



T
621.31042
M791d
c.2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica



"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE MEDICION DE VELOCIDAD Y CONTROL DE TORQUE POR METODOS DIGITALES PARA SU UTILIZACION EN LA BANCADA UNIVERSAL DE MAQUINAS ELECTRICAS HAMPDEM"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: ELECTRONICA

Realizada por:

Einar del Carmelo Montero Roa

Guayaquil - Ecuador

1.988

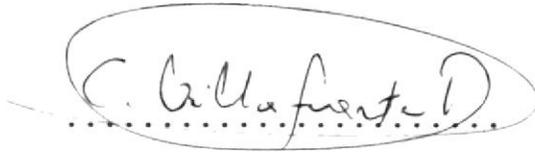


AGRADECIMIENTO

Agradezco la gentil colaboración del Ingeniero Alberto Larco G., quien mediante sus orientaciones y acertadas sugerencias, ha permitido que se lleve a cabalidad la efectiva elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, por su constante e infatigable apoyo y sus deseos de ver culminado mis estudios.



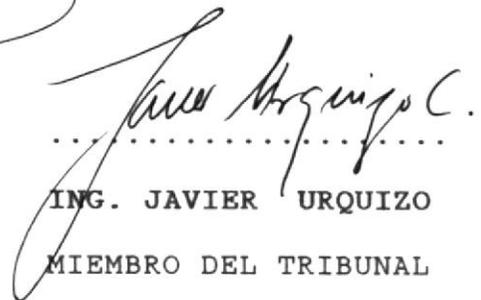
ING. CARLOS VILLAFUERTE
SUB-DECANO DE LA FACUL-
TAD DE ING. ELECTRICA



ING. ALBERTO LARCO
DIRECTOR DE TESIS



ING. RODRIGO BERREZUETA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JAVIER URQUIZO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



.....
EINAR C. MONTERO ROA

RESUMEN

Originalmente las máquinas eléctricas HAMPDEM fueron diseñadas con medidores mecánicos y analógicos para medir torque y velocidad. Esta obra propone métodos para reemplazar dichos medidores analógicos por sistemas de indicación numérica digital y más aún se establece una manera para controlar el torque en el conjunto HAMPDEM.

Para lograr las mediciones de velocidad fue necesario el acoplamiento de un medidor óptico reflectivo, el mismo que sensa un solo pulso proveniente del eje en rotación, este pulso es procesado y luego desplegado directamente en R.P.M. (revoluciones por minuto).

En la medición de torque se usa un transductor llamado galga extensométrica, el mismo que produce una variación de su resistencia cuando se le hace variar su longitud. Se hizo necesario el uso de dos de estos transductores montados sobre una placa medidora para lograr mayor resolución. Así estos transductores mecánicos forman parte de un puente de Wheatstone, el cual produce una pequeña variación de voltaje, el mismo que es amplificado, filtrado y por último presentado en pantallas digitales, dando lecturas directas en libras-pie.

Finalmente, se logra mantener constante el torque del conjunto HAMPDEN mediante la variación controlada del voltaje de campo del dinamómetro (funcionando este como generador); por lo que fue necesario el uso de un controlador Proporcional-Integral que habilite un circuito generador de pulsos para disparar rectificadores controlados de silicio (SCR), permitiendo tener torque constante independiente de la velocidad del motor.

INDICE GENERAL

N ^o	Pág.
Resumen.....	VI
Indice General.....	VIII
Indice de Figuras.....	XI
Indice de Tablas.....	XVI
Introducción.....	17

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Especificaciones.....	19
1.2 Diagrama de bloques.....	20

CAPITULO II

DISEÑOS DE LOS CIRCUITOS

2.1 Sistema medidor de velocidad.....	27
2.1.1 Medidor óptico.....	28
2.1.2 Procesador de pulsos de entrada	28
2.1.3 El circuito de reloj.....	34
2.1.4 Procesador final y despligue visual.....	37
2.2 Sistema medidor y controlador de torque.....	39

N^o

Pág.

2.2.1	Análisis del circuito puente usado.....	39
2.2.2	Amplificación y filtrado de la señal proveniente del puente de galgas extensométricas.....	40
2.2.3	Descripción del sistema de despliegue visual.....	49
2.2.4	Análisis y descripción del circuito de control de torque.	53

CAPITULO III

DISEÑO DE LA INTERFASE MECANICA

3.1	Selección del transductor.....	64
3.2	Cálculo de la montura del transductor	67
3.3	Montaje del elemento transductor.....	68
3.4	Acoplamiento al sistema de máquinas HAMPDEM.....	71
3.5	Ajuste del sistema.....	73

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL SISTEMA EN GENERAL

4.1	Lista de equipos y materiales usados.	77
-----	---------------------------------------	----

N ^o	Pág.
4.2 Consideraciones sobre la construcción del sistema.....	80
4.3 Reconexiones de la máquina usada.....	82
4.4 Disposición finales de los elementos.	82
 CAPITULO V	
PRUBAS Y RESULTADOS.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
APENDICES: A) Circuitos Integrados.....	103
B) Diseño del Torquímetro.....	111
C) Conexiones eléctricas del módulo elec- trónico.....	118
D) Diseño del transformador de fuerza.....	127
BIBLIOGRAFIA	137

INDICE DE FIGURAS

N ^o		Pág.
CAPITULO I		
1.1	Diagrama de bloques del Tacómetro.....	22
1.2	Diagrama de bloques del Torquímetro.....	23
1.3	Diagrama de bloques del Control de Torque..	26
CAPITULO II		
2.1	Montaje del medidor óptico reflectivo.....	29
2.2	Esquema del circuito óptico OPB709.....	29
2.3	Circuito de entrada y multiplicador de pulsos.....	31
2.4	Lazo de fase.....	33
2.5	Circuito divisor de 80.....	33
2.6a	Circuito de reloj completo.....	36
2.6b	Formas de ondas que se generan en el circuito anterior.....	36
2.7	Despliegue visual de la velocidad en RPM..	38
2.8	Puente de Wheatstone usado.....	41
2.9	Circuito total amplificador de la señal de galgas extensométricas.....	43
2.10a	Torquímetro acoplado a la máquina HAMPDEM.	45
2.10b	Rectificador de onda completa e indicador de polaridad.....	45

N ^o		Pág
2.11	Filtración y Amplificación de la señal de Torque.....	48
2.12	Diagrama de bloques del convertidor A/D de doble pendiente de integración.....	50
2.13	Ecuaciones aplicables y diagrama de tiempo de un integrador de doble rampa.....	52
2.14	Diagrama del despliegue visual de torque..	54
2.15	Esquema general para el control de campo del generador.....	55
2.16a	Circuito de fuerza y muestreo de la señal de referencia y realimentación de torque..	59
2.16b	Controlador P-I, Sincronismo y modulador de pulsos de disparo.....	60
2.16c	Generación y amplificación de los pulsos de disparo.....	61
2.17	Circuito auxiliar para el medidor de torque.....	62

CAPITULO III

3.1	Fotografía macroscópica de una galga extensométrica.....	65
3.2	Constitución de una galga extensométrica.	65
3.3	Placa medidora de esfuerzos.....	69
3.4	Acoplamiento de las galgas extensométricas a los sistemas mecánicos y eléctricos	72

N ^o		Pág.
3.5a	Fotografía del resorte seleccionado.....	74
3.5b	Montaje del torquímetro a la máquina Hampdem.....	74
3.6a	Primeras fases de armada del Torquímetro.	76
3.6b	Fase final de armada del medidor de fuerzas.....	76

CAPITULO IV

4.1	Fotografía mostrando las tarjetas electrónicas usadas.....	81
4.2	Transformador de aislamiento.....	81
4.3	Partes constitutivas del Torquímetro.....	83
4.4	Torquímetro armado en su totalidad.....	83
4.5	Reconexiones de la máquina Hampdem.....	84
4.6	Diagramas eléctricos de máquina usada.....	85
4.7	Fuente $\pm 15v$, $\pm 5v$, $+VAR(1.2-13v)$ a 300mA....	86
4.8	Fuente $+5v$, 800mA.....	86
4.9	Circuito de fuerza.....	87
4.10	Circuito de control de torque.....	87
4.11	Circuito medidor de Torque.....	88
4.12	Circuito del Tacómetro.....	88
4.13	Vista superior de las tarjetas electrónicas	90
4.14	Disposición de las tarjetas en el módulo electrónico.....	90

INDICE DE TABLAS

N ^o		Pág.
CAPITULO V		
I	Torque constante $\tau = 0.7$ Lb-Pie.....	92
II	Torque contante $\tau = 1.0$ Lb-Pie.....	92
III	Torque constante $\tau = 2.0$ Lb-Pie.....	93
IV	Torque contante $\tau = 3.0$ Lb-Pie.....	93
APENDICE D		
V	Características de los conductores de cobre.....	134

INTRODUCCION

Esta tesis persigue describir la forma de visualizar en pantallas digitales lecturas de torque y velocidad de las máquinas HAMPDEM con un margen de error muy pequeño; y la manera como estas señales han sido procesadas desde su etapa de muestreo hasta el resultado final. Además se describe una de las técnicas usadas para mantener el torque constante independiente de la velocidad del motor.

La circuitería, la lectura y el control digital son combinados en esta tesis en un solo dispositivo modular, de fácil manejo y que brinda ayuda a la persona que en el futuro trate de usar este banco de pruebas en prácticas diversas.

Al redactar esta obra se intenta hacer comprender con claridad el funcionamiento de todos los circuitos, dándole además, un carácter especialmente práctico, un libro de diseños electrónicos. Enumera asimismo diversos diseños lógicos y muestra algunas de las soluciones que la electrónica proporciona para realizarlas; evitando en lo posible, el uso de complicadas fórmulas matemáticas y recurriendo preferentemente al sentido común y al funcionamiento interno de cada uno de los circuitos lógicos y lineales.

De manera especial se muestra el diseño de un transformador de múltiples salidas, el mismo que sirve para la polarización de los circuitos integrados (a través de las fuentes de voltaje), y a su vez para poder aislar completamente el circuito de fuerza que alimenta al campo del generador (dinamómetro) y controlar su torque.

CAPITULO I

GENERALIDADES

La utilización de los circuitos integrados ha modificado considerablemente la consecución de los aparatos de medida haciendo los circuitos, más fiables y más precisos.

La aparición en el mercado de los circuitos integrados de amplia escala de integración (LSI), que desarrollan todas las funciones esenciales, nos permite realizar fácilmente instrumentos de precisión, estos tipos de aparatos han llegado a ser precisos, pues la creciente difusión de componentes FET y MOSFET, en circuitos integrados conduce a nuevas necesidades.

1.1 Especificaciones

Los indicadores tradicionales de cuadro móvil y aguja presentan numerosos inconvenientes, en primer lugar la fragilidad, pero también la no linealidad, la imprecisión debida al efecto de paralaje, la sensibilidad de los campos magnéticos y la dificultad de utilización en un lugar obscuro. Todos estos defectos, se eliminan con la indicación numérica digital. Como principales especificaciones del sistema, está la construcción de un prototipo de tacómetro adaptable a

la máquina HAMPDEM, que sense un pulso proveniente de su eje en rotación, luego éste es multiplicado por un circuito en el orden de 80. Este nivel de frecuencia tan alto es muestreado en un tiempo definido por un oscilador. Luego, es mostrado en indicación numérica digital a través de 4 dígitos que dan el resultado directamente en revoluciones por minuto (RPM).

La medición del torque se efectúa, gracias a la deflexión de 2 galgas extensométricas montadas en una placa medidora, este conjunto y otros accesorios más, fueron montados en un instrumento denominado torquímetro, que envía una señal de voltaje de 0 v a 10 v, esta señal se la filtra y se la representa en pantallas digitales de 3 dígitos, a través de un convertidor A/D integrador de doble pendiente.

El control de torque se lo logra controlando el campo del dinamómetro funcionando éste como un generador DC, que esta movido por un motor trifásico de rotor devanado. El rango inferior de control de torque estuvo limitado debido a parámetros propios de la máquina.

1.2 Diagramas de Bloques

De una manera simplificada pero ordenada se dará

a conocer el diagrama de bloques de cada uno de los componentes electrónicos y diseños mecánicos realizados.

El dibujo de la figura 1.1 representa el diagrama de bloques del tacómetro que es en realidad un sistema contador de frecuencias, ofreciendo en este caso lecturas directamente en RPM, además, se muestra como un multiplicador de frecuencias puede ser añadido para incrementar la exactitud del sistema. La descripción es la siguiente:

Se toman los pulsos provenientes del eje del motor con un circuito óptico reflectivo, estos niveles de voltaje son corregidos por un circuito disparador de Schmitt cuya salida dá pulsos con mayor velocidad de subida o bajada, estos pulsos ingresan a un detector de fase/frecuencia que en unión del amplificador de error, un oscilador controlado de voltaje y un divisor de 80, forman un multiplicador de frecuencia; estos pulsos así aumentados se conjugan con otras señales de sincronismo provenientes de la base de tiempo y entran en un circuito convertidor directo de frecuencias a indicadores digitales de 4 dígitos.

En la figura 1.2 se muestra simplifícadamente el principio usado para hacer lecturas de torque directa-

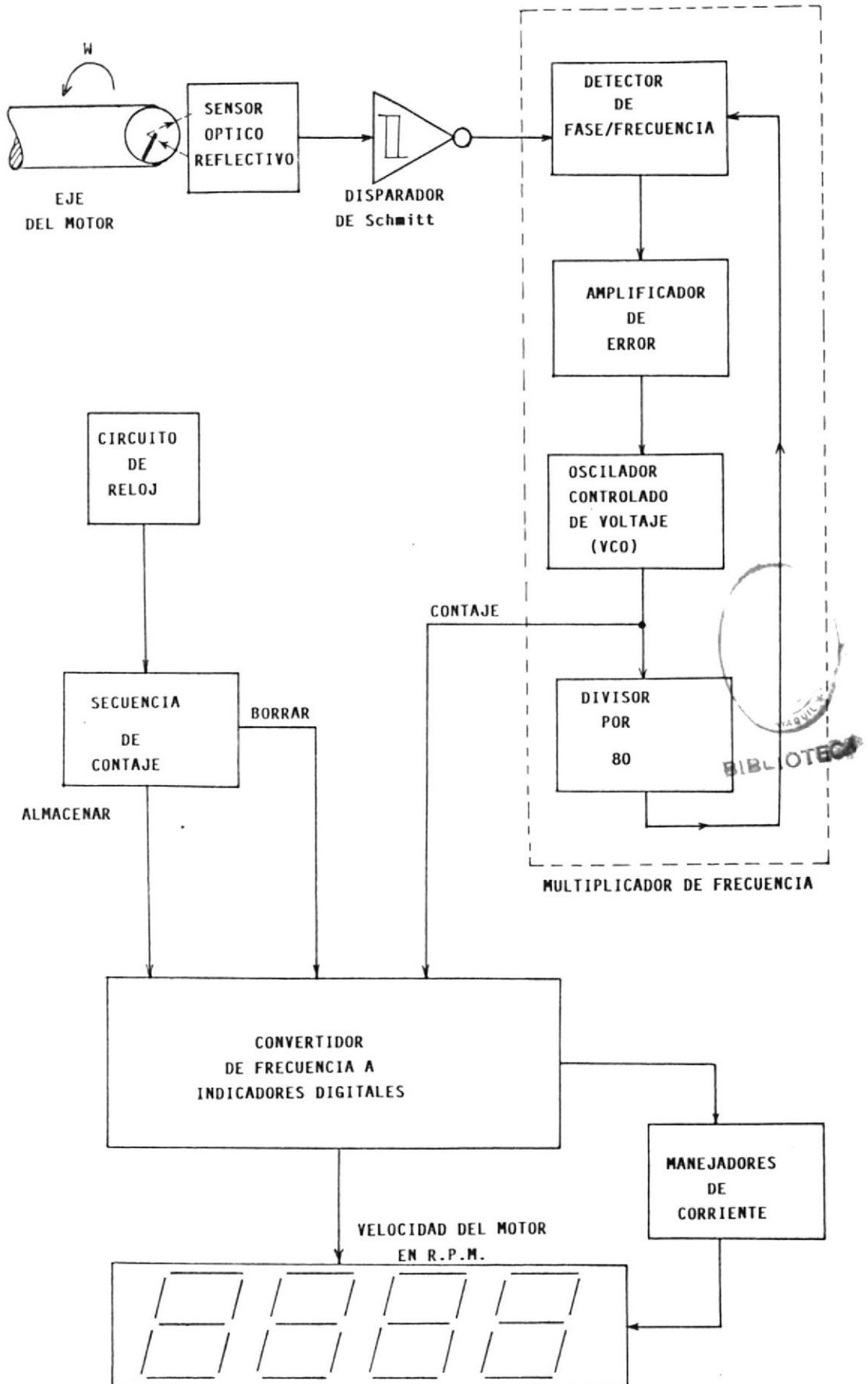


FIGURA 1.1 Diagrama de Bloques del Tacómetro

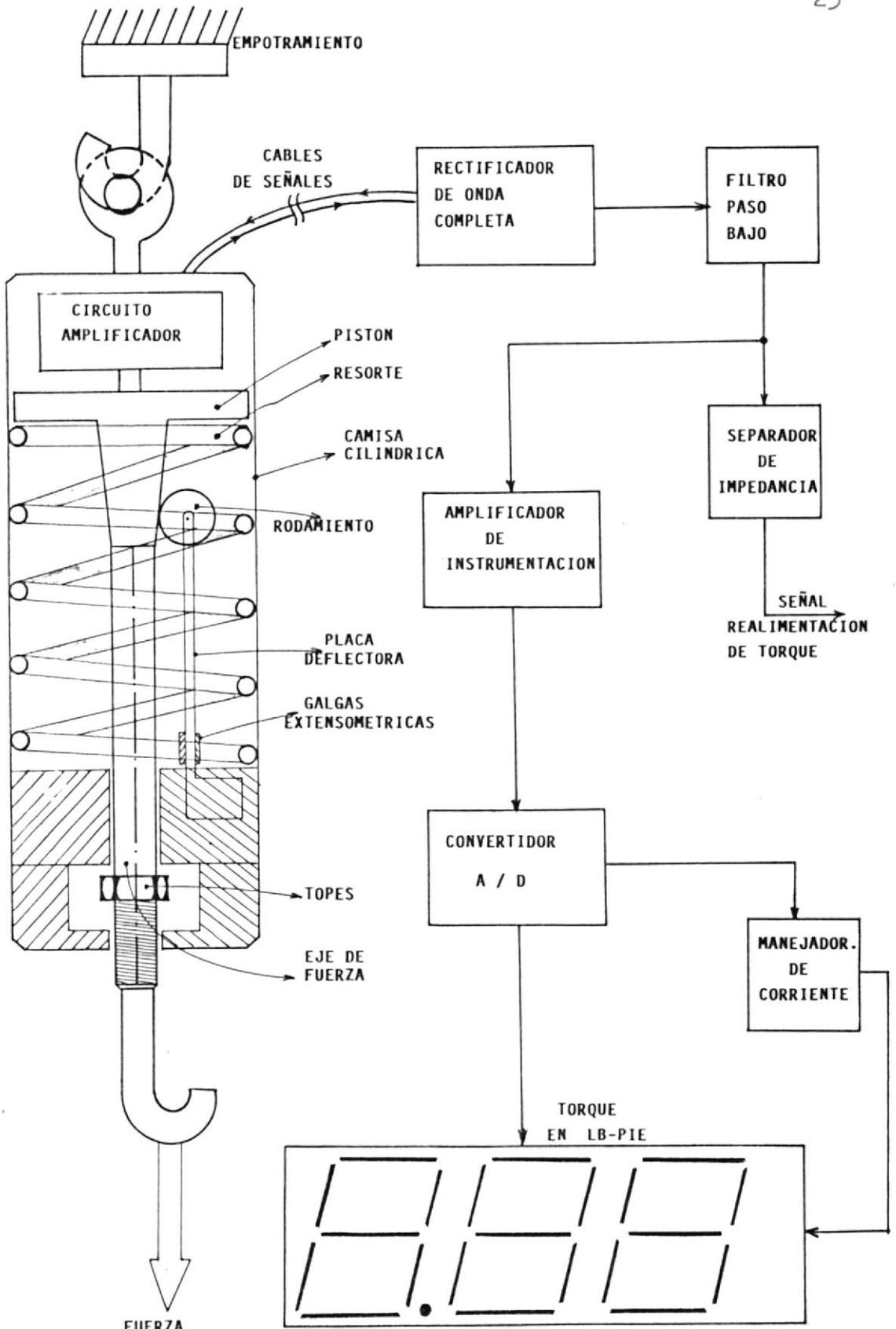


FIGURA 1.2 Diagrama de Bloques del Torquímetro

mente desde el dinamómetro de la máquina eléctrica HAMPDEM. El funcionamiento del sistema de la figura 1.2 es el siguiente:

Primero, se debe lograr la deflexión de una placa medidora en cuyos extremos empotrados se colocan los elementos transductores llamados galgas extensiométricas, para ello se ha diseñado un piston que es arrastrado por un eje de fuerza a través de una camisa o sección cilíndrica de acero de transmisión; esta deflexión es proporcional al valor del desplazamiento lineal del resorte calibrado para medir fuerzas de hasta 16 Lbs., de tal manera, que esos transductores colocados en un puente de Wien producen variaciones en la salida que son sensados por circuitos amplificadores diferenciales de alta impedancia y bajo nivel de decalaje en la entrada, esas señales viajan por un cable blindado hasta un circuito rectificador de onda completa, se filtra esta señal y se la procesa para el despliegue visual en pantallas digitales de una pulgada cada dígito, dando lecturas directamente en Libras-Pie.

Se debe notar, que se envia también una señal de voltaje para la realimentación de torque. Debo mencionar que el control de torque se lo hizo mediante la variación automática del voltaje de campo del dinamó-

metro tal como lo muestra la figura 1.3, cuya descripción de funcionamiento es la siguiente:

Se suman señales de referencia de torque y de realimentación, cuyo resultado ingresa a un controlador P-I, al mismo que ingresan también señales de realimentación de voltaje y corriente provenientes del circuito puente rectificador de onda completa semicontrolado, el error de este controlador P-I es entonces amplificado y comparado con un circuito que esta en sincronismo con el de fuerza, luego el resultado de esta comparación habilita un circuito generador de pulsos, lográndose disparar los rectificadores controlados de silicio del puente antes mencionado, de esta manera se logra mantener el torque constante independiente de la velocidad del motor.

Referencia especial debo hacer respecto de los transformadores de aislamiento usados tanto el de fuerza como el transformador de pulsos, que permitieron lograr referencias diferentes entre los circuitos de fuerza y control.

