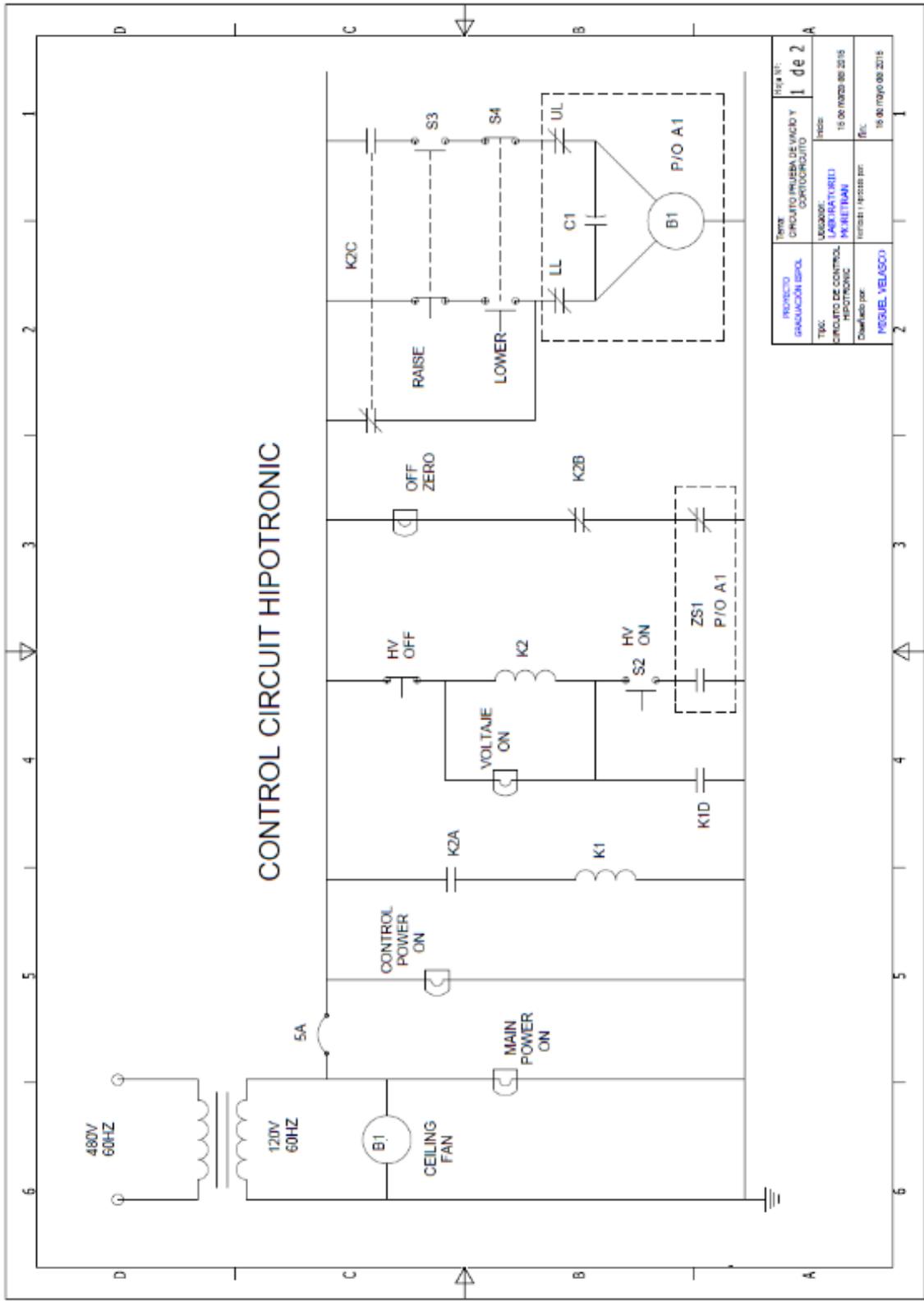
PROYECTO	GRADUACION ESPOL	Tema:	CIRCUITO PRUEBA DE APLICADO	Hoja N.º:	1 de 3
Tipo:	CIRCUITO DE FUERZA APLICADO	Ubicación:		Inicio:	15 de mayo de 2015
Diseñado por:	MIGUEL VELASCO	Verificó y aprobó por:		Fin:	15 de julio del 2015



PROYECTO GRADUACION ESOL	Tema: CIRCUITO PRUEBA DE VACIO Y CORTECIRCUITO	Foja N.º: 1 de 2
Tipo: CIRCUITO DE FUERZA MODO DIRECTO	UNIVERSIDAD: LABORATORIO MARETMAN	Inicio: 15 de marzo del 2015
Diseñado por: MIGUEL VELASCO	Verificado y aprobado por:	fin. 15 de mayo del 2015

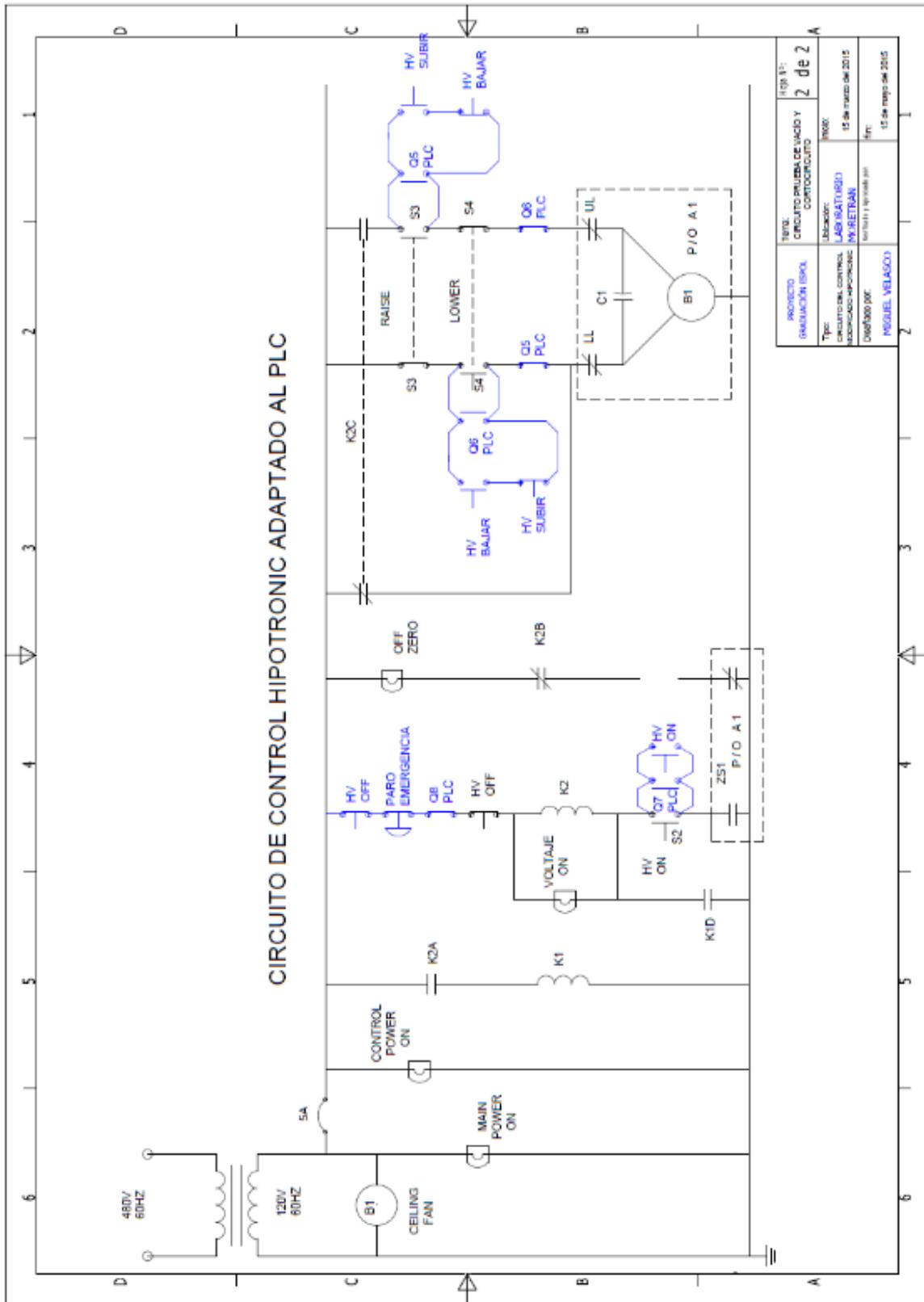


PROYECTO	TEMA	N.º DE DISEÑO	A
GRADUACIÓN ESPECIAL	CIRCUITO PRUEBA DE VACÍO Y CORTOCIRCUITO	1 de 2	
TRABAJADOR	ASISTENTE		
CIRCUITO DE ENERGÍA	LABORATORIO	15 de marzo del 2015	
MODO DE EJECUCIÓN	INSTRUMENTACIÓN		
Calificado por	Revisado por	FECHA	
MEGUEL VELASCO		15 de mayo del 2016	



PROYECTO	GRADUACION ESPECIAL	FECHA: 1 de 2
TITULO	CIRCUITO PRUEBA DE VACIO Y CORTOCIRCUITO	
LUGAR:	LABORATORIO	
FECHA:	15 de marzo del 2015	
PROFESOR:	ING. JESUS RAMIREZ	
ESTUDIANTE:	ING. JESUS RAMIREZ	
FECHA:	15 de marzo del 2015	

CIRCUITO DE CONTROL HIPOTRONIC ADAPTADO AL PLC



PROYECTO	IRADUACIÓN ISOL	TÍTULO	CIRCUITO CONTROL DE UNIDAD CONTROLADA	HOJA N°	2 de 2
Tipo:	CIRCUITO DEL CONTROL	Ubicación:	LABORATORIO	Fecha:	15 de marzo del 2015
	ADQUISICIÓN DE DATOS		INSTRUMENTACIÓN		
	Diagrama por:		Verifica y aprueba por:		
	RODRIGUEZ VELAZCO				15 de mayo del 2015

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Chapman, Máquinas Electricas, Caracas: McGrawHill, 2000.
- [2] G. Aguilar, «Mi transformador,» blog, Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://mitransformador.blogspot.com/>. [Último acceso: julio 2015].
- [3] P. Concha, «Apuntes de Máquinas Eléctricas,» 15 octubre 2000. [En línea]. Available: http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/transformador_monofasico.htm. [Último acceso: julio 2015].