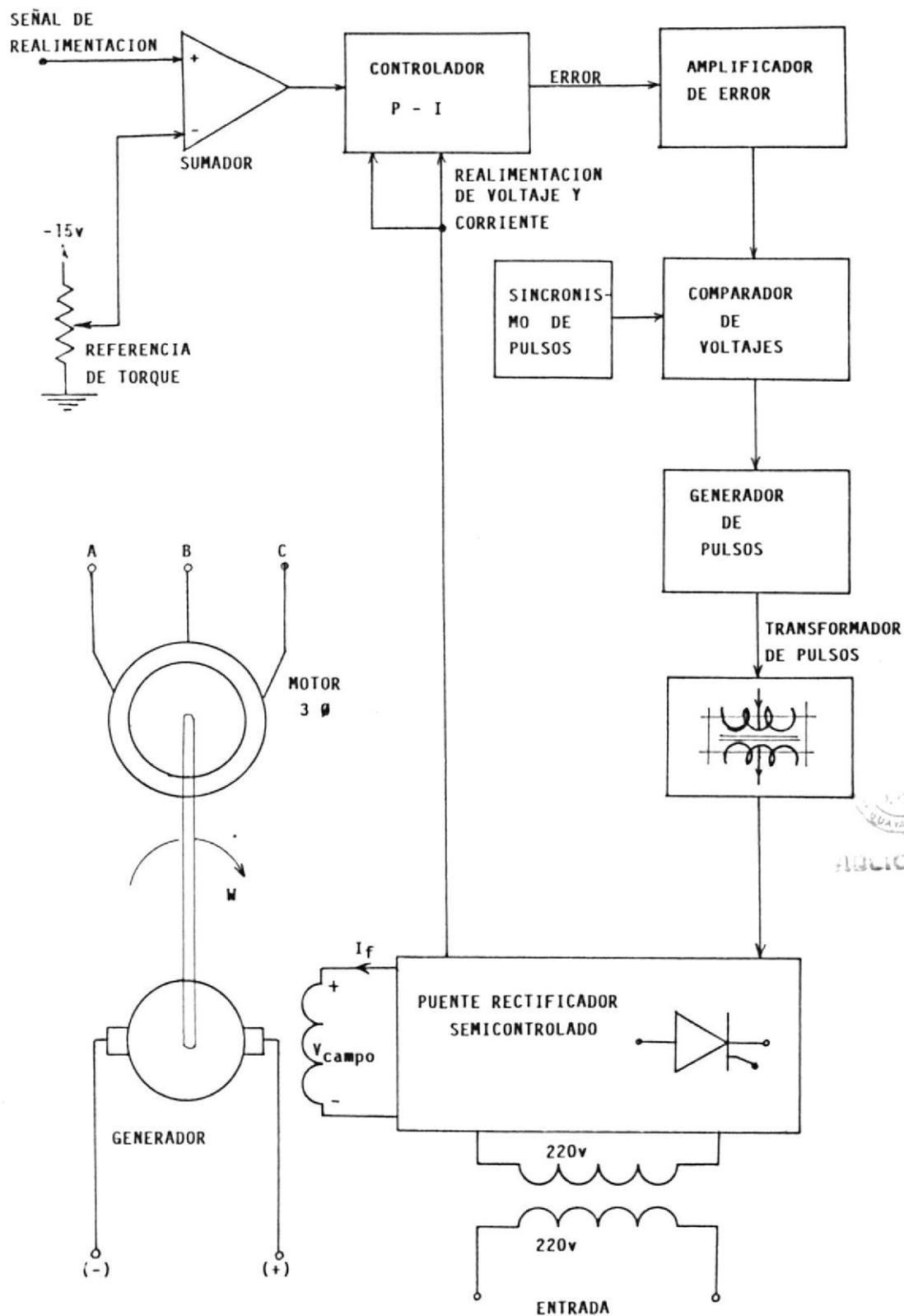


FIGURA 1.3 Diagrama de Bloques del Control de Torque

CAPITULO II

DISEÑOS DE LOS CIRCUITOS

Los circuitos que se usaron fueron en su mayoría lineales, así como también, circuitos digitales MSI y LSI de los cuales se facilitan algunas explicaciones detalladas, para que la persona interesada en este trabajo comprenda a fondo de como funcionan estos circuitos y puedan ser modificados para otros fines en función de sus necesidades concretas, además cuando se crea pertinente se describirán los procedimientos especiales para la puesta a punto de cada uno de estos circuitos.

2.1 Sistema medidor de velocidad

El éxito logrado en la construcción del medidor de velocidad, se basa directamente al circuito integrado CMOS desplegador de 4 dígitos y contador arriba/abajo (7217IJI) fabricado por Intersil que provee 7 segmentos multiplexados, a 4 indicadores digitales de ánodo común, teniendo como configuración normal de operación la de un contador de frecuencias. Si se deseara mayor información de los componentes usados en los diseños de este capítulo, referirse al apéndice A, en el que se detallan algunas características eléctricas.

2.1.1 Medidor Optico

Un fotosensor es un componente en el que al menos una de sus propiedades eléctricas fundamentales varía bajo la influencia de la luz o de una radiación de longitud de onda próxima a la luz. Bajo el concepto anterior se han fabricado entonces los muy conocidos pares fuente/sensor o también llamados opto-aisladores, opto-acopladores y foto-aisladores de los cuales se usó un par reflectivo, el cual ofrece una mayor ventaja de montaje, dado que sólo se sensa de un lado de la superficie en cuestión como se muestra en la figura 2.1, la construcción interna del circuito óptico usado se muestra en la figura 2.2, este circuito integrado óptico tiene por numeración comercial OPB709 y es en realidad un diodo que emite una señal infraroja hacia un objeto a una distancia máxima de 5 mm., este haz luminoso al difractarse rebota hacia un sensor que es un foto-darlington produciendo su conducción. Las principales características ópticas y eléctricas se las aprecia en el apéndice A.

2.1.2 Procesador de pulsos de entrada

Los pulsos provenientes del circuito óptico-

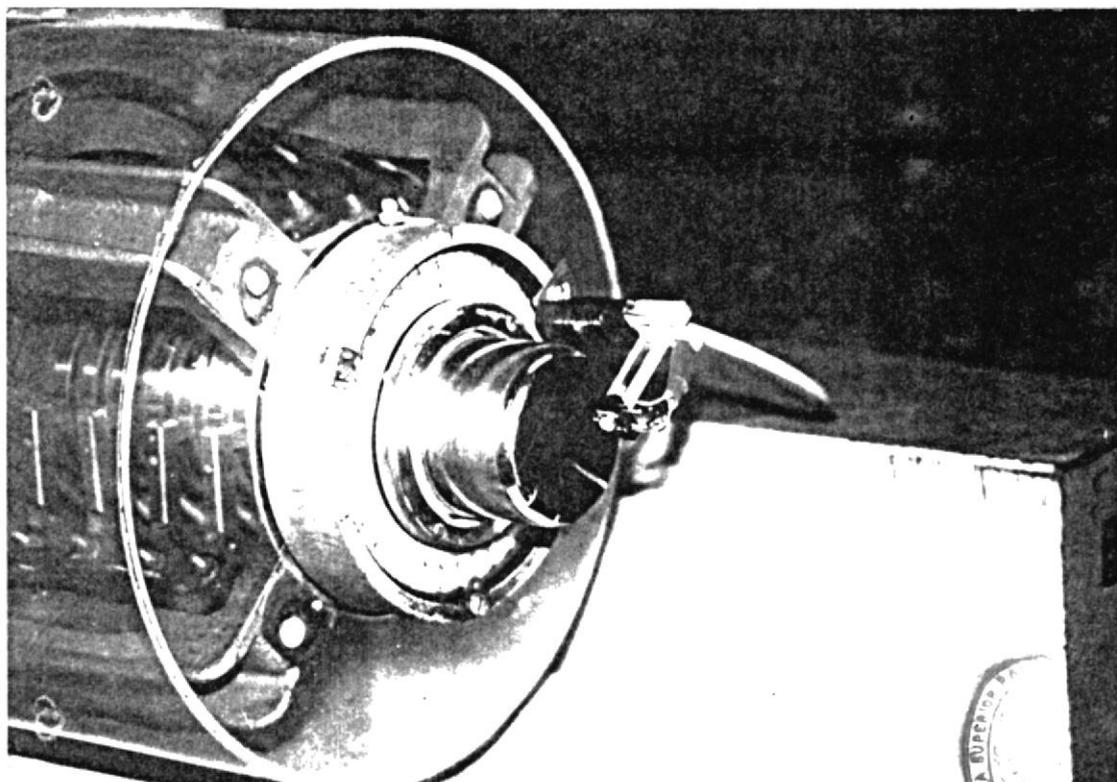


FIGURA 2.1 Montaje del medidor óptico Reflectivo

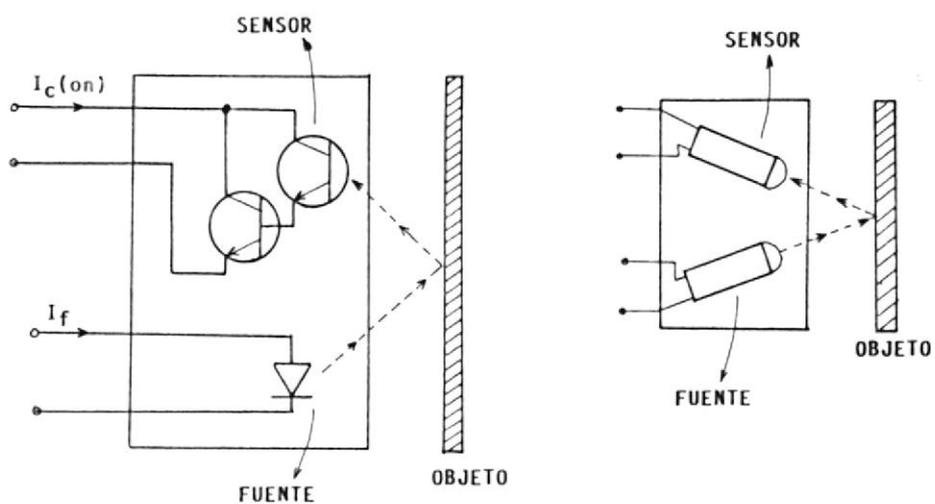


FIGURA 2.2 Esquema del circuito óptico OPB709

co reflectivo son filtrados y corregidos por un disparador de Schmitt, luego ingresan a un circuito integrado muy versátil, el cual es un oscilador controlado por voltaje que en unión de un contador binario de 14 estados forman un típico enganchador de lazo de fase o multiplicador de frecuencia.

En la figura 2.3 se aprecia el procesador de pulsos de entrada. El CD4046 tiene 2 circuitos internos separados, uno es el VCO que vá desde frecuencias de sub-audio hasta 1 MHz; el otro, es un detector de fase de doble salida. El rango de frecuencia central es dado por un capacitor conectado a los pines 6 y 7. La máxima frecuencia es dada por una resistencia conectada del pin 11 a tierra. La entrada de pulsos se hace en el pin 14, pero también hay otra entrada que recibe pulsos del circuito divisor para 80, la fase del VCO es siempre 0° con respecto a la frecuencia de entrada cuando esta logra el enganche de fase.

Para el adecuado funcionamiento del enganchador de lazo de fase es necesario añadir un filtro de lazo. Todo esto se hace con dos resistencias y un capacitor, así el filtro de

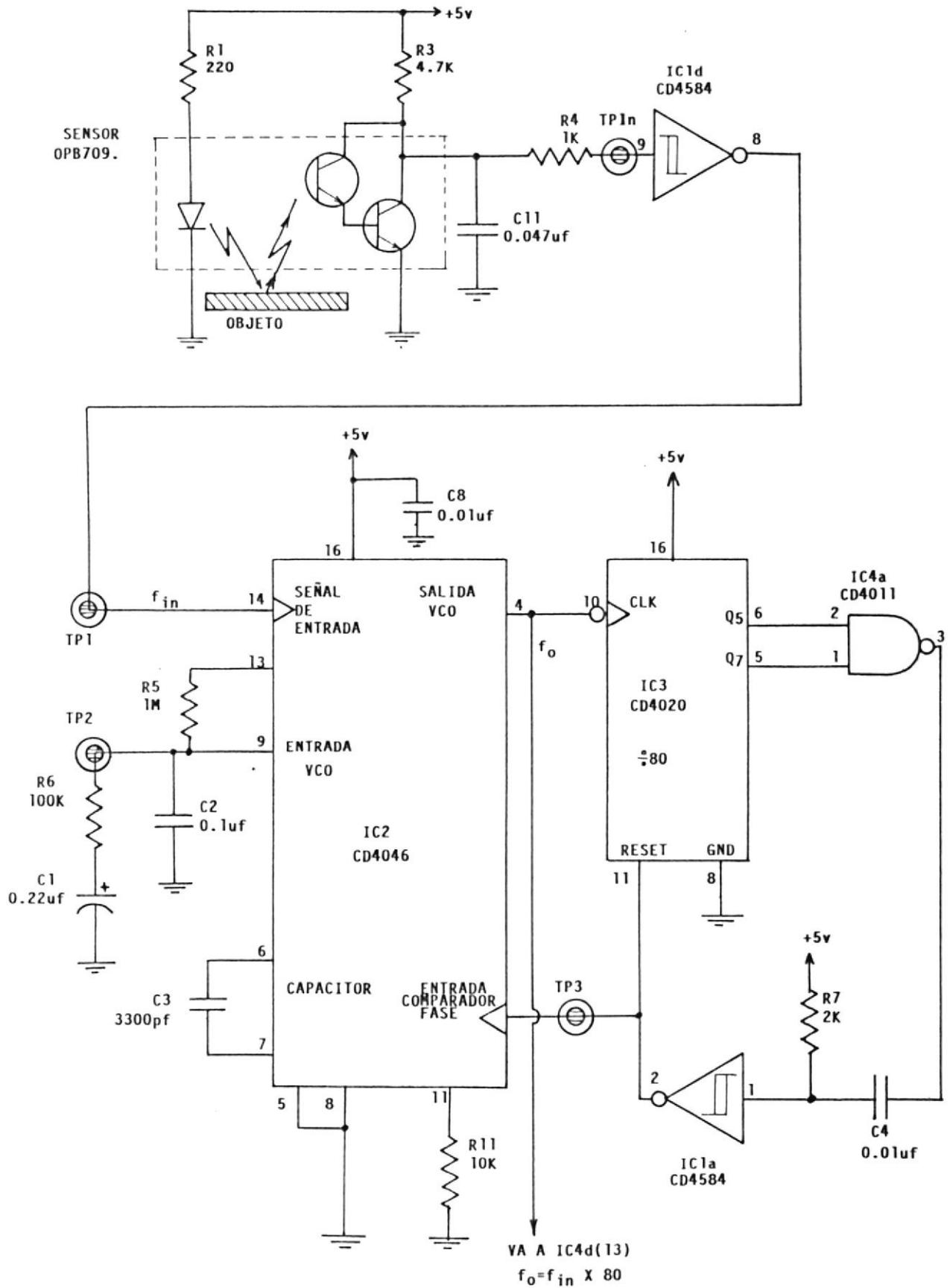


FIGURA 2.3 Circuito de entrada y Multiplicador de Pulsos

lazo es la parte más importante de un PLL. La figura 2.4 dá más detalles del diseño del filtro de lazo.

R5 y C1 seleccionan el tiempo de respuesta del lazo, así una constante de tiempo RC muy grande hace al lazo muy lento para detectar cambios rápidos de frecuencia y una constante de tiempo RC muy pequeña, no promedia suficientemente los ciclos en la entrada y produce cambios bruscos a la salida del VCO. El amortiguamiento del lazo es dado por la relación de R5 y R6. Valores pequeños de R6, hace que el lazo rebote demasiado o tal vez oscile y para valores de R6 muy grandes hace que el lazo se demore para reajustar a un nuevo valor de frecuencia de entrada.

Para el circuito divisor de 80, refiérase a la figura 2.5, en la que se puede apreciar que ingresa una frecuencia muy alta dada por la salida del VCO, luego se escogen las salidas Q5 y Q7 que tienen estado alto cuando el CD4020 cuenta 16 y 64 respectivamente, que al entrar a la puerta lógica NAND produce un pulso negativo, el mismo que es sentido por un circuito monoestable, cuyo tiempo esta dado por

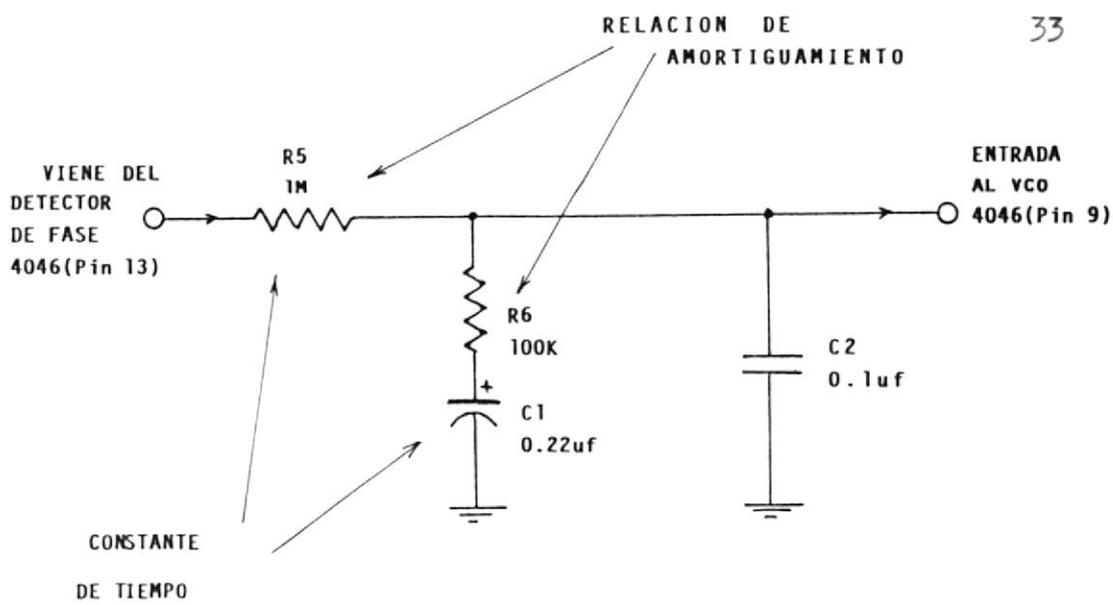


FIGURA 2.4 Lazo de Fase

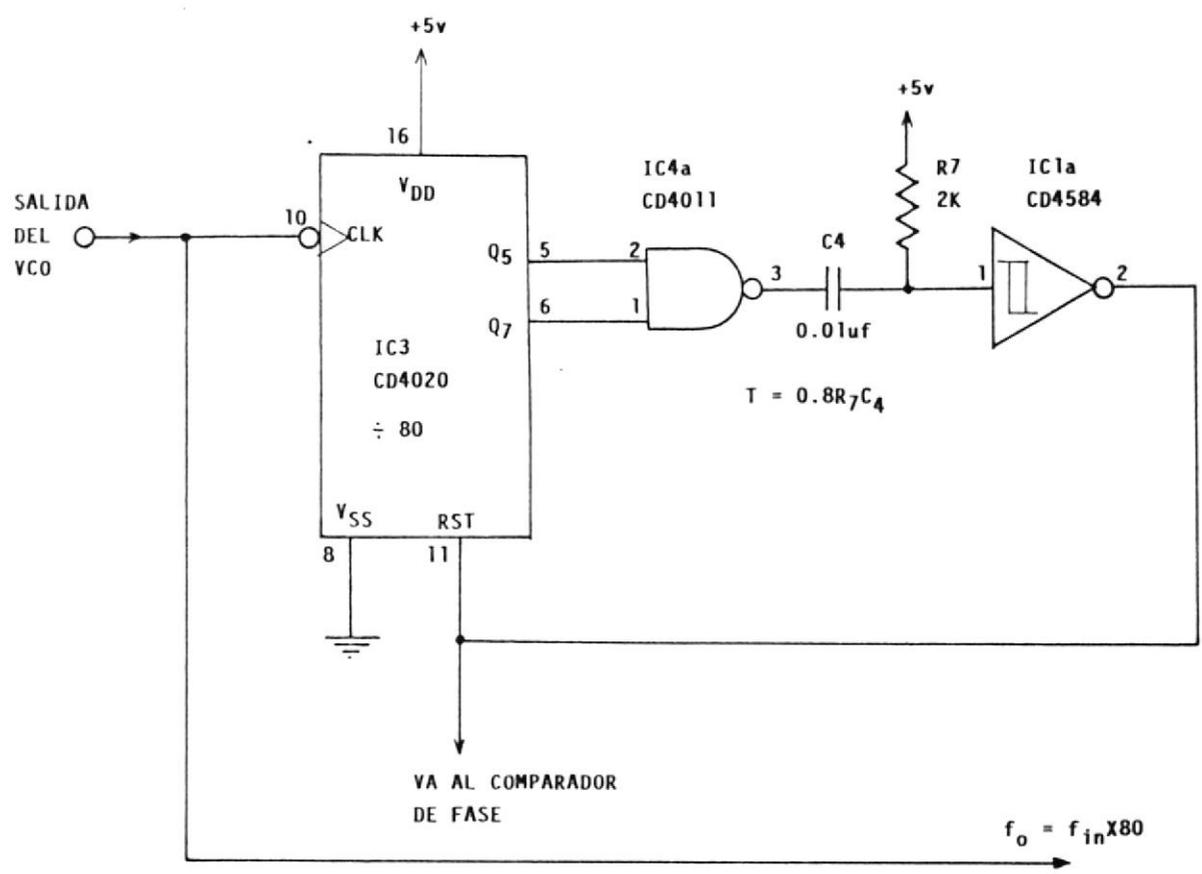


FIGURA 2.5 Circuito Divisor de 80

$T = 0.8R_7C_4$ este pulso positivo que sale del monoestable encera al 4020 y produce el pulso para enganchar la fase de lazo.

2.1.3 El circuito de Reloj

Este circuito usa un temporizador 555 que sirve para generar las señales de conteo, almacenamiento y borrado. Para proveer la señal de conteo, el temporizador es configurado como un multivibrador de barrido libre, usando R_a , R_b y C para dar una salida que es de estado alto por aproximadamente 1.2 seg. y estado bajo cercano a 50 mseg.

El tiempo para el conteo de estado alto esta dado por la siguiente fórmula:

$$t_H = 0.693(R_a + R_b)C$$

$$\text{Si } R_a = 1M\Omega + 1M\Omega + 330K\Omega = 2,330 M\Omega$$

$$R_b = 150K\Omega$$

$$C = 0.47\mu f + 0.01\mu f + 0.0047\mu f = 0.4847\mu f$$

$$\text{Entonces } t_H = 1.2 \text{ seg.}$$

Asímismo podemos calcular el tiempo para

la salida de la señal contaje cuando esta en estado bajo con la siguiente fórmula:

$$t_L = 0.693(Rb)C$$

reemplazando con los datos anteriores, tendremos:

$$t_L = 50.3 \text{ mseg.}$$

El sistema es calibrado usando un potenciómetro de $1M\Omega$ formando parte de lo que es R_a , logrando que la señal en estado alto sea lo suficientemente duradera como para lograr que los pulsos provenientes del VCO sean capturados en su mayoría y mostrados directamente en R.P.M.

En las figuras 2.6 a y b, se muestra la manera como se logró la formación de estas tres señales; además se aprecia un monoestable que está formado por un inversor (IC1e) el mismo que genera la señal almacenamiento. Este monoestable es disparado por el flanco positivo de la señal contaje negada y tiene una duración de $80 \mu\text{seg.}$, la misma que sirve para el pulso de almacenamiento y mantener la señal de borrado en estado alto.