- [4] Sector Electricidad, «Transformadores de Potencia tipo columna y acorazado,» Sector electricidad, 26 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/10895/transformadores-de-potencia-tipo-columna-y-acorazado/>. [Último acceso: julio 2015].
- [5] P. Avelino, Transformadores de Distribución, Teoría , Cálculo, Construcción y Pruebas, Mexico: Reverté Ediciones, 2008.
- [6] A. Moscoso, «Perdidas Eléctricas en el Transformador,» Sector Electrico, 2012. [En línea]. Available: <http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/descargas/perdidas>. [Último acceso: julio 2015].
- [7] Universidad de Vigo, «Perdidas Magnéticas,» Universidad de Vigo, 21 Noviembre 2011. [En línea]. Available: http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_

perdidasmagneticas.htm. [Último acceso: julio 2015].

- [8] T. Oficio, «Concepto de Electrotecnia para Aplicaciones Industriales,» Tecno Oficio, [En línea]. Available:
http://www.sapiensman.com/electrotecnia/transformador_electrico5.htm.
[Último acceso: julio 2015].
- [9] I. E. d. Normalización, «Resolución INEN,» 2014. [En línea]. Available:
<http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/06/instructivo-interno-2014-04-29.pdf>. [Último acceso: junio 2015].
- [10] INEN, «Norma Ecuatoriana NTE INEN 2113:98,» 1998. [En línea]. Available:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2113.1998.pdf>.
- [11] INEN, «Norma Ecuatoriana NTE INEN 2116:98,» [En línea]. Available:
<ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2116.1998.pdf>.