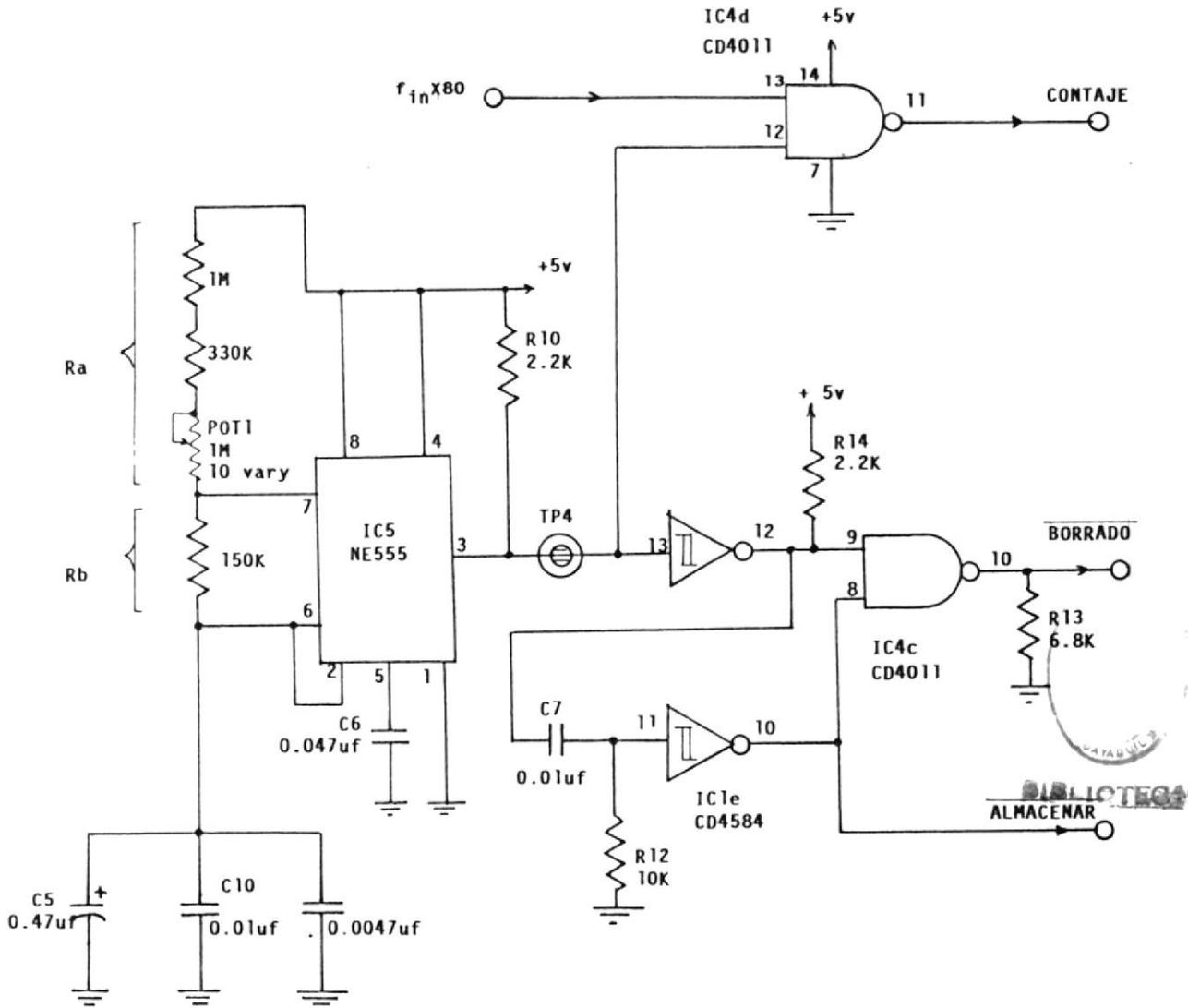


FIGURA 2.6a Circuito de Reloj Completo

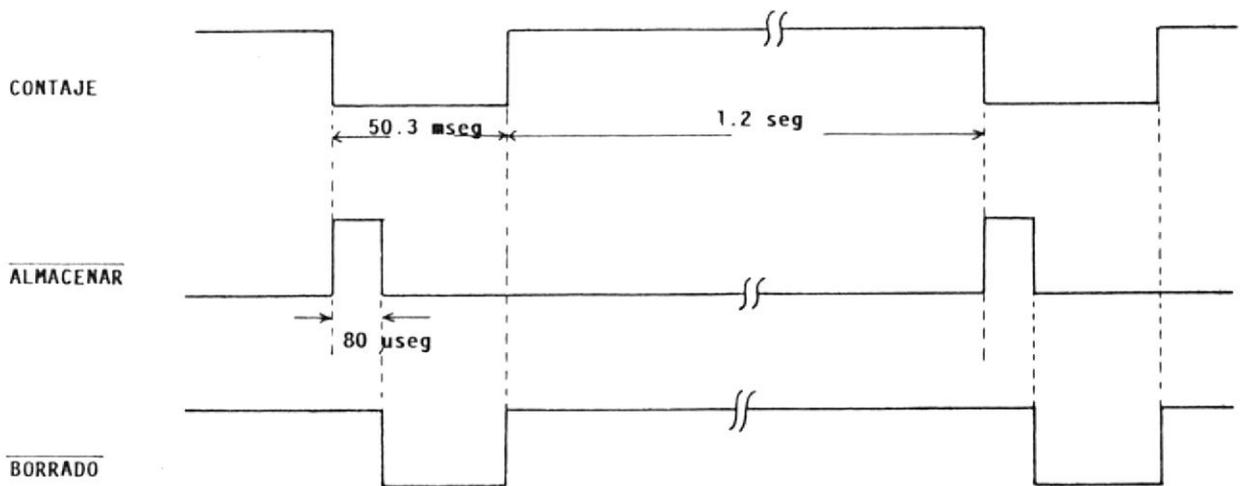


FIGURA 2.6b Formas de ondas que se generan en el Circuito Anterior

Cuando el monoestable genera un pulso la señal de almacenamiento es alta; entonces la señal de borrado baja y encera al contador para su próxima medida. Es importante hacer que la señal de contaje en estado bajo sea al menos dos veces más duradera que el ancho del pulso del monoestable.

2.1.4 Procesador final y despliegue visual

El procesamiento final de las tres señales antes mencionadas se lleva a cabo mediante un solo circuito integrado en unión de 4 transistores usados como manejadores de corriente, cada uno de los cuales envía corriente a un dígito por separado. Este circuito integrado es el 7217IJI y es un contador de 4 dígitos que los maneja siguiendo la técnica de multiplexación, para hacer esto los dígitos son rápidamente barridos, tan rápido que el promedio de visualidad humana no lo percibe y parece que estos dígitos estuvieran siempre encendidos. El promedio de barrido es típicamente del rango de 100 Hz hacia arriba.

La figura 2.7 muestra el circuito que proporciona la indicación numérica digital de la

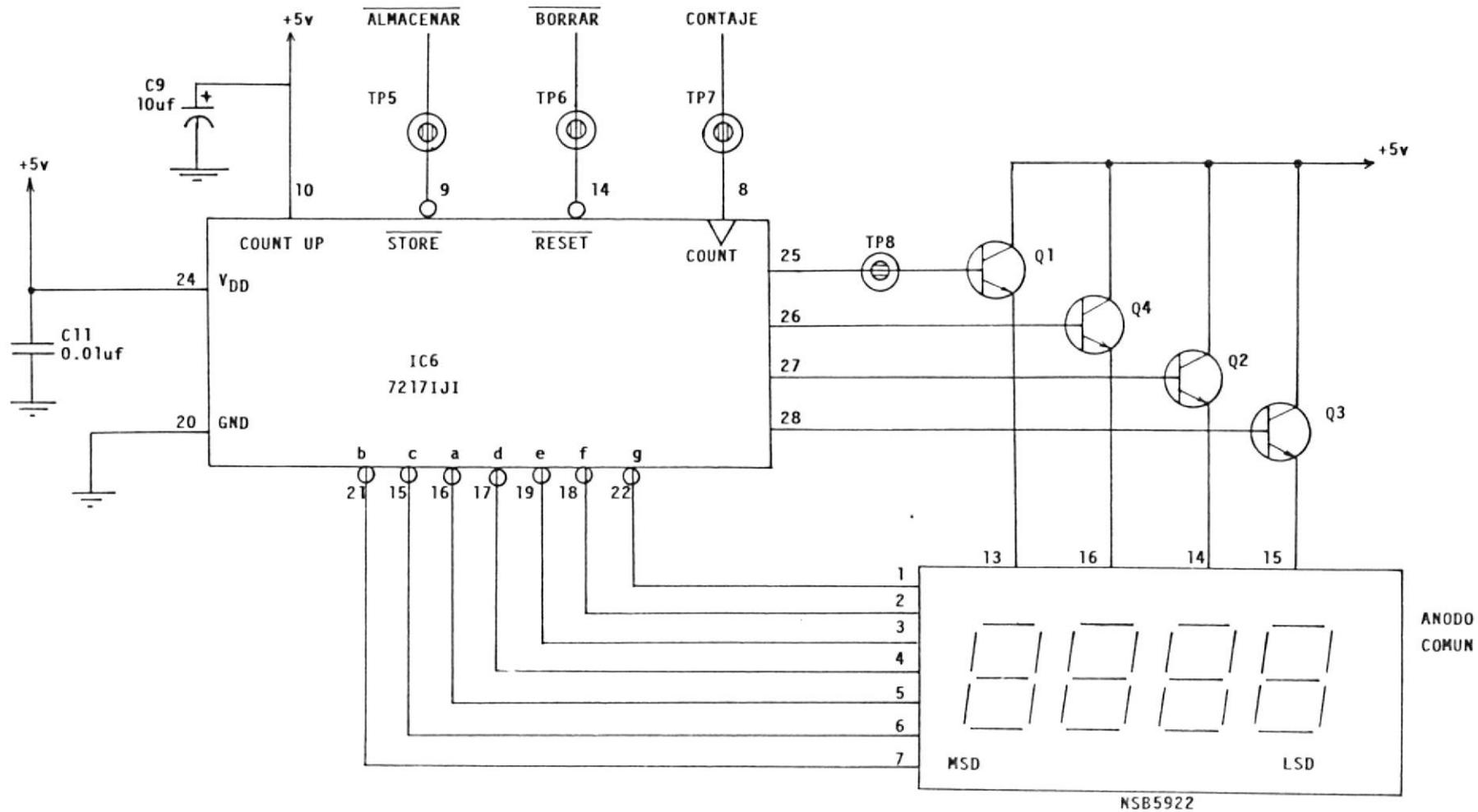


FIGURA 2.7 Despliegue visual de la Velocidad en R.P.M.

velocidad, este tipo de circuito integrado esta diseñado para manejar directamente 4 dígitos de ánodo común y provee una ventaja muy importante que es la de blanquear los ceros delanteros dando mejor apariencia, minimizando errores y reduciendo potencia en la fuente de poder.

2.2 Sistema medidor y controlador de Torque

El sistema medidor de torque consiste esencialmente en un registrador de fuerzas que adaptado apropiadamente a la máquina HAMPDEM y aprovechando una particularidad del dinamómetro cual es: El torque es directamente proporcional a su desplazamiento angular; se logra dar lecturas de torque. El muestreo de fuerza es hecho con la deflexión de una placa medidora que tiene 2 galgas extensométricas pegadas una a cada lado de la misma. La señal de fuerza antes mencionada es entonces realimentada a un circuito que controla el campo del generador (dinamómetro) y mantiene el torque constante.

2.2.1 Análisis del Circuito puente usado

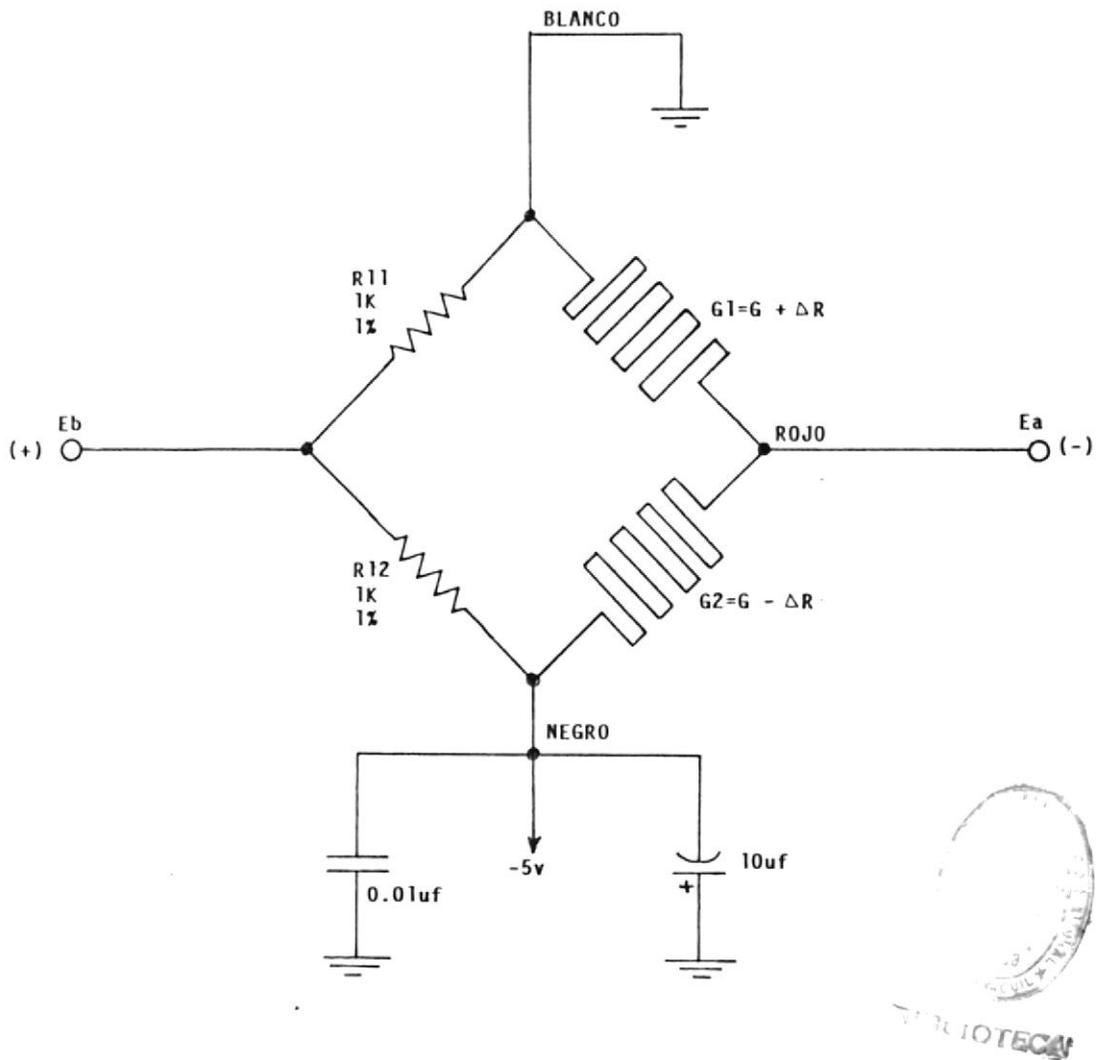
Para poder medir la variación de resistencia de cada galga extensométrica, se hizo necesario el uso de un circuito puente que diera

variaciones a tan pequeñas desviaciones. El circuito de la figura 2.8 muestra 2 galgas extensométricas y 2 resistencias de película metálica al 1% que montadas en tal disposición en el puente de Wheatstone, se logra obtener un equilibrio del mismo cuando se encuentre en reposo el sistema, así, cuando se doble la viga, los cambios reales que sufre cada transductor serán muy pequeños, de tal manera que su resistencia sufrirá un cambio de aproximadamente 0.15 ohmios, situación que provoca variaciones del orden de microvoltios en los terminales de salidas del puente usado.

G1 y G2 son las galgas extensométricas que tienen un valor nominal de 120 ohmios, pero dada la forma en que están colocadas en la placa medidora, G1 provoca un incremento positivo respecto del valor en reposo en tanto G2 registra decrementos para la misma dirección de deflexión, efectos que son aprovechados en forma simultánea por un circuito amplificador de instrumentación.

2.2.2 Amplificación y filtrado de la señal proveniente del puente de galgas extensométricas

Una de las aplicaciones más útiles de un



G_1, G_2 : GALGAS EXTENSOMETRICAS

$G_1 = G_2 = 120 \text{ Ohmios}$

ΔR = VARIACION DIFERENCIAL DE RESISTENCIA

$$E_b - E_a = -5v \left\{ \frac{G_1 \cdot R_{12} - G_2 \cdot R_{11}}{(R_{11} + R_{12})(G_1 + G_2)} \right\}$$

FIGURA 2.8 Puente de Wheatstone usado

amplificador operacional es la configuración de amplificación a una señal D.C, asimismo, señales de baja frecuencia que se reciben de un transductor, se las amplifica y luego se las envía a través de un cable, pero puede darse el caso que la señal deseada tenga una amplitud de unos pocos microvoltios, mientras que el ruido de modo común puede ser de algunos milivoltios, tales factores son críticos en la exactitud de los resultados.

Para situaciones donde se requiera alta impedancia y bajo voltaje de decalaje en la entrada, el diagrama de la figura 2.9 puede ser usado. Este circuito consta de 2 etapas: la primera consiste de IC1a y IC1b y la segunda está dada por la configuración diferencial de IC1c.

IC1a y IC1b constituye un preamplificador de acoplamiento cruzado con entradas y salidas diferenciales. Si IC1a y IC1b son considerados por separado se los reconocerá como seguidores de voltajes modificados, con resistencias de realimentación R1-R2 y R5-R2 respectivamente. Los voltajes diferenciales en la entrada son amplificados por un factor de $(R2 + 2R1)/R2$, de

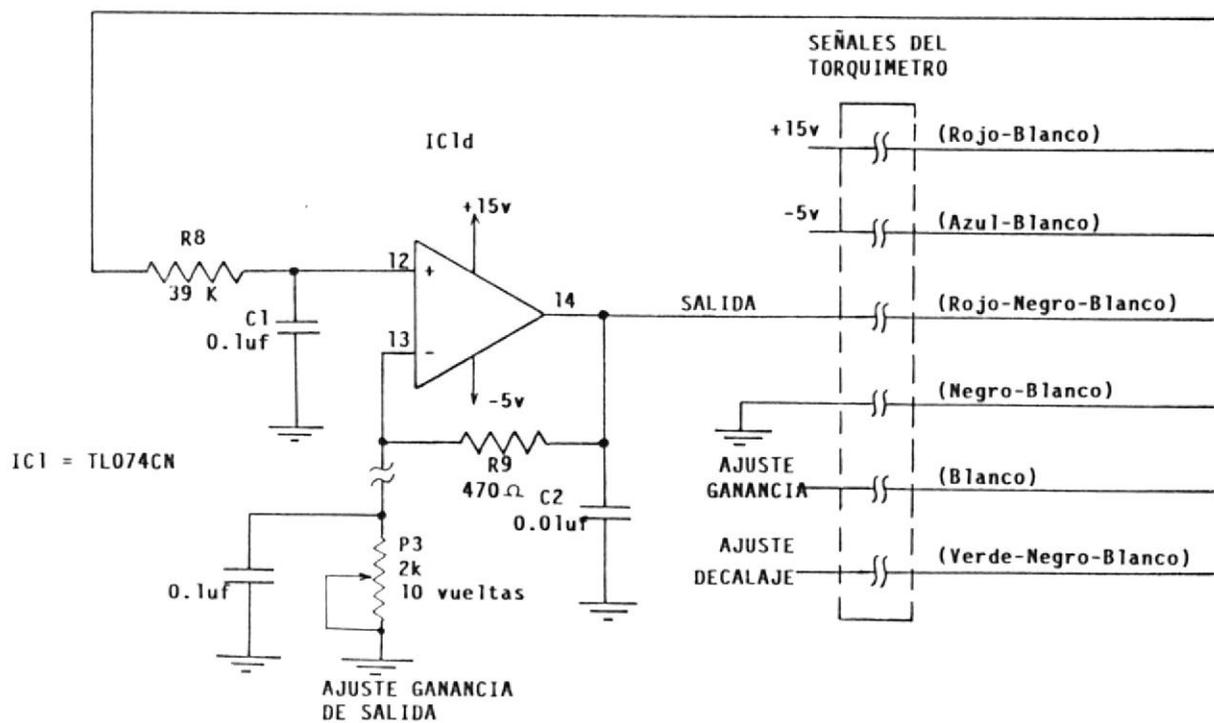
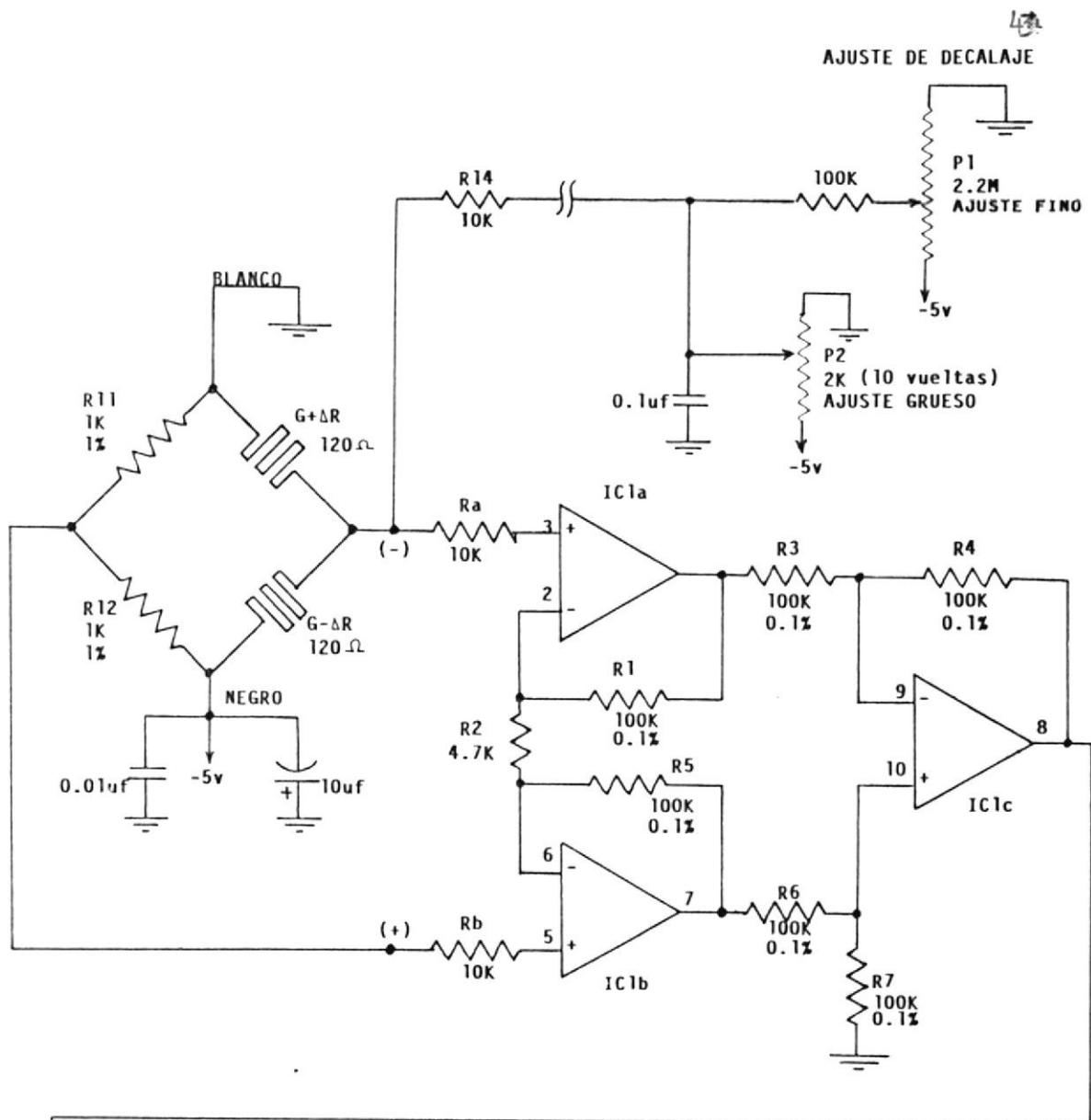


FIGURA 2.9 Circuito Total Amplificador de la Señal de las galgas Extensométricas

los cuales se derivan algunas ventajas:

Primero, uno de estos amplificadores operacionales (op-amp) provee un inmediato aumento en la relación señal/ruido, dado que la señal diferencial es incrementada sobre la componente del ruido de modo común por la relación de ganancia diferencial de cada op-amp.

Segundo, la ganancia dada por las resistencias R1, R2 y R5 no afectan la relación de rechazo de modo común, pero cualquier desequilibrio en R1 y R5 dará como resultado un desequilibrio en la ganancia diferencial entre las dos salidas; una condición menos seria que la pérdida de la relación de rechazo de modo común.

Para lograr el ajuste de la Fig. 2.9, se debe hacer lo siguiente:

Primero, colocamos el registrador de fuerzas (torquímetro) en la posición indicada en la Fig. 2.10a, es decir, se lo acopla a la máquina HAMPDEM y debe tenerse presente que el contrapeso de la misma esté en su posición correcta. Luego con la mano se verifica si el resorte lo-

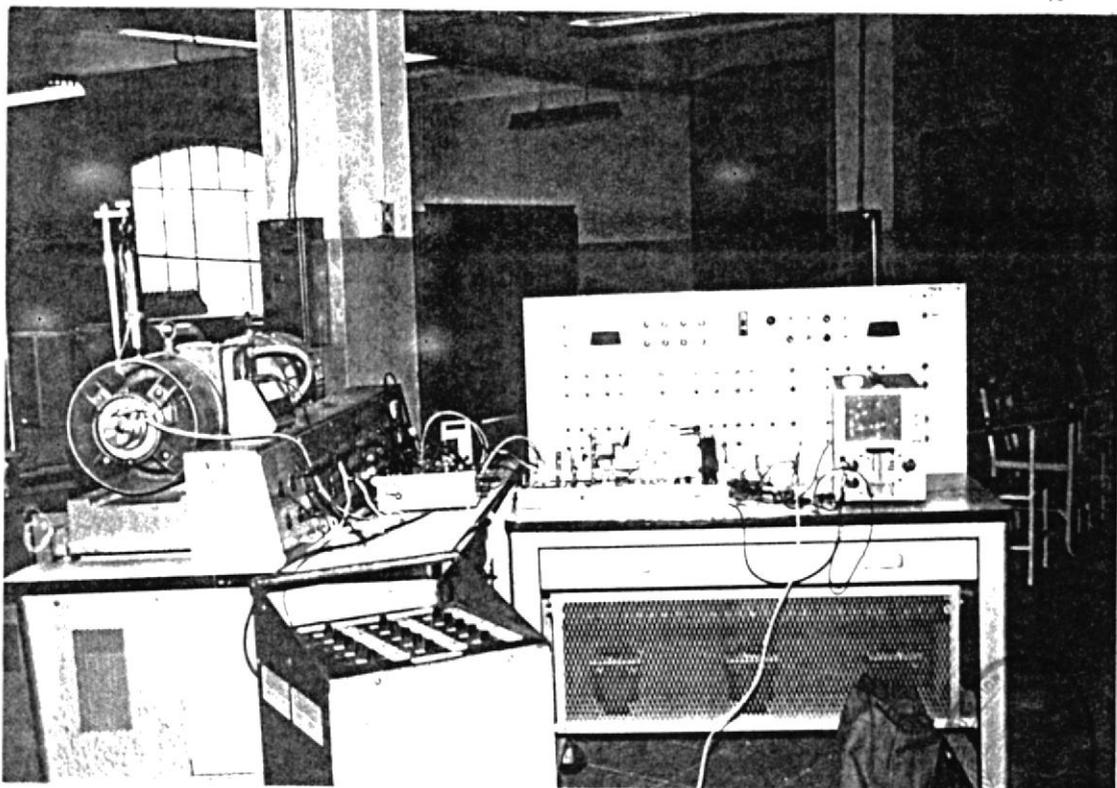


FIGURA 2.10a Torquímetro acoplado a la Máquina Hampdem

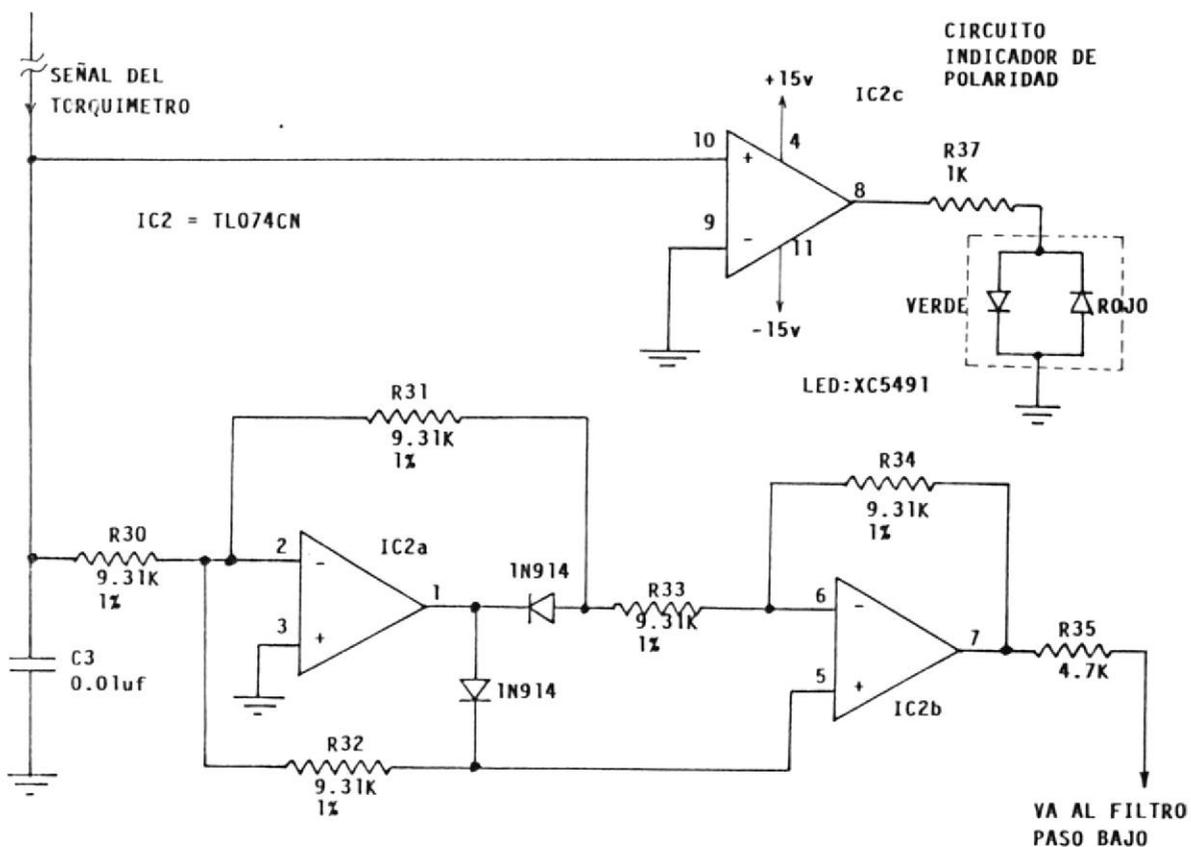


FIGURA 2.10b Rectificador de Onda Completa e Indicador de Polaridad

gra restaurarse cada vez que se hala hacia abajo.

Una vez hecho lo anterior, se deja en reposo el instrumento y se energiza el sistema, se espera alrededor de 30 segundos hasta lograr la estabilidad térmica de las galgas extensométricas y se ajusta el decalaje con P2 que es un potenciómetro de 10 vueltas; con éste se hace un ajuste grueso, luego con P1 se logra un ajuste fino de tal manera que la salida sea nula.

Para hacer que el instrumento mida directamente en libras se debe colocar pesos fijos y conocidos junto con el contrapeso (que tiene 7 libras) y ajustar con P3 que es un potenciómetro de 10 vueltas hasta lograr el valor deseado. Es de notarse que cuando está el contrapeso solo, el indicador debe marcar cero libras.

P2 y P3 están localizados dentro del módulo general electrónico y se los aprecia cuando se abre su tapa en la parte superior. P1 se encuentra externamente en la parte superior izquierda y puede ser manipulado, pero con un destornillador apropiado. Hay un indicador de

polaridad y es muy importante en la calibración, se trata de un diodo emisor de luz (XC5491) que emite una luz roja cuando está polarizado inversamente y de una luz verde cuando se lo polariza directamente, de este modo este diodo luminoso estará en verde o entre rojo y verde cuando esté midiendo cero libras.

Como el circuito de la Fig. 2.9 está localizado en el interior del torquímetro es importante ahora hacer viajar la señal por un cable blindado para lograr minimizar las interferencias producidas por los campos magnéticos que induce el conjunto HAMPDEM. Así, esta señal viaja por un cable de 2 metros e ingresa a un rectificador de onda completa compuesto por IC2a y IC2b, tal como se muestra en la Fig. 2.10b, luego se la hace pasar por un filtro paso bajo cuya frecuencia de corte es aproximadamente 2.2 Hz, este filtro es hecho con el circuito integrado LM310N que es un seguidor de voltaje y tiene una gran relación de rechazo de modo común y bajo nivel de voltaje de decalaje en la salida, como se muestra en la Fig. 2.11.

La frecuencia de corte de este filtro de

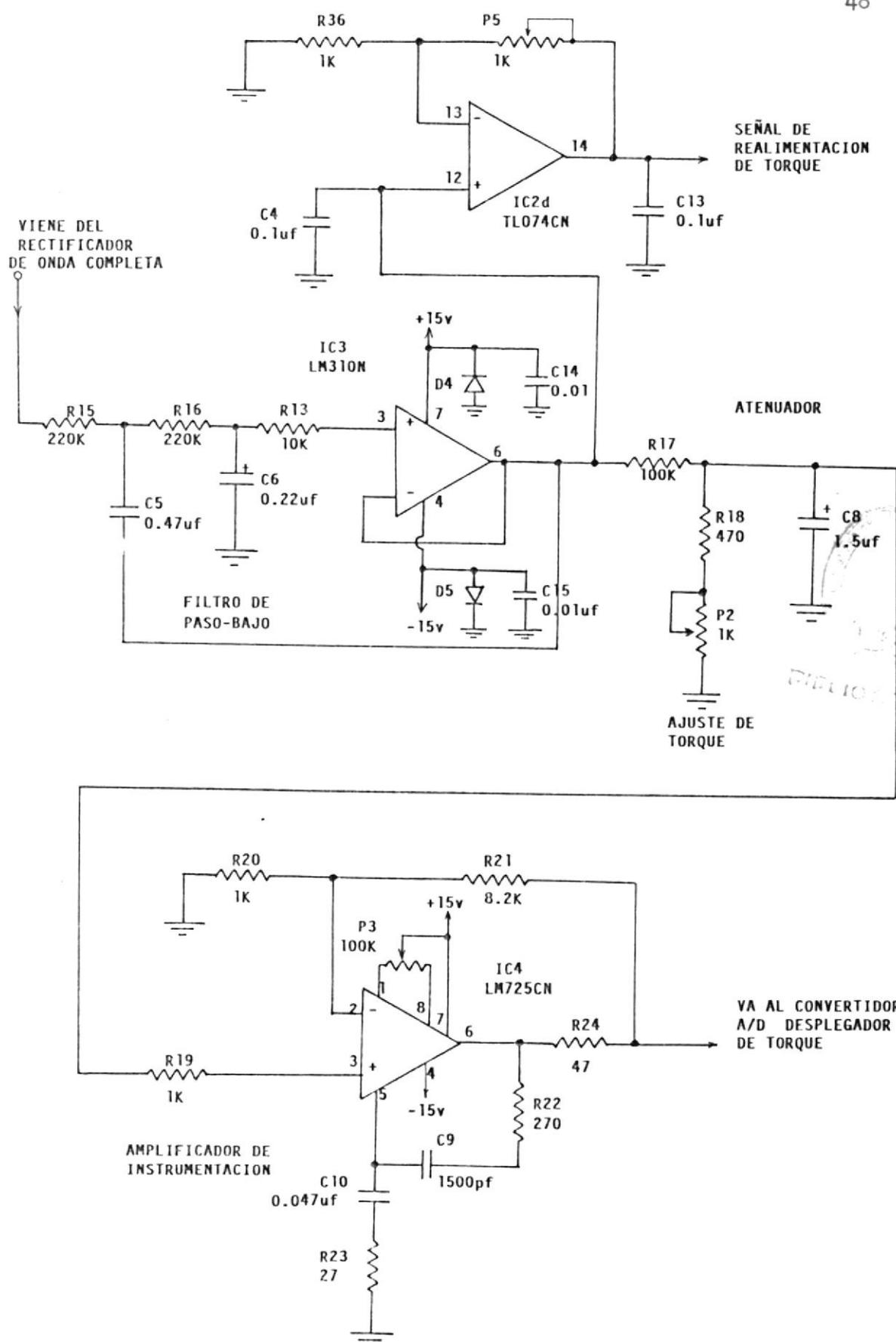


FIGURA 2.11 Filtración y Amplificación de la Señal de Torque

paso bajo se la calcula con la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C5 \cdot C6}}$$

En la fórmula anterior se escoge generalmente $C5 = 2C6$. Una vez que la señal pasa por el filtro es atenuada y filtrada para ingresar luego a un amplificador de instrumentación que tiene una ganancia de lazo abierto de 10 y permite ajustar todos los voltajes de decalaje producidos por los circuitos anteriores, esto se lo logra con P3 que está localizado internamente en la parte superior del módulo general electrónico, debajo de la tarjeta de medición de torque.

2.2.3 Descripción del Sistema de Despliegue Visual

El despliegue visual es llevado a cabo con la ayuda de un convertidor A/D integrador de doble pendiente (CA3162E) cuyo diagrama de bloques se lo muestra en la Fig. 2.12. Las partes esenciales del convertidor son el integrador, el comparador de cruce por cero, el voltaje de referencia y la lógica digital. Cuando el convertidor recibe el pulso de puesta en cero,

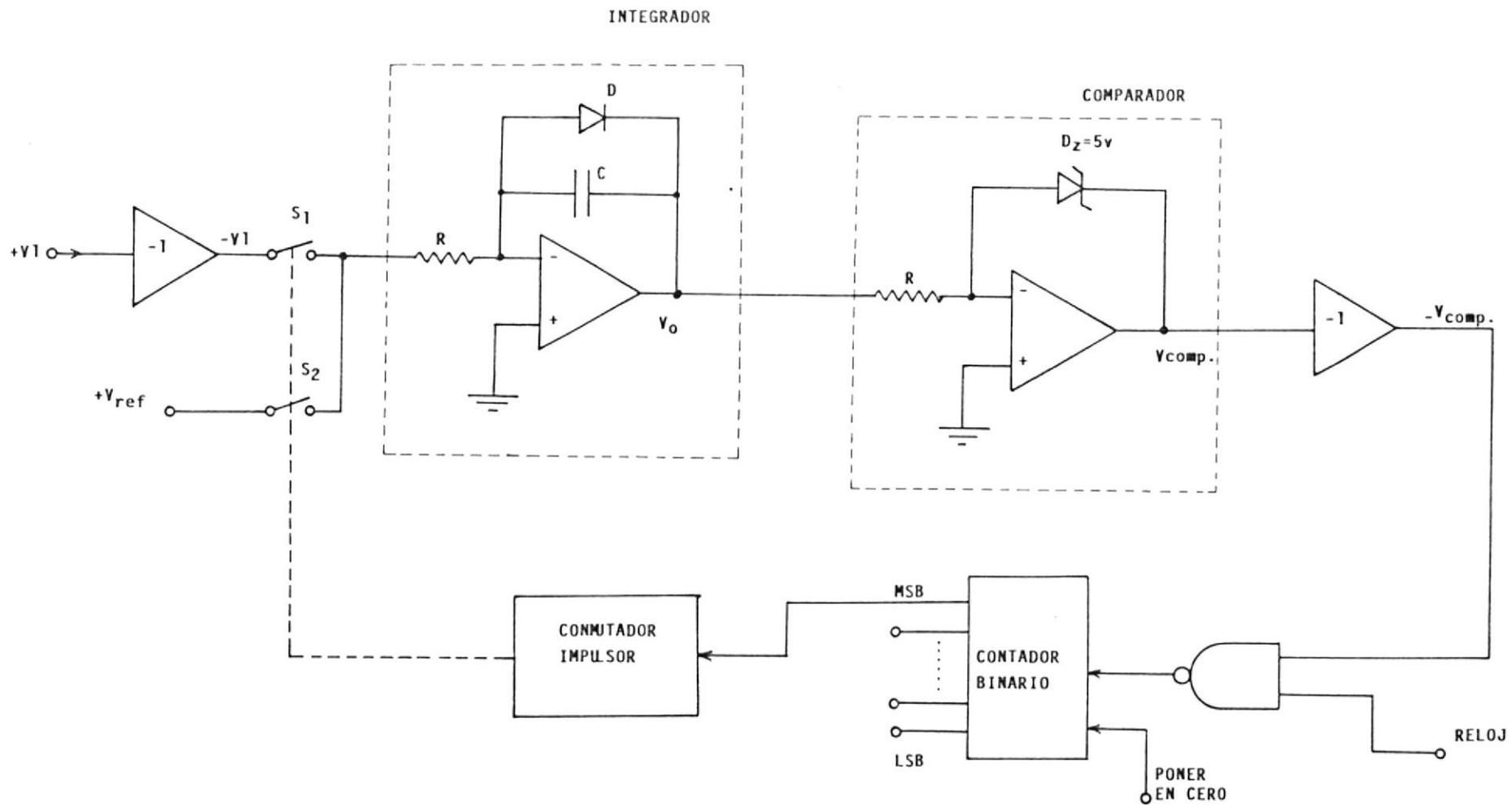


FIGURA 2.12 Diagrama de Bloques del Convertidor A/D de doble pendiente de Integración

los flipflops del contador binario se ponen en cero. Una entrada cero en el circuito impulsor del conmutador abre S_2 y cierra S_1 , conectando la entrada al integrador. Luego que la salida del integrador pasa por cero, la salida del comparador baja, permitiendo que los pulsos del reloj pasen por la puerta NAND al contador. Durante el intervalo de tiempo T_1 , el contador cuenta hasta 0111...1, y en el siguiente pulso del reloj el contador conmutará a 1000...0. El 1 en el último flipflop hace que el conmutador impulse a abrir S_1 y a cerrar S_2 .

Esto conecta el voltaje de referencia que hace que el integrador vaya hacia abajo. Cuando su salida cruza por cero, la salida del comparador es alta inhibiendo los pulsos que van del reloj al conmutador. Esto completa la conversión y la salida digital es ahora la esperada.

Las ecuaciones aplicables se aprecian junto con los diagramas de tiempo en la Fig. 2.13. De esta manera el contador mide en realidad el intervalo T_2 que es proporcional a V_1 . El voltaje V_1 se supone constante durante el intervalo de medida. Si V_1 varía, la salida digital representa su valor promedio en el in-

$$dV_{o1} = - \frac{1}{RC} \int_0^{T1} V_1 dt = - \frac{V_1 T1}{RC}, \quad V_1 < 0$$

$$dV_{o2} = - \frac{1}{RC} \int_{T1}^{T2} \frac{V}{r} dt = - \frac{V T2}{RC r}$$

$$dV_{o1} = dV_{o2}$$

$$- \frac{V_1 T1}{RC} = - \frac{V_r T2}{RC}$$

$$\text{Por lo tanto, } T2 = \frac{|V_1| T1}{V_r}$$

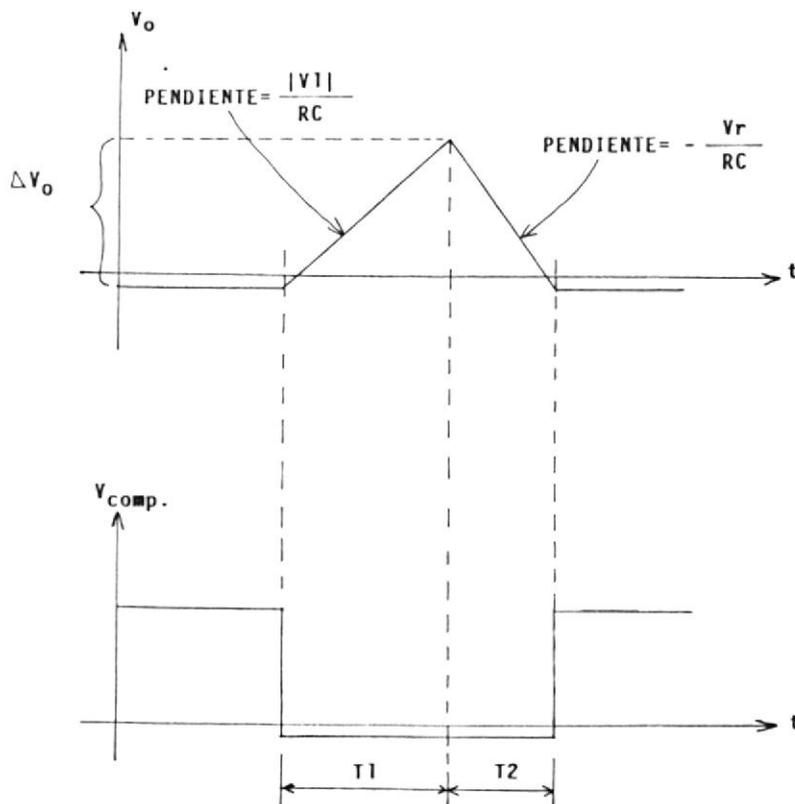


Figura 2.13 Ecuaciones aplicables y diagramas de tiempo de un integrador de doble rampa.

tervalo T_1 . Este tipo de convertidor tiene la ventaja de que las tolerancias de R y C no afectan su precisión. El circuito completo usado para el despliegue visual del torque se aprecia en la Fig. 2.14.

2.2.4 Análisis y descripción del circuito de Control de Torque

Al variar la velocidad en el motor, lo hace también en forma proporcional el voltaje de salida V_g en el generador (dinamómetro), siempre y cuando se mantenga constante el voltaje en el campo. El torque medio en el motor se puede mantener constante, si se maneja en forma controlada la corriente en el campo del generador. En forma simplificada se aprecia en la Fig. 2.15 la forma como se varía la corriente de campo del generador.

Como el valor del tiempo relativo de conducción δ del tiristor vale: $\delta = I_f R_f / V_f$ para un valor determinado de R (carga fija), δ es directamente proporcional a V_g e inversamente proporcional a la velocidad del motor tal como se describe en las siguientes ecuaciones de control de campo:

AJUSTE CERO
CONVERTIDOR A/D

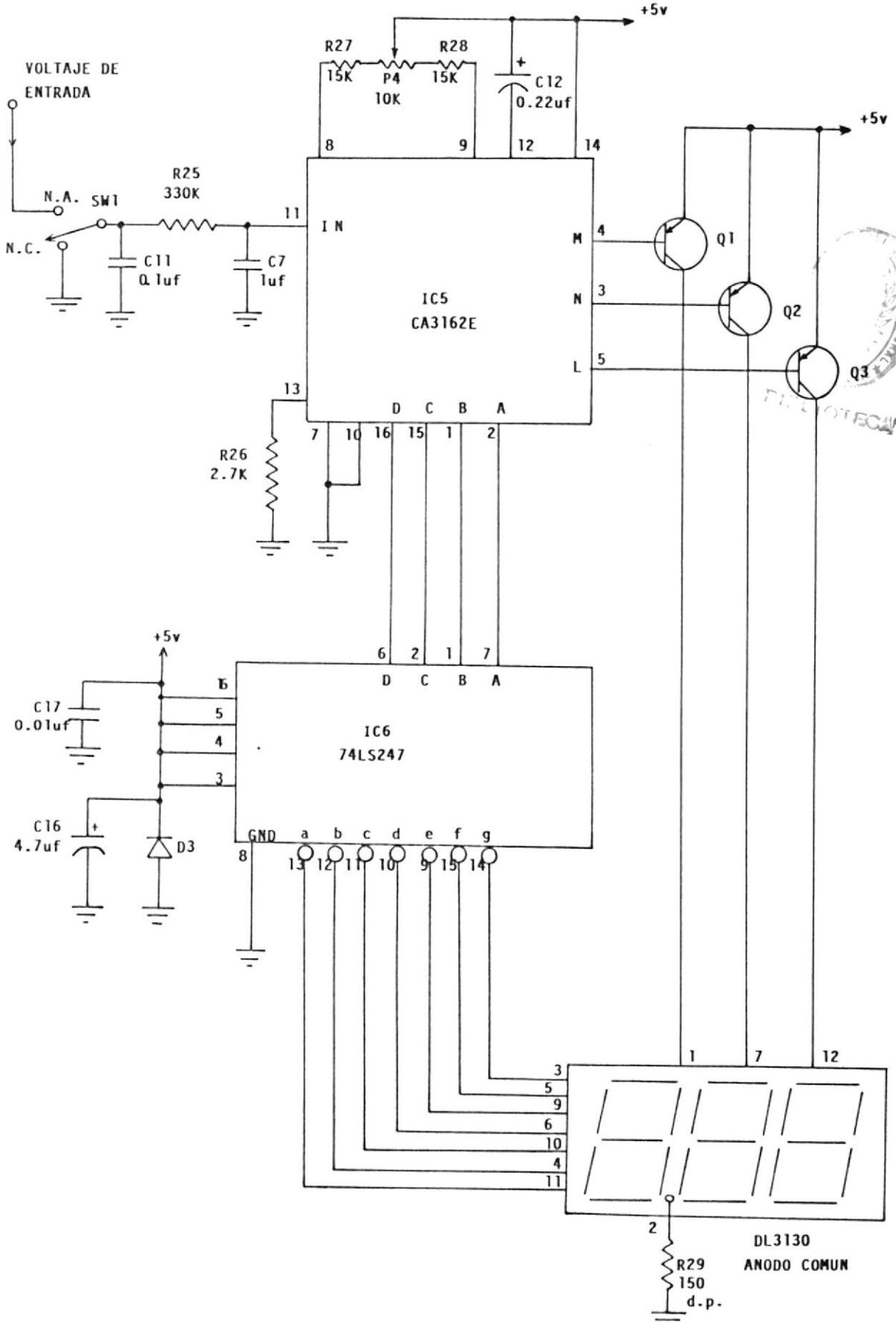


FIGURA 2.14 Diagrama del Despliegue Visual de Torque

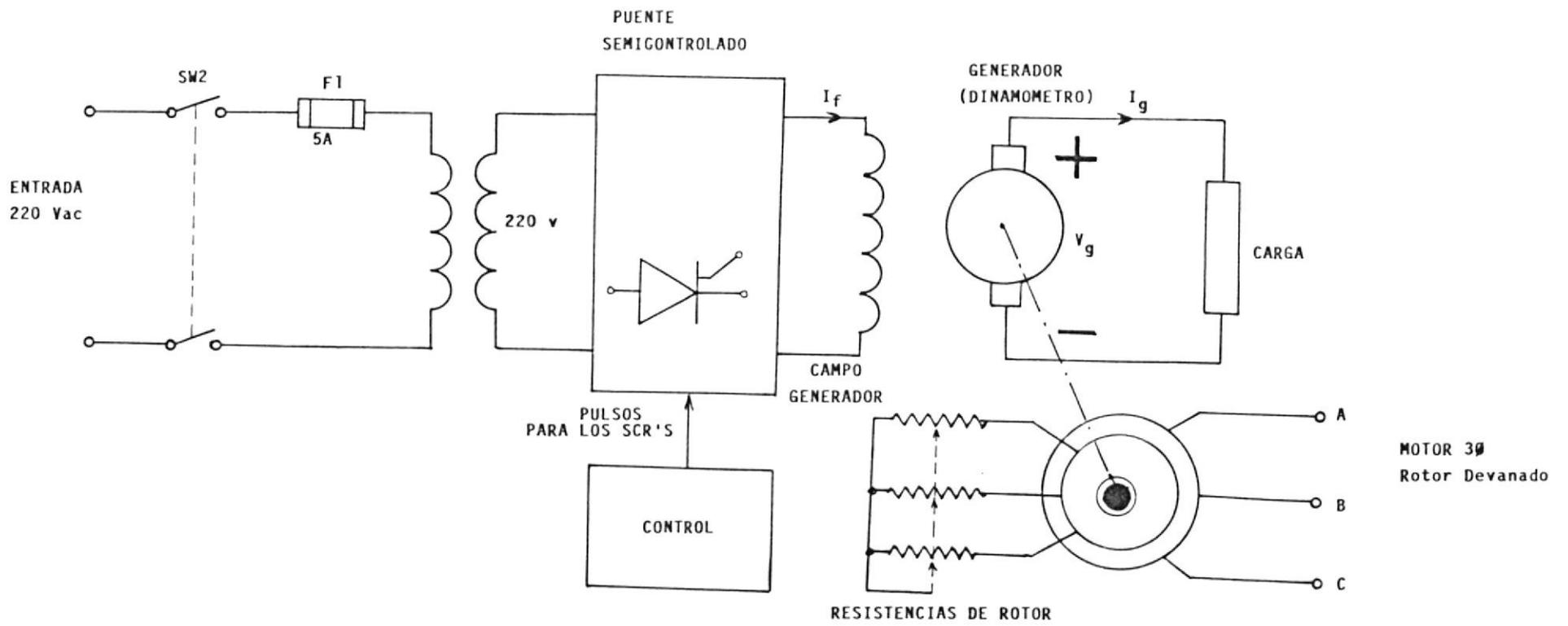


FIGURA 2.15 Esquema general para el Control de Campo del Generador

$$\delta V_f = I_f R_f$$

$$I_f = \frac{\delta V_f}{R_f} \quad \text{Ecu. (1)}$$

En un generador: $V_g = K_g \cdot \Phi_g \cdot W_g = I_g R$

En el control de campo: $\Phi_g = K \cdot I_f$

Entonces: $V_g = K_g \cdot K I_f \cdot W_g = I_g R \quad \text{Ecu. (2)}$

Por último reemplazando (1) en (2), tendremos:

$$V_g = K_g \cdot K \frac{\delta V_f}{R_f} \cdot W_g \quad \text{Ecu. (3)}$$

Si hacemos $\frac{K_g K}{R_f} = K_t$

$$V_g = K_t \cdot V_f \cdot \delta W_g \quad \text{Ecu. (4)}$$

Para lograr la demostración real de la ecuación 4, se realizó un circuito controlador el mismo que regula el ángulo de disparo de los tiristores de la siguiente manera:

Con el potenciómetro de 10 vueltas P2, se selecciona un valor de torque deseado, este valor se suma a la señal de realimentación en el amplificador formado por IC4, la salida de este circuito entra en un punto de suma junto con la señal de realimentación de voltaje e ingresa a la entrada no inversora del Controlador Proporcional-Integral (P-I) formado por IC1. Se hace una realimentación de corriente de campo I_f a través de una resistencia (Shunt), la misma que ingresa también al controlador P-I; el error de éste es luego amplificado en el orden de 56.

El sincronismo con la línea se realiza con un rectificador de onda completa que se compara con un umbral dado por las resistencias R16 y la suma de R17 y R18, la salida de este comparador carga un capacitor C7, el mismo que genera una rampa en su descarga a través de R21, esta rampa se compara en IC2c con el error del controlador P-I ya amplificado. La salida de este último comparador genera un pulso positivo en IC3a,



habilitándolo, y que es un generador de pulsos con frecuencia de oscilación cercana a 6.000 Hz. El ancho del pulso de salida de IC2c determina el valor del ángulo de conducción para los tiristores.

En definitiva, luego que los pulsos de disparos son generados por IC3a y modulados por el ancho de pulso de la salida de IC2c, se los amplifica con la configuración darlington dada por Q1 y Q2. Estos pulsos se los aísla con un transformador de pulsos de doble secundario la magnitud de los pulsos es dada por la fuente +VAR, la misma que se colocó en +4 voltios. Los circuitos de la Fig. 2.16a, 2.16b y 2.16c conforman el circuito controlador de campo.

Además, se construyó un circuito auxiliar que muestra cero en el medidor de torque cuando el motor no está en movimiento. Se trata de un convertidor de frecuencia a voltaje formado por el circuito IC3b configurado como un monoestable, este circuito habilita un micro-relé cuando la velocidad es mayor de 500 R.P.M., visualmente se sabe si el micro-relé está energizado si se enciende un diodo emisor de luz pequeño. Ver Fig. 2.17.

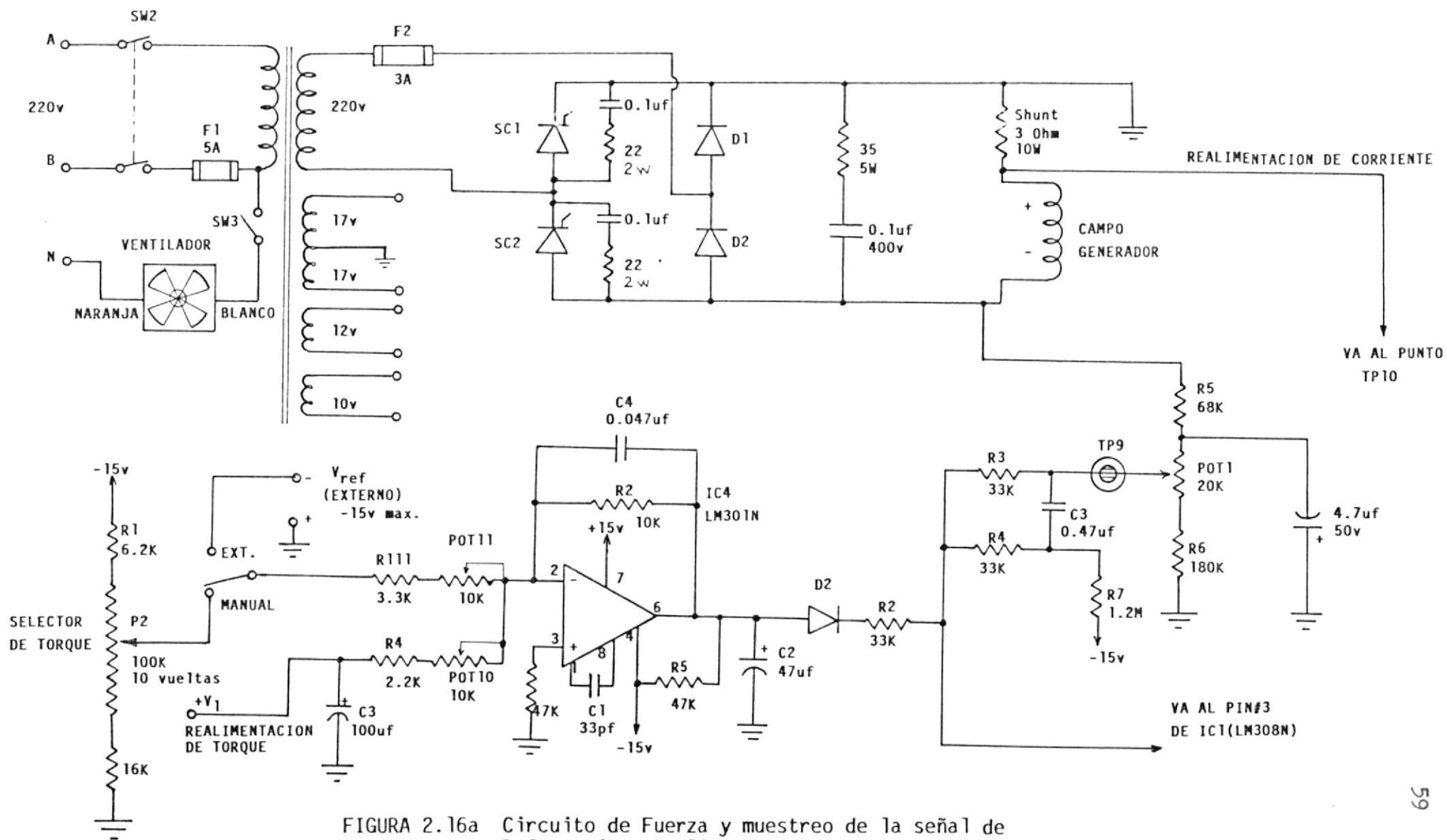


FIGURA 2.16a Circuito de Fuerza y muestreo de la señal de Referencia y Realimentación de Torque

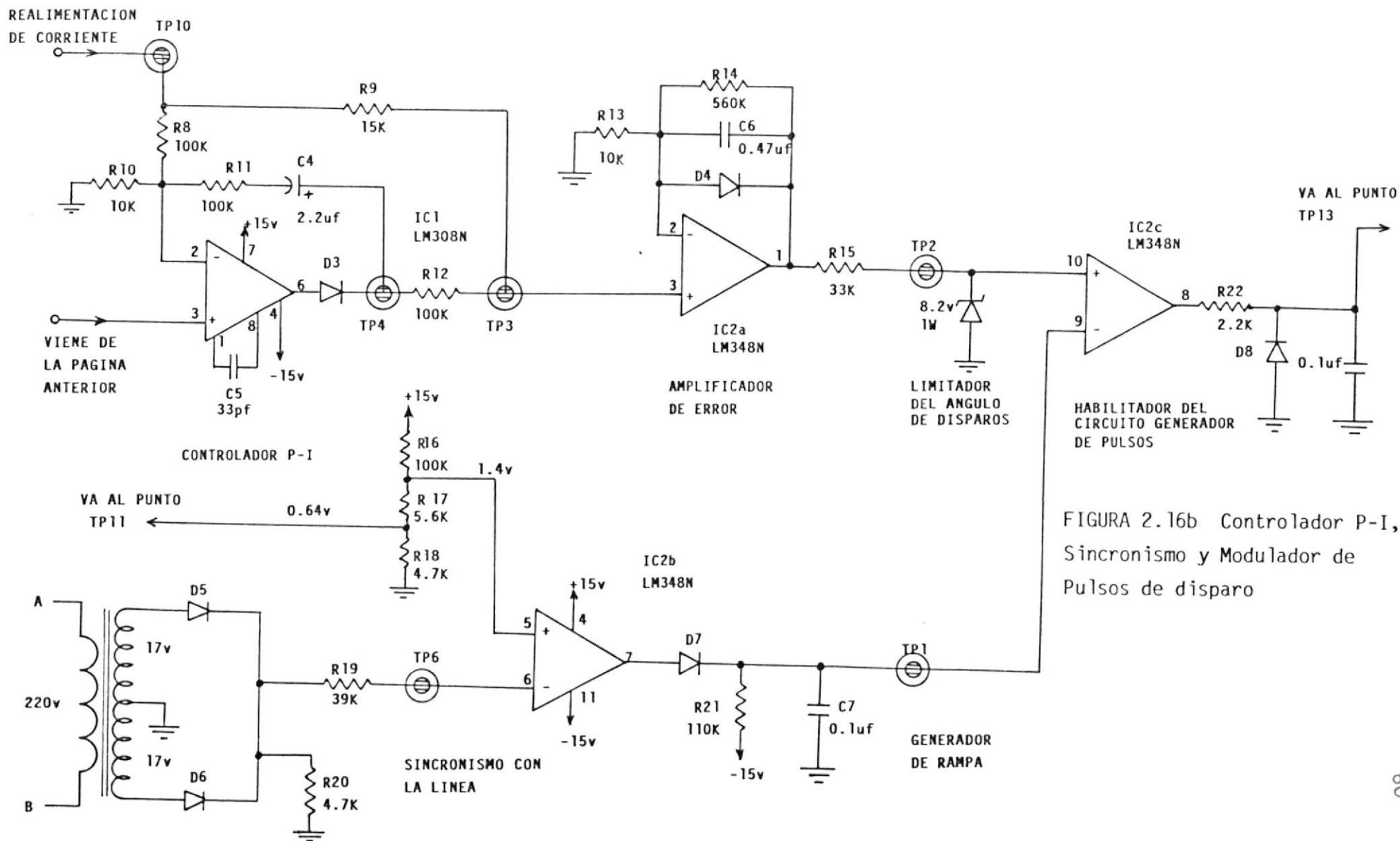


FIGURA 2.16b Controlador P-I, Sincronismo y Modulador de Pulsos de disparo

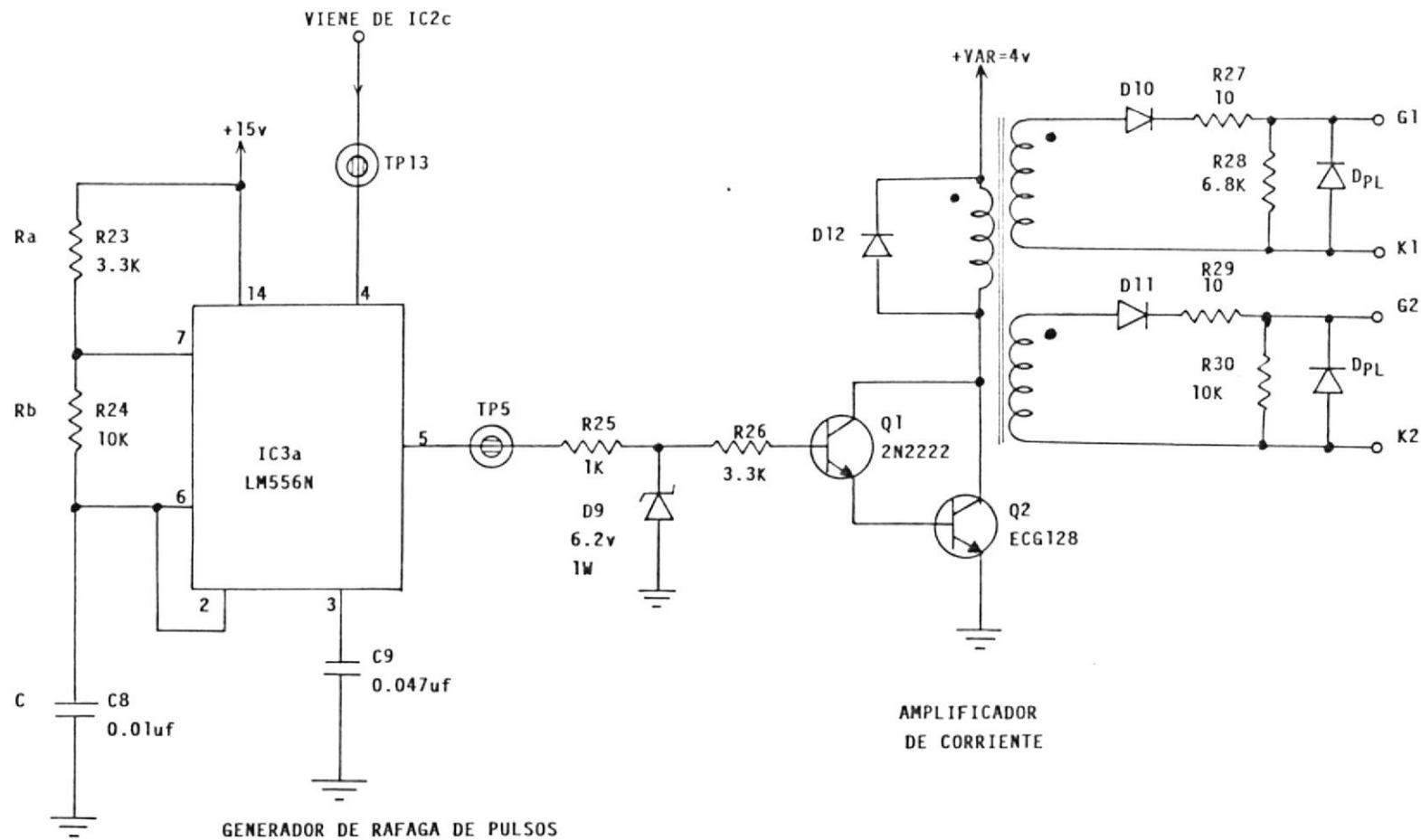


FIGURA 2.16c Generación y Amplificación de los pulsos de disparo

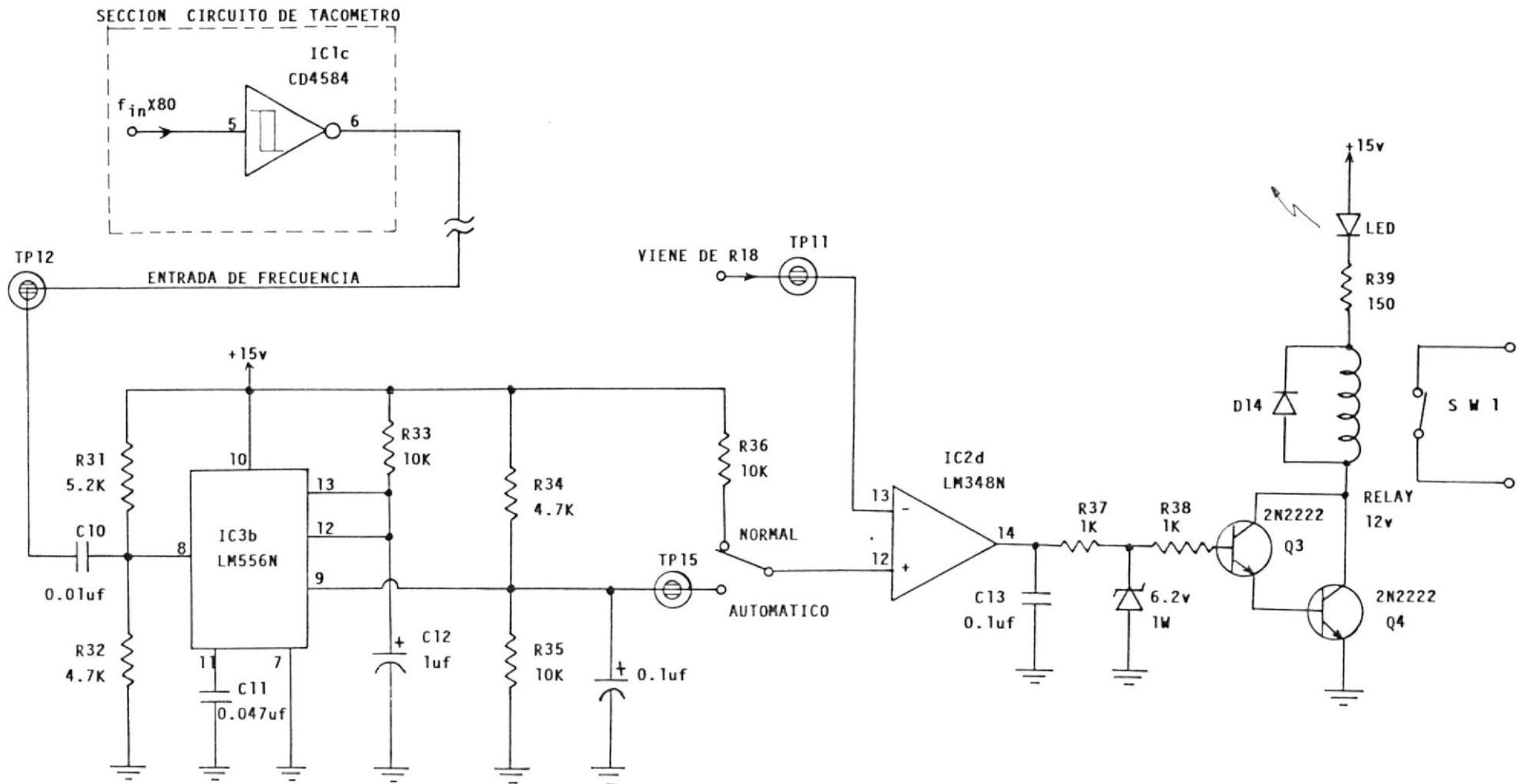


FIGURA 2.17 Circuito Auxiliar para el Medidor de Torque

Este circuito auxiliar se lo hizo porque hay la posibilidad que el brazo del dinamómetro no regresa siempre a la misma posición de reposo dando como resultado un error de lectura de torque, aún cuando el conjunto HAMPDEM esté apagado. Además, se dispone de un conmutador mecánico que sirve para hacer el ajuste de medición de torque; cuando el conmutador no está en automático significa que se está ajustando el cero del torquímetro.

CAPITULO III

DISEÑO DE LA INTERFASE MECANICA

El objetivo de este capítulo es dar a conocer los pasos que se han seguido para el montaje del transductor, así como el diseño y construcción de la placa deflectora donde se coloca el transductor. Las condiciones de diseño que se han tomado están en virtud de la forma en que va a trabajar el torquímetro, tomando en consideración, además, el medio y personal que pueda utilizarla. Mas detalles en el apéndice B.

3.1 Selección del transductor

Se necesita conseguir un elemento transductor que emplee el principio de variación de resistencia a pequeños cambios en su longitud, además, estas variaciones deberán ser de unos pocos micro-centímetros. El transductor que emplea este método como principio de funcionamiento se llama galga extensométrica y se lo puede apreciar en forma macroscópica en la figura 3.1. Nótese que está montado de tal manera que los conductores corren en sentido longitudinal según el eje de la barra. Las galgas extensométricas son hechas de aleaciones de constantanio, Nicromo V y a veces de una aleación de platino. En este tratado se usan un par de

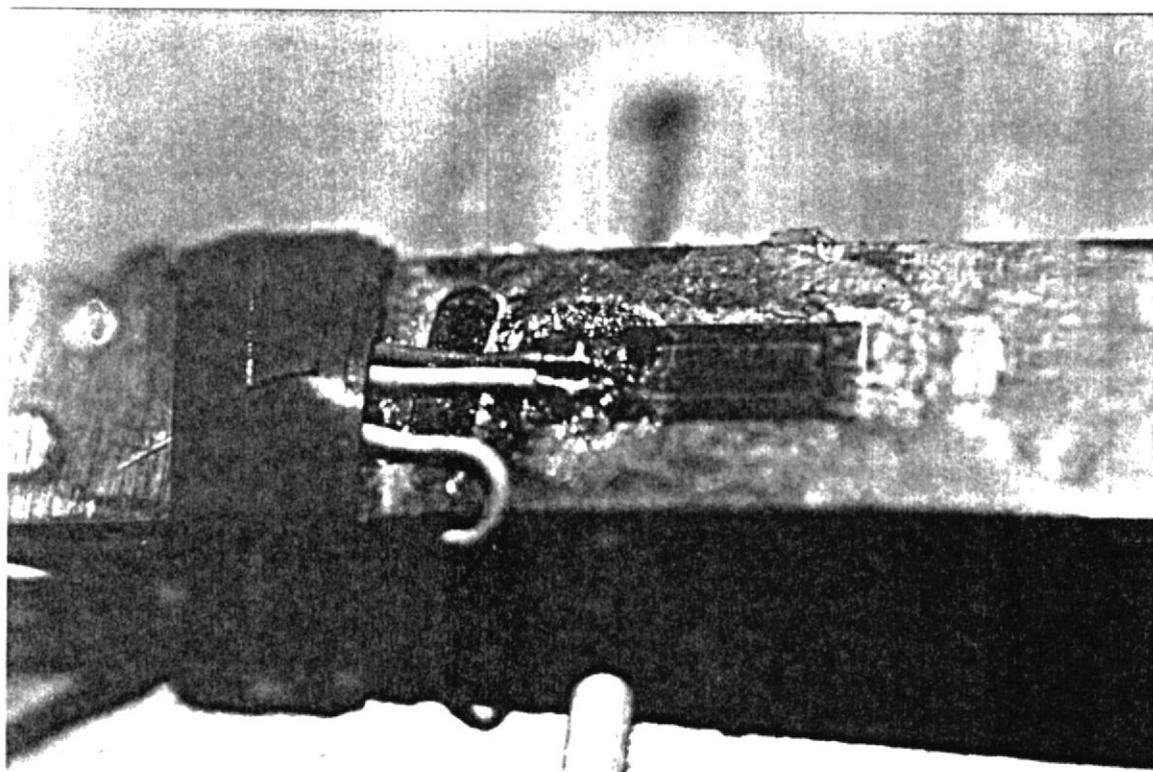


Figura 3.1 Fotografía macroscópica de una galga Extensométrica.

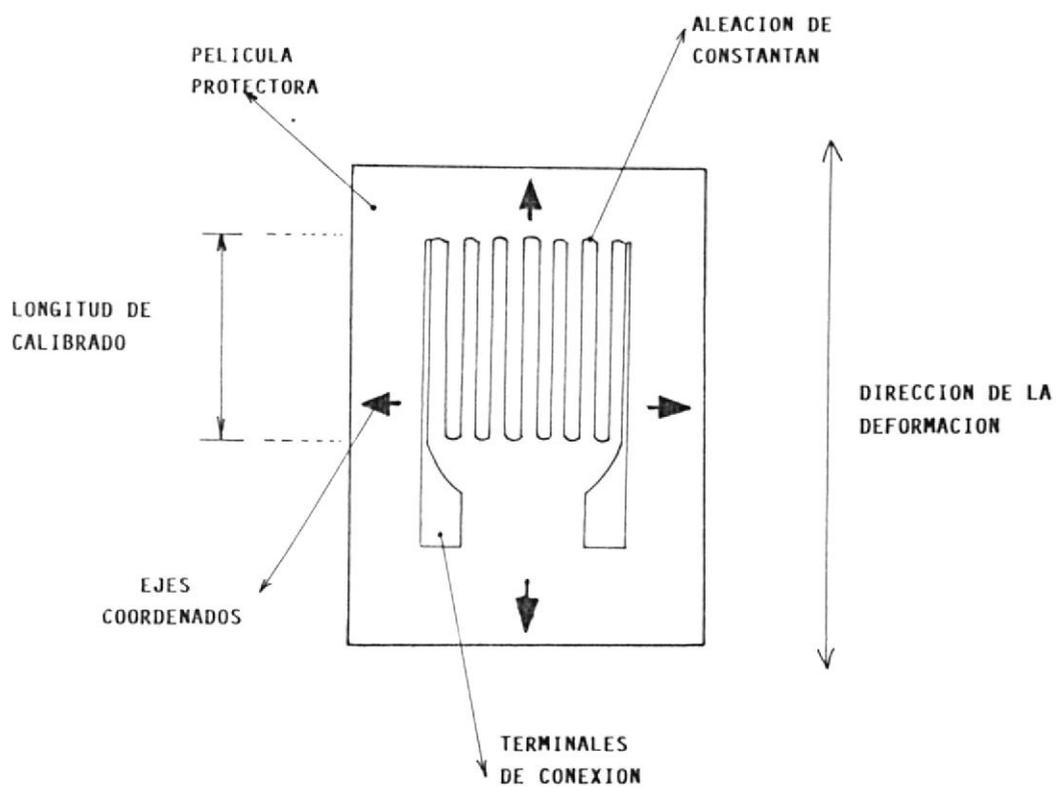


FIGURA 3.2 Constitución de una Galga Extensométrica

de ellas, de aleación de constantanio, construida en una película protectora de polimida, con terminales dispuestos para su soldadura y una resistencia de 120 ± 0.3 Ohmios.

Considerando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\sigma \cdot L}{A},$$

A= Area
 σ = Resistividad
 L= Longitud

Se nota que para un mismo material si L aumenta y A disminuye la resistencia se incrementará, nuestro transductor es largo y estrecho, pero a causa de su disposición en Zig-Zag tiene una considerable longitud, permitiendo obtener una resistencia razonablemente elevada, tal como se muestra en la figura 3.2.

Los fabricantes especifican un dato muy importante llamado factor de galga (G.F) y puede oscilar normalmente desde 1.9 hasta 2.2 a la temperatura de 25°C . El factor de galga es la relación del porcentaje de cambio de resistencia de la galga a su porcentaje de cambio en la longitud, tal como lo indica la siguiente fórmula:

$$G.F = \frac{\delta R/R}{\delta L/L}$$

Es muy importante saber que la galga extensométrica originará cambio de resistencia cuando la deformación se produce en sentido longitudinal con respecto a la placa medidora. Sin embargo, cuando se está seguro que la deformación de la placa donde se coloca la galga produce variaciones según un solo eje, es decir cuando se puede desprestigiar las deformaciones laterales es posible utilizar una galga ancha. En nuestro caso es mejor usar una galga extensométrica pequeña dado que la placa donde vá colocada es de longitud limitada.

3.2 Cálculo de la montura del transductor

Las galgas extensométricas beden ir montadas sobre una placa medidora que es la encargada de transmitir la deformación apropiada, esta deformación originará un cambio de resistencia en el transductor.

Diferente a otros campos de medición, las señales mecánicas estan siempre caracterizadas por la presencia de transientes y modos vibratorios. Los transientes son generados durante el encendido, el apagado o vibraciones bruscas. La naturaleza vibratoria es debida, en parte, a la manera mecánica de como se desarrolla su potencia. De acuerdo a lo dicho se debe procurar conseguir un material acerado que tenga la mayor elasticidad posible, es decir que si sufre una defor-

mación grande, se recupere y regrese a su posición original, esto se lo logra si se consigue cuerda de reloj de pared. Por lo tanto no hubo necesidad de hacer grandes cálculos en la construcción de esta pieza.

El cálculo mas bien consistió en determinar su longitud exacta, la manera de empotramiento y la forma de minimizar el rozamiento con el pistón deslizante con inclinación de 2 grados. La figura 3.3 da una idea de la placa medidora. Adicionalmente se hizo necesario colocar un pequeño rodamiento para contrarestar el rozamiento de la placa medidora con el pistón.

3.3 Montaje del elemento transductor

Para colocar las galgas extensométricas en la placa medidora, lo más importante es mantener al elemento transductor libre de grasas. En definitiva el elemento transductor deberá parecer que forma parte de la superficie misma de la placa medidora. El proceso de montaje se lo puede resumir de la siguiente manera:

- Primero se lija la superficie de la placa medidora con lija fina es decir 400 y luego lija 600.
- Después se limpia esta superficie con un ácido limpiador de superficie, que elimina los restos de grasa dejados por el proceso de lijado.

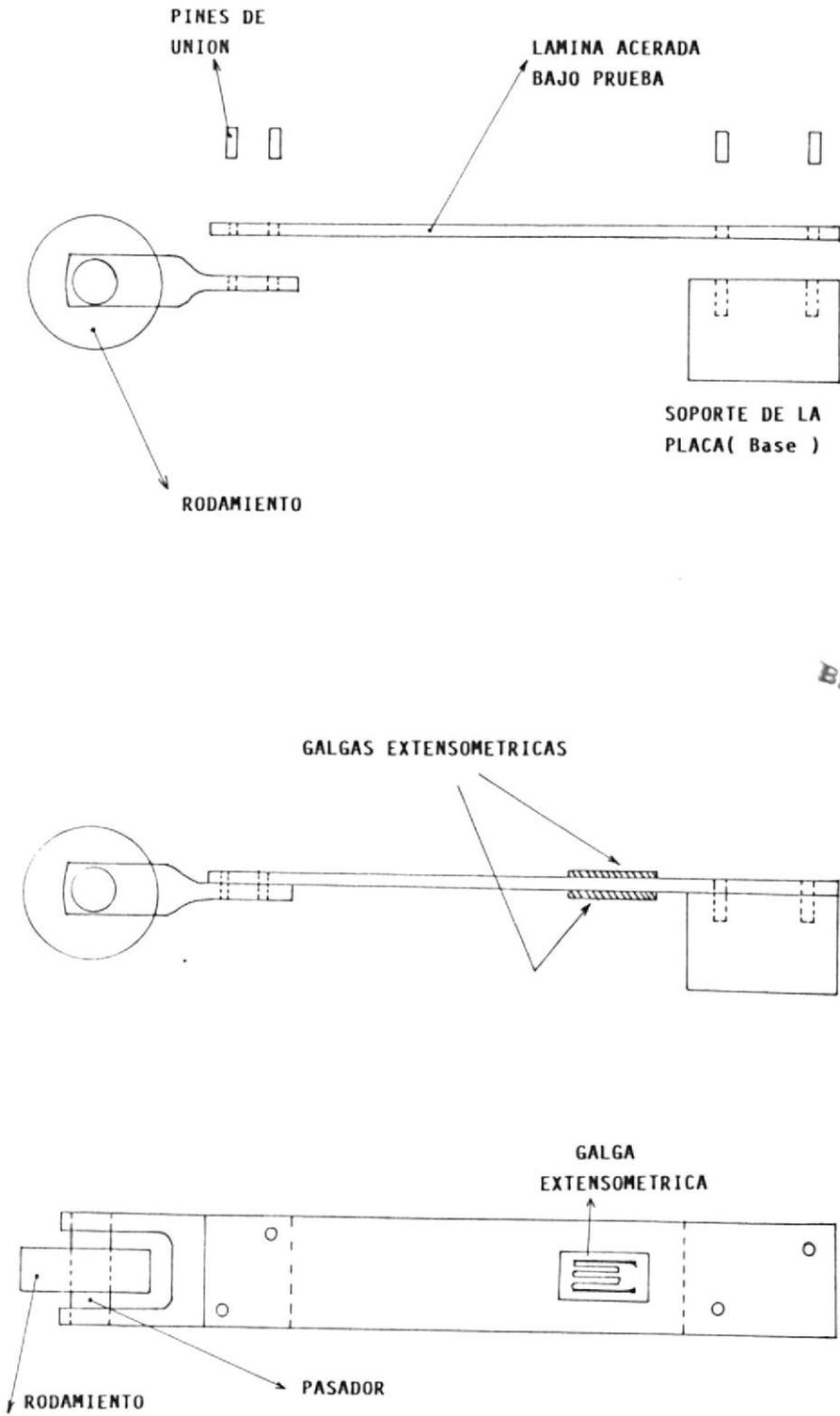


FIGURA 3.3 Placa medidora de Esfuerzos

- Luego se trazan ejes coordenados en la placa medidora con lápiz, estos ejes deberán de estar en la placa medidora justo en el lugar donde van a pegarse las galgas.
- Posteriormente se usa una cinta transparente y sin tocar al elemento transductor se debe lograr adherir la cinta con el lado conductor de la galga.
- Si hay un catalizador de goma, usarlo para hacer un pegado mas rápido, de otro modo conseguir una goma de rápido pegado.
- Depositar la goma sobre la superficie de la placa justo en el centro donde será colocada la galga extensométrica.
- Llevar la galga extensométrica montada sobre la cinta transparente y dirigirla sobre los ejes antes marcados, una vez seguro de esto juntar la galga y pegarla con la placa medidora.
- Es preciso ayudar al pegado poniendo el dedo sobre la cinta donde esta la galga extensométrica, presionar moderadamente por 5 minutos y retirar la cinta sin llevarse consigo la galga.
- Por ultimo soldar con cautín de 20 vatios y punta fina los terminales de la galga, usando para esto soldadura 60/40 y un conductor fino.

No es prudente usar los terminales propios de la galga, sino usar otros terminales mas resistentes, para

ello es preciso colocar estos terminales lo mas cerca de los terminales de la galga y hacer las uniones con cables mas resistentes para formar el puente de Wheatstone. El esquema terminado, junto con la galga es representado en la figura 3.4.



Es necesario que la galga esté pegada lo más ^{El}cerca posible al lado de empotramiento de la placa y es debido a que en ese punto se logra mayor deformación del elemento transductor. Además se notará que hay dos galgas extensométricas; una arriba y otra abajo, la de arriba produce incrementos positivos respecto de su valor inicial; mientras que la de abajo registra disminución de su valor inicial y son éstas variaciones las que se aprovechan para amplificarse, las variaciones que se alcanzan son del orden de 0.12 ohmios

3.4 Acoplamiento al sistema de máquinas HAMPDEM

El elemento que transmite el movimiento lineal del torquímetro es un resorte, en vista de su capacidad de recuperación cuando cesan las fuerzas que actúan sobre él. El diseño además está provisto de un tope máximo por la posible eventualidad de mal uso o abuso, de tal manera que si se desea colocar mas carga de la debida, el tope lo impedirá. El resorte fue seleccionado aproximando las siguientes fórmulas:

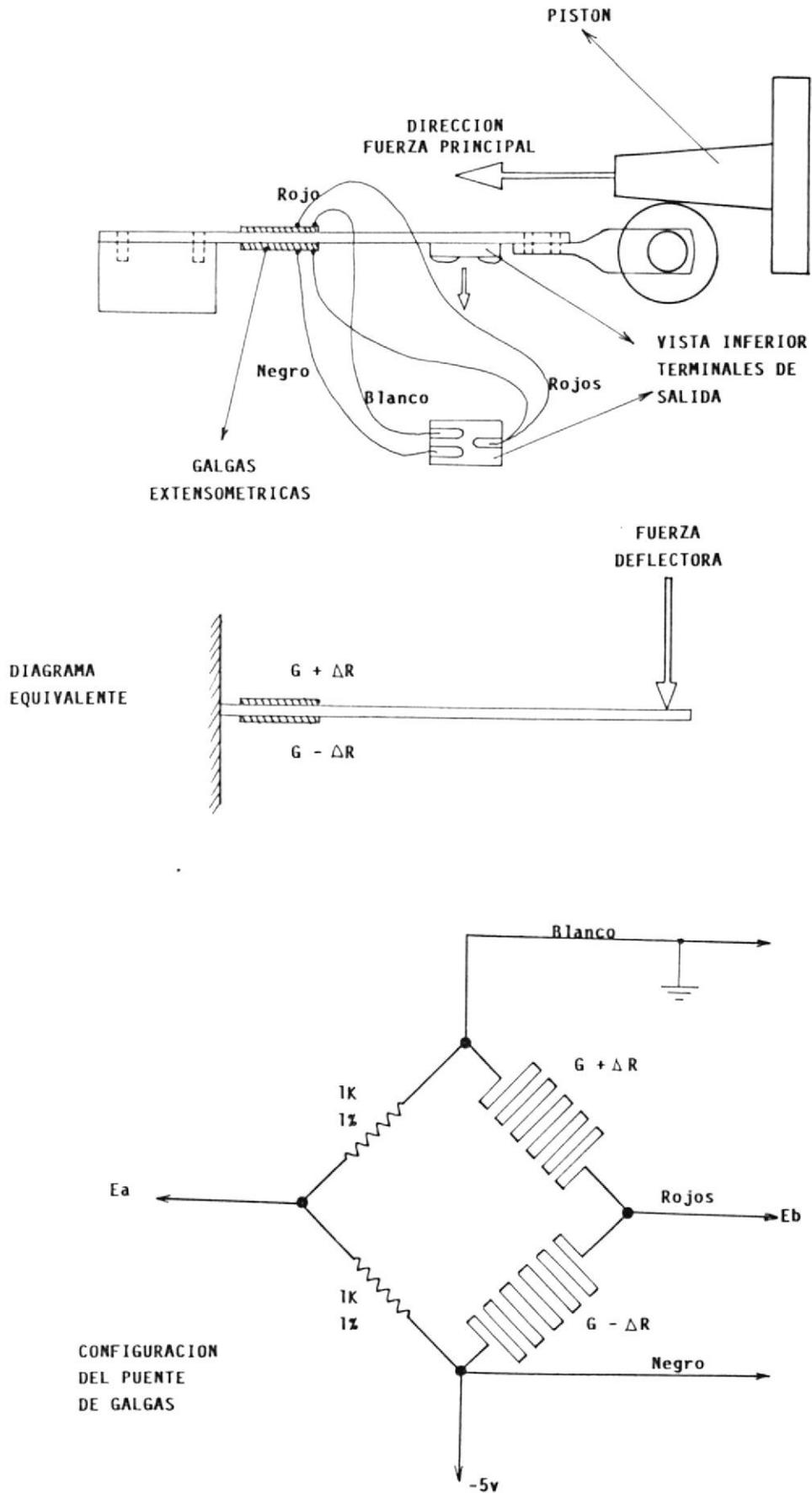


FIGURA 3.4 Acoplamiento de las Galgas Extensométricas a los Sistemas Mecánicos y Eléctricos



BIBLIOTECA

$$a) \quad K = \frac{G \cdot d^4}{8 N D^3}$$

$$b) \quad F = K \cdot X$$

G= Módulo de rigidez del acero.

d= Diámetro del alambre.

D= Diámetro medio del resorte.

N= Número de vueltas.

K= constante de recuperación del resorte.

El valor de G para el acero es aproximadamente de 11.5×10^6 Lb/pulg². De esta manera se mandó hacer 3 resortes de los cuales se escogió el más indicado, tal como se aprecia en la figura 3.5a.

Además se tuvo que acoplar a la parte inferior del dinamómetro un tornillo en forma de argolla dado que el tamaño del torquímetro excede al de la balanza mecánica; tal como se aprecia en la figura 3.5b. Pero el acoplamiento más fructífero que se debe lograr, es colocar una precarga de 7 libras y que el instrumento indique cero libras, es decir que con esta precarga y el sistema en reposo se debe lograr ajustar el sistema mecánico y electrónico a la vez.

3.5 Ajuste del sistema

El primer ajuste que debe ser hecho en el sistema será colocar un tope en el eje de fuerzas, para lograr que el conjunto no gire, luego se coloca el resorte,

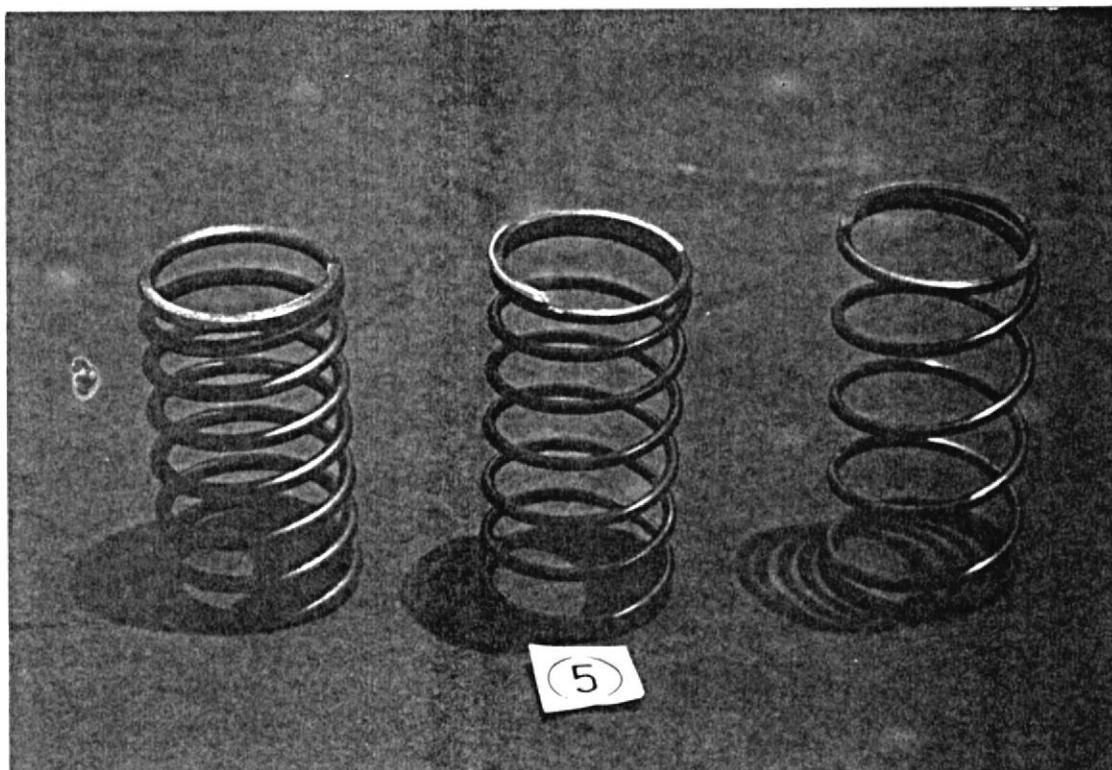


Figura 3.5a Fotografía del resorte seleccionado (centro)

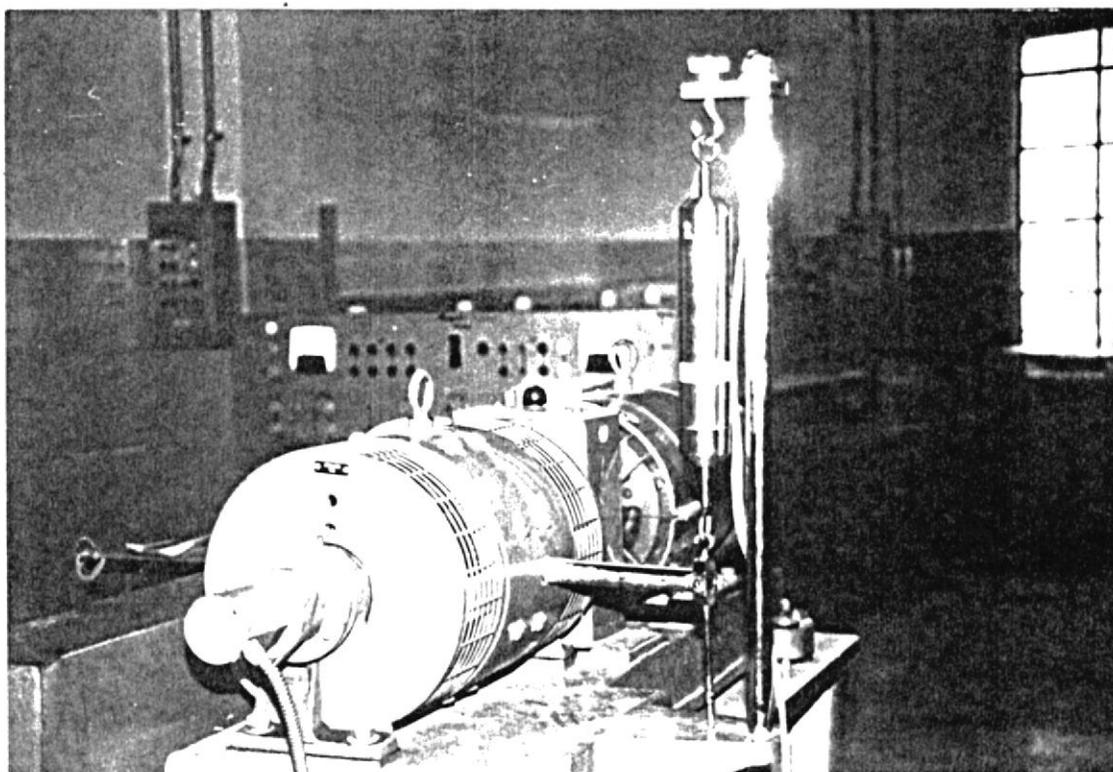


Figura 3.5b Montaje del Torquímetro en la máquina HAMPDEM

se enrosca el pistón, con el eje de fuerzas para lograr que se unan al máximo, después se debe ajustar la placa medidora con un prisionero a una distancia tal que cuando baje la distancia lineal dada por la precarga, el rodamiento de la placa toque apenas con el pistón; después colocar el eje cilíndrico y las cubiertas finales.

El sistema en su fase de armada se lo aprecia en las figuras 3.6a y 3.6b. Los detalles del ajuste eléctrico están dados en el capítulo II. Mas detalles se encuentran en el apéndice B.

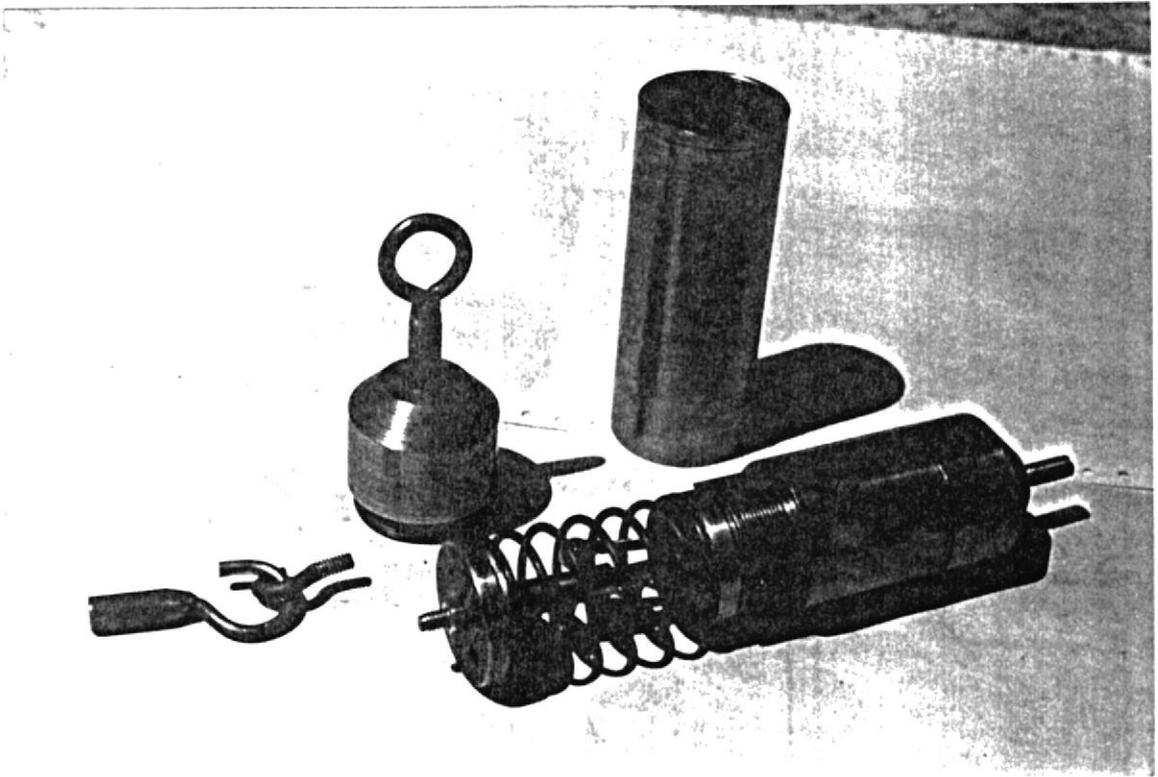


Figura 3.6a Primeras fases de armada del Torquímetro

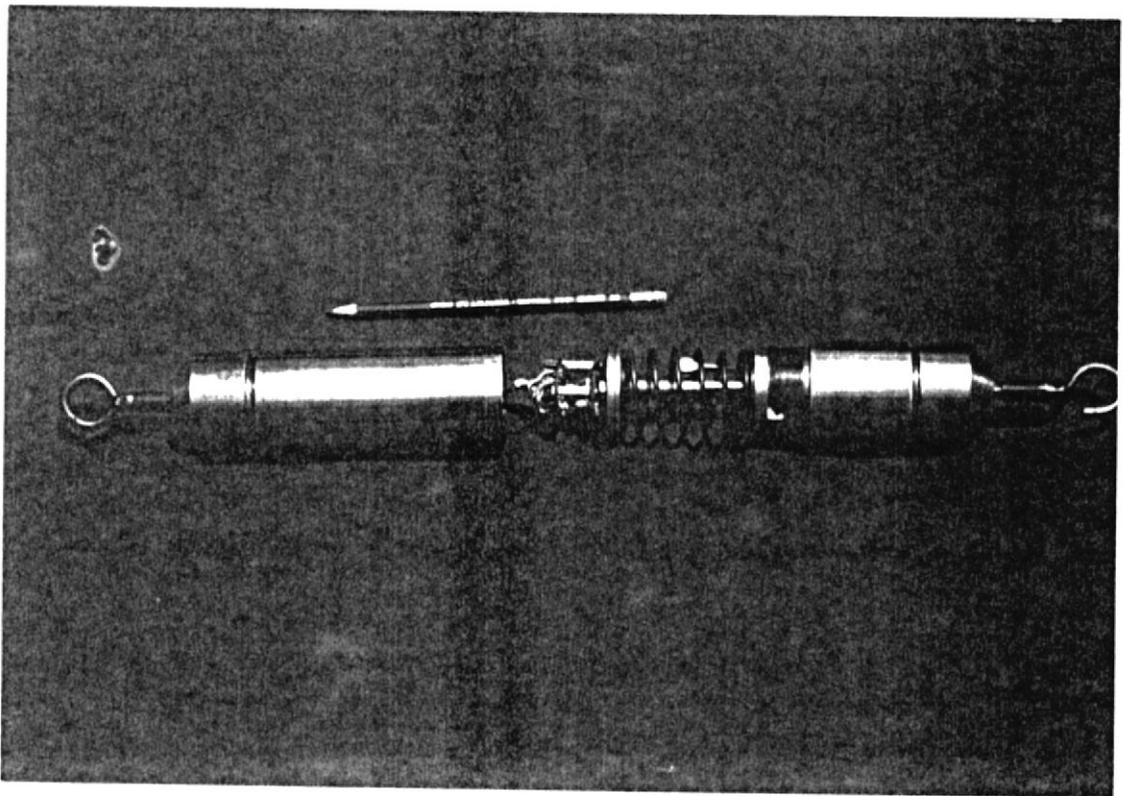


Figura 3.6b Fase final de armada del medidor de Fuerzas

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL SISTEMA EN GENERAL

4.1 Lista de equipos y materiales utilizados

Los equipos que se usaron para el desarrollo de esta tesis son:

- Máquina eléctrica Hampdem con conector # 3
- Osciloscopio
- Fuente de voltaje variable (2 v - 25 v)
- Voltímetro D.C.
- Amperímetro A.C. y D.C.
- Módulo electrónico de entrenamiento con tarjetas y torquímetro (Dispositivos de tesis)

Los materiales utilizados serán cuantificados. Si se desea mayor información del detalle referirse a cada circuito en particular, donde se ha especificado su configuración con mayor precisión. Entre los elementos más importantes tenemos:

CIRCUITOS INTEGRADOS

- 1 CD4011
- 1 CD4020
- 1 CD4046
- 1 CD4584

- 1 NE555
- 1 74LS247
- 1 LM301N
- 1 LM308N
- 1 LM310N
- 1 LM348N
- 1 LM556N
- 1 LM725CN
- 2 TL074CN
- 1 CA3162E
- 1 7217IJI
- 2 7805T
- 1 7815T
- 1 7905T
- 1 7915T
- 1 LM337T
- 1 LM317T

PANTALLAS DIGITALES

- 1 DL3130 C.A. 3 Dígitos Multiplexados
- 1 NSB5922 C.A. 4 Dígitos Multiplexados

POTENCIOMETROS

- 1 POT 1M Ω , 10 Vueltas
- 2 POT 1K Ω , 10 Vueltas
- 2 POT 2K Ω , 10 Vueltas
- 1 POT 100K Ω , 10 Vueltas

- 1 POT 20 K Ω , Pastilla
- 2 POT 10 K Ω , Pastilla
- 1 POT 100K Ω , Pastilla

RESISTENCIAS

Se ha usado 116 resistencias en total. Los valores en ohmios aparecen en cada figura. Una aclaración muy importante: Todas las resistencias serán de 1/4 de Vatio (5%) a menos se especifique lo contrario.

CAPACITORES

Son un total de 63 Capacitores usados en este trabajo. A los capacitores electrolíticos se los diferencia si se indica su polaridad, caso contrario son sin polaridad.

DIODOS

Todos los diodos usados en los circuitos de control pueden ser 1N4001 ó 1N914. Se usó un total de 37 diodos. Los diodos de potencia usados son del tipo BBC4 116 943 y fueron usados dos diodos para el puente rectificador semicontrolado.

TRANSITORES

- 1 2N3055
- 9 ECG128
- 5 2N2222
- 6 ECG159

ACCESORIOS Y MATERIALES DE SOPORTE

- 1 Conmutador 2 Polos, 10A 250V
- Conectores DB9 Macho y Embra
- Regletas para conexiones
- 1 Ventilador
- Disipadores de calor
- Bases de circuitos integrados de 8,14,16 y 28 pines
- Conectores para tarjetas de 15/30 y 18/36 posiciones
- 7 Placas de cobre para circuitos impreso
- Transformadores de fuerza y pulso

4.2 Consideraciones sobre la construcción del sistema

Desde el principio se prefirió reducir la circuitería, simplificando los diseños al máximo, esto llevó también a desarrollar módulos de tarjetas de circuito impreso. Se usa un total de 6 tarjetas montadas sobre conectores de 15/30 y 18/36 posiciones todas colocadas en la parte superior de un solo módulo como se muestra en la figura 4.1.

Para lograr la polarización de los circuitos de control se usan fuentes las mismas que son alimentadas con un transformador de múltiples salidas como lo muestra la figura 4.2; el diseño mecánico también es minimizado llevando incluso en su interior una pequeña tarjeta de amplificación de la señal de las galgas

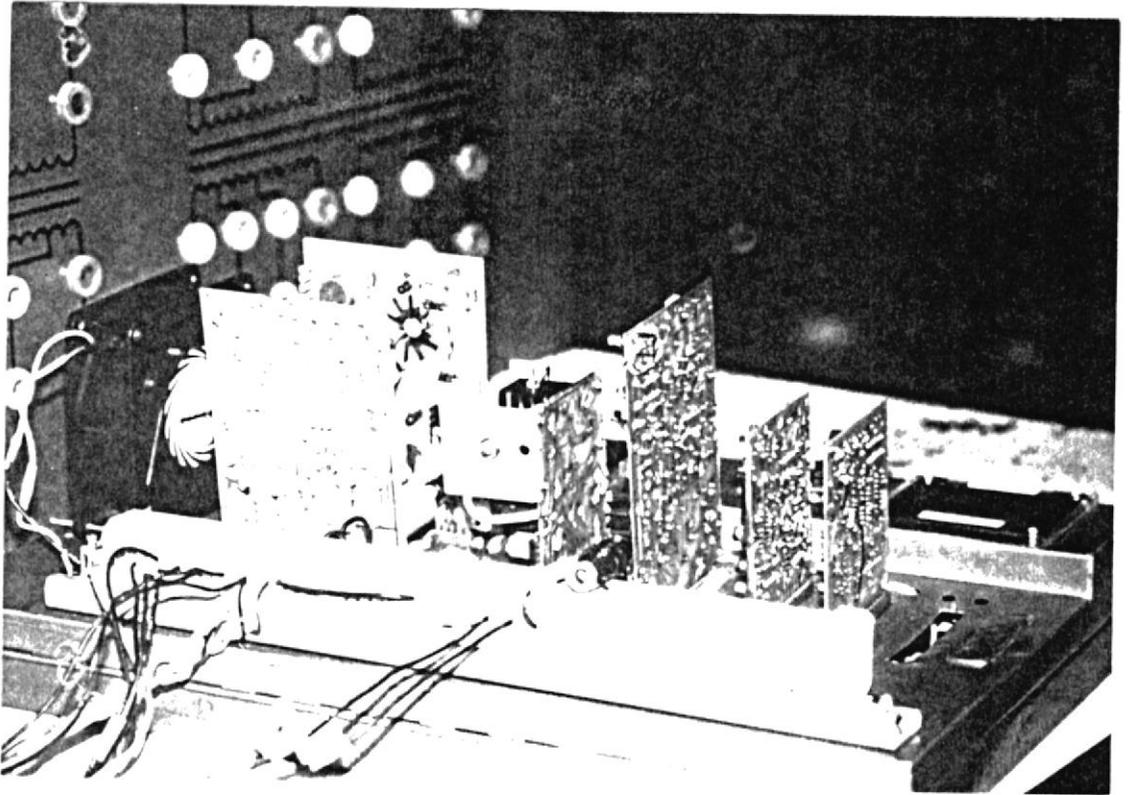


Figura 4.1 Fotografía mostrando las tarjetas Electrónicas usadas.

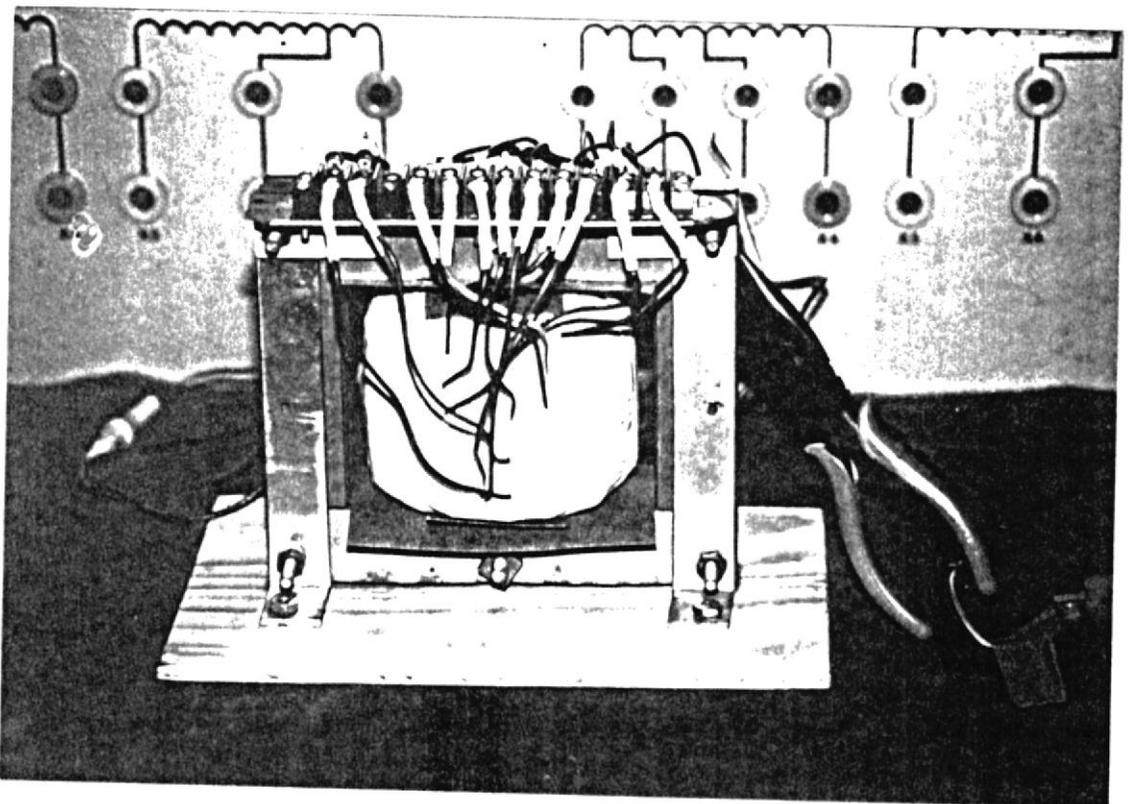


Figura 4.2 Transformador de aislamiento

extensométricas. Las partes constitutivas del torquímetro son mostradas en la figura 4.3 y armado en su totalidad es mostrado en la figura 4.4.

4.3 Reconexiones de la máquina usada

La máquina universal de pruebas Hampdem fue conectada como un motor trifásico de rotor devanado en tanto el dinamómetro usado como un generador D.C. Por lo tanto para lograr facilidad de cableado se usa un conector #3 (plug-3). Así las conexiones utilizadas están descritas en las figuras 4.5 y 4.6.

4.4 Disposición final de los elementos

Los elementos electrónicos como se dijo antes fueron colocados en tarjetas de circuito impreso y estas tarjetas a su vez montadas en un solo módulo. Las tarjetas aparecen en las figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12; los números que en ellas aparece corresponde a la siguiente descripción:

- 1) Fuente de $\pm 15v$, $\pm 5v$, $+Var(1.5v-13v)$ {todas a 300mA}
- 2) Fuente de $+5v$ {800mA}
- 3) Circuito de fuerza
- 4) Circuito controlador de torque
- 5) Circuito medidor de torque
- 6) Circuito del tacómetro

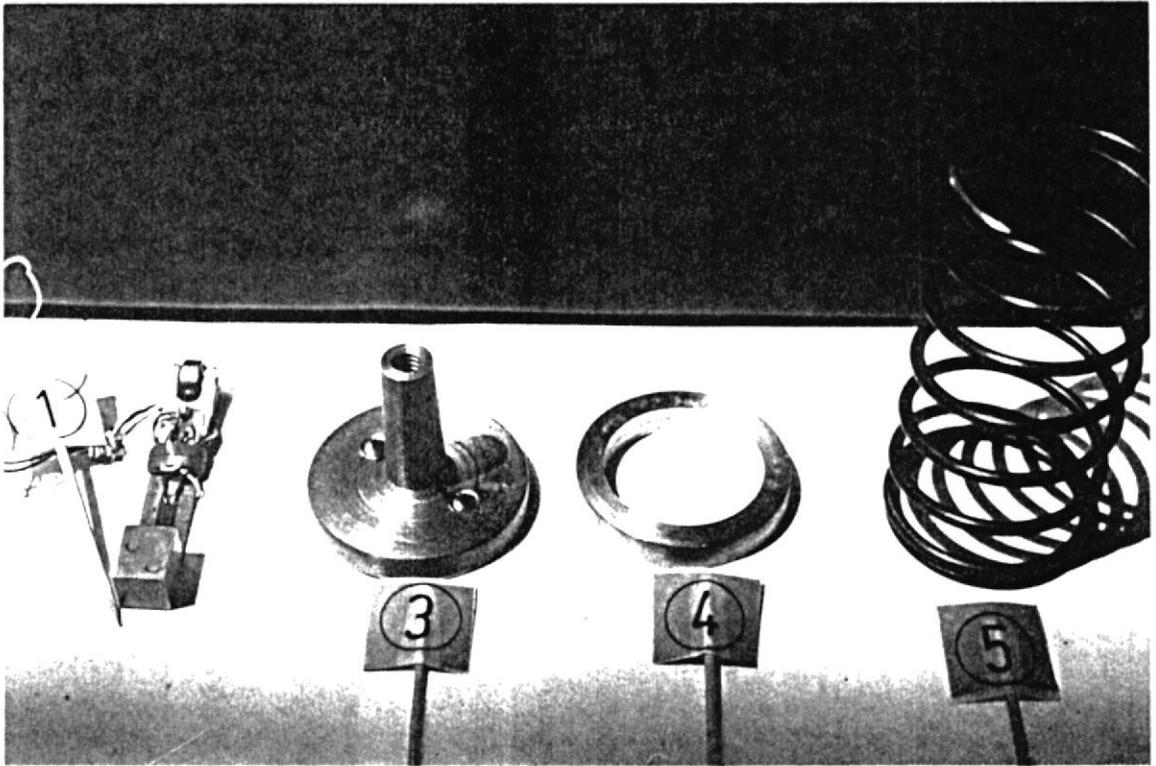


Figura 4.3 Partes constitutivas del Torquímetro

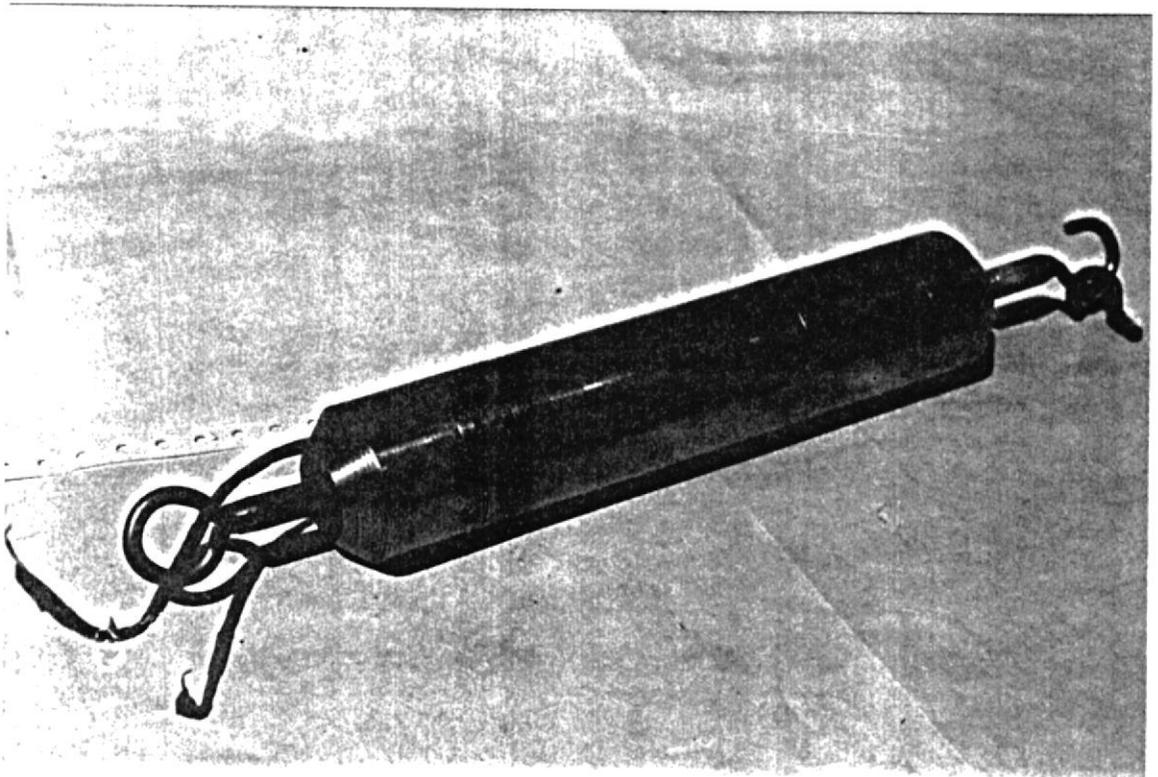


Figura 4.4 Torquímetro armado en su totalidad

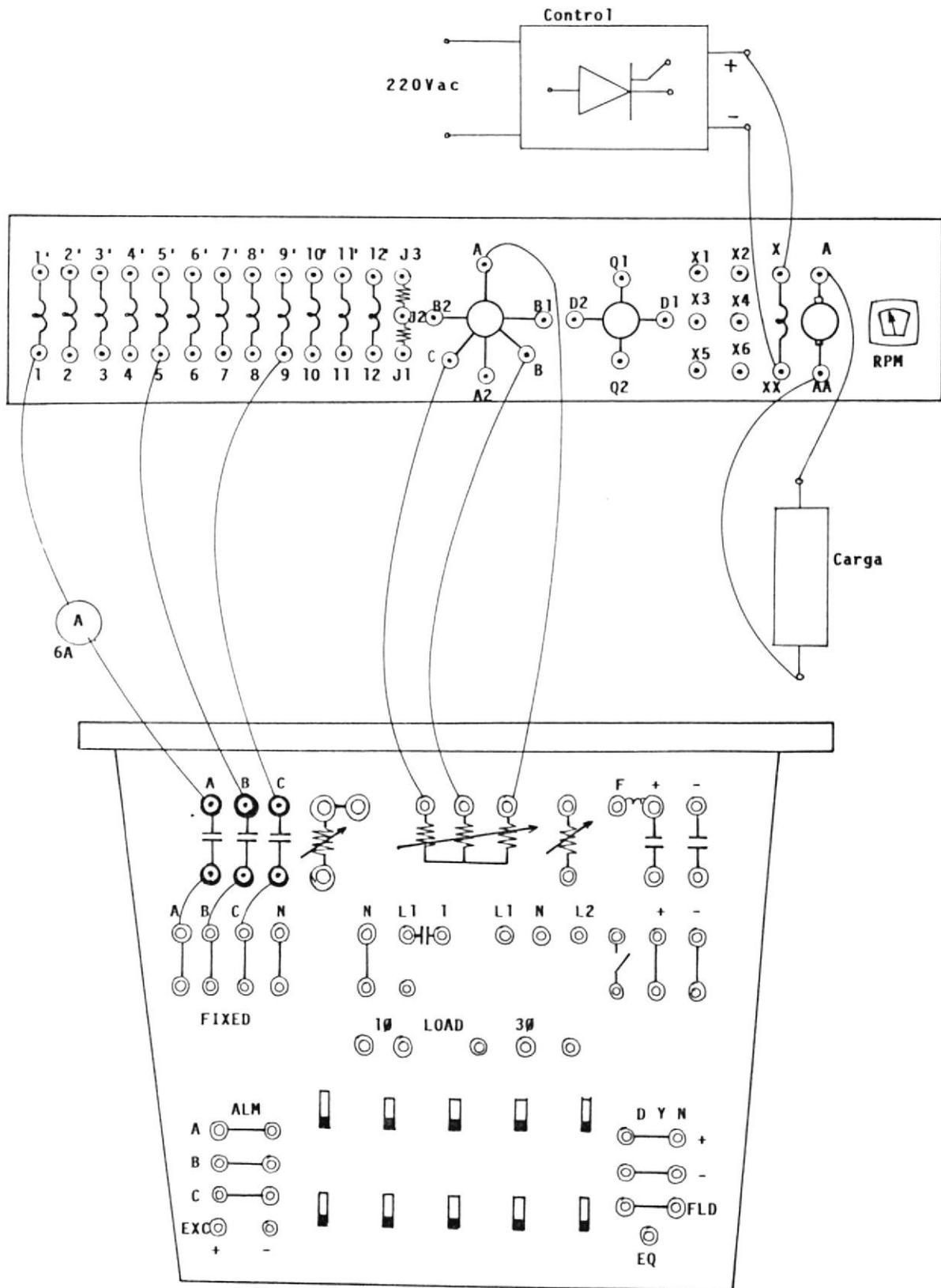


FIGURA 4.5 Reconexiones de la Máquina Hampdem

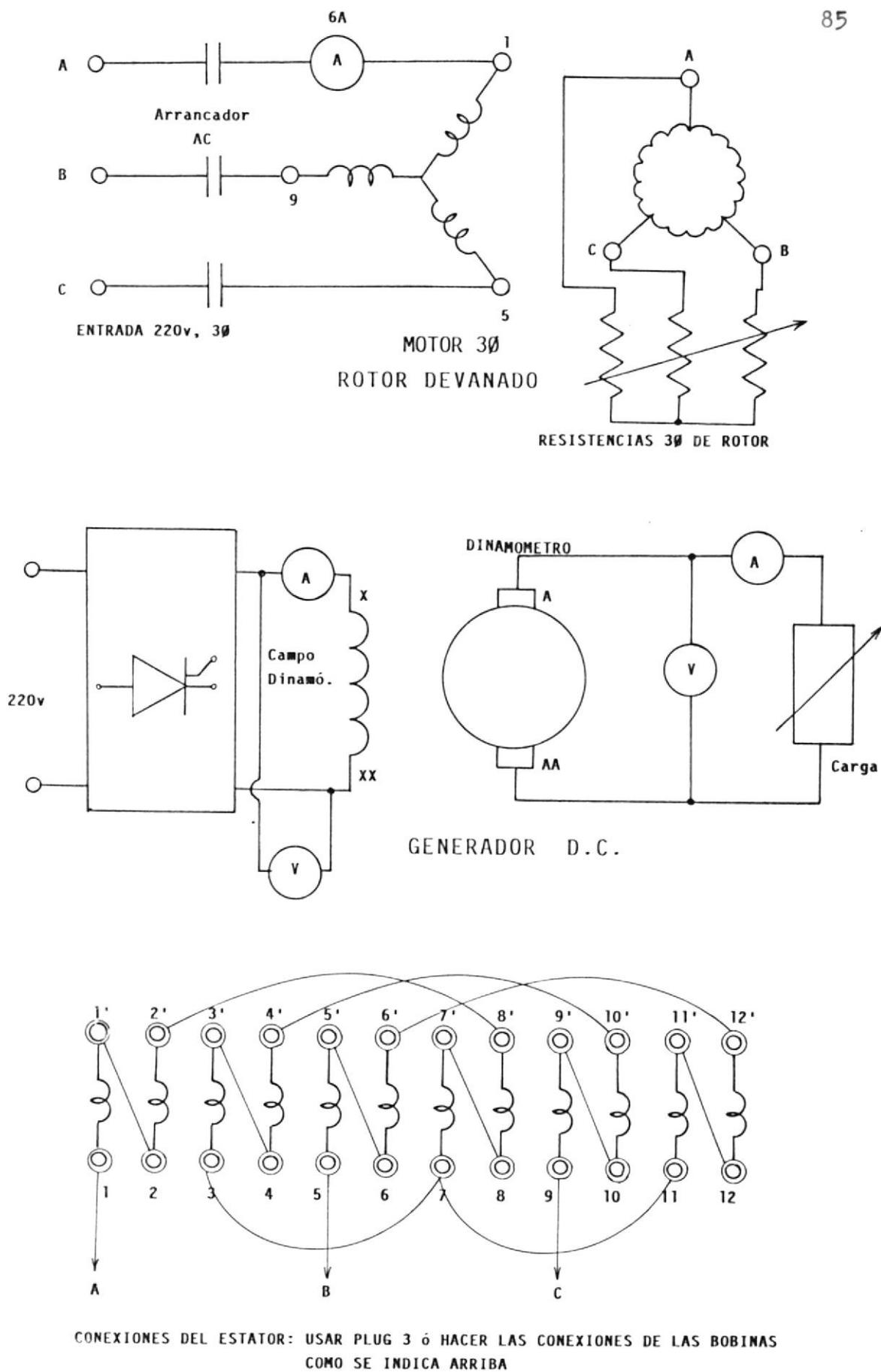


FIGURA 4.6 Diagramas Eléctricos de la Máquina usada

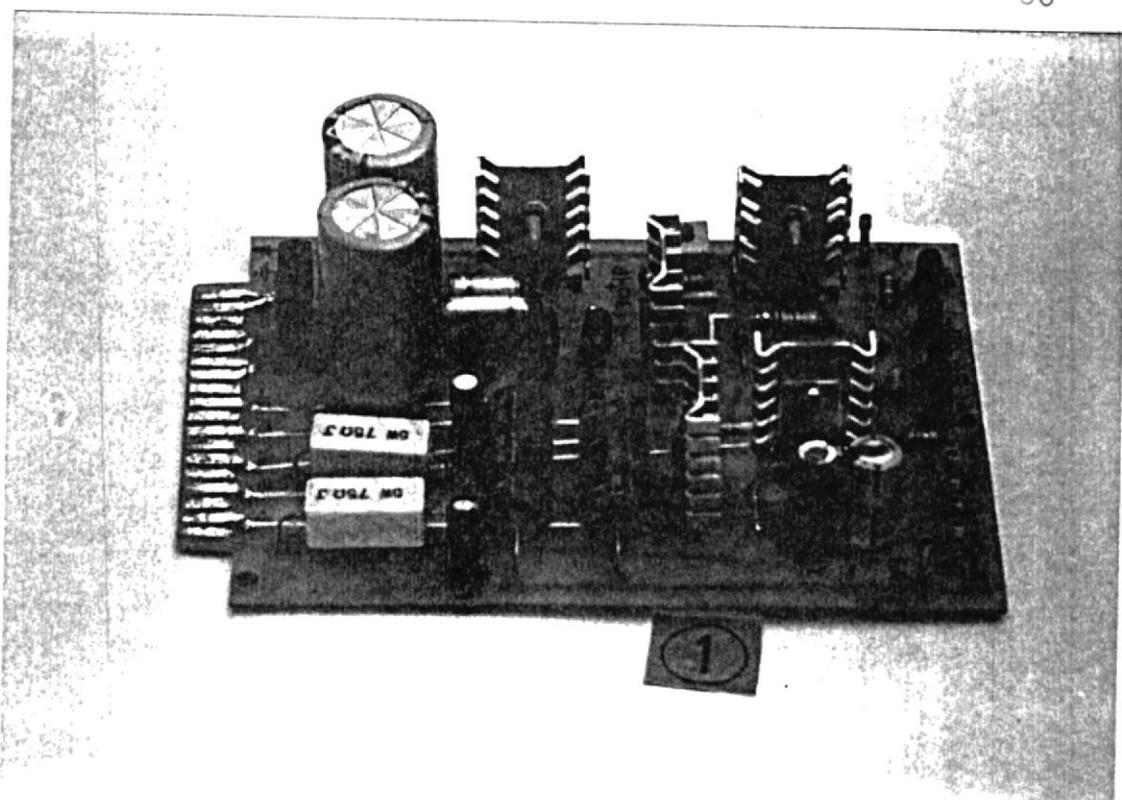


Figura 4.7 Fuente de $\pm 15\text{v}$, $\pm 5\text{v}$, $+\text{Var}(1.2-13\text{v})$ a 300mA

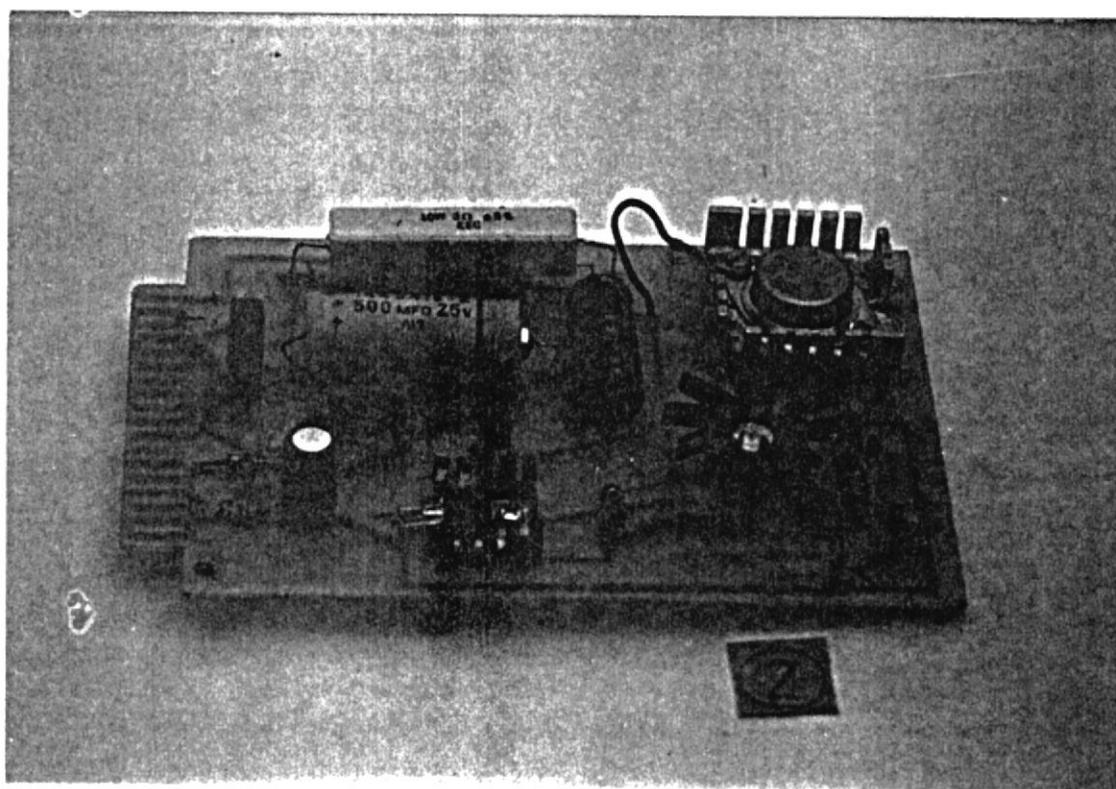


Figura 4.8 Fuente $+5\text{v}$, 800mA

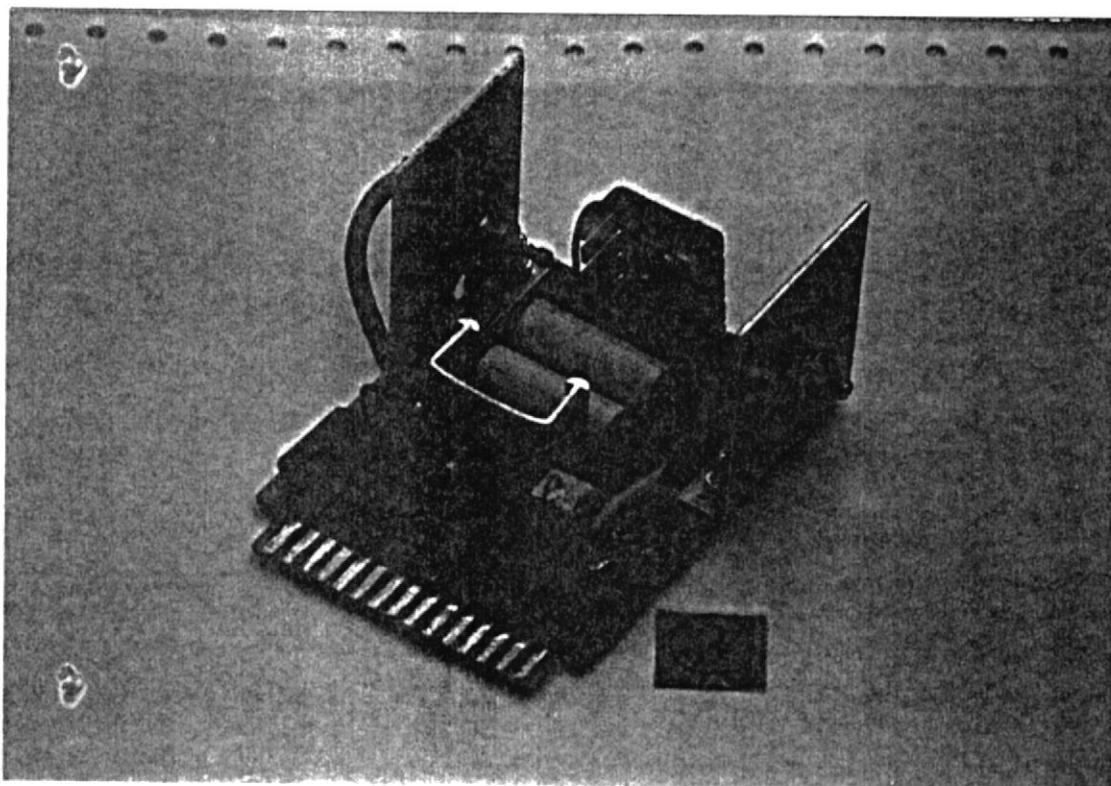


Figura 4.9 Circuito de Fuerza

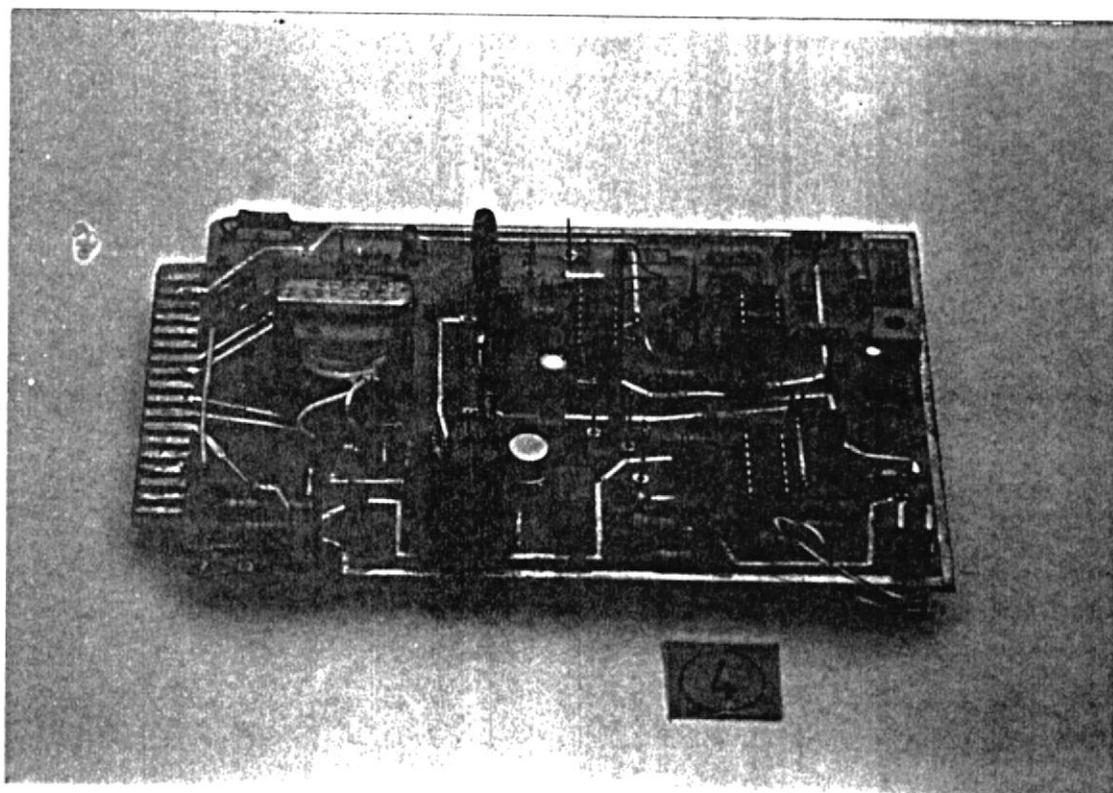


Figura 4.10 Circuito de control de torque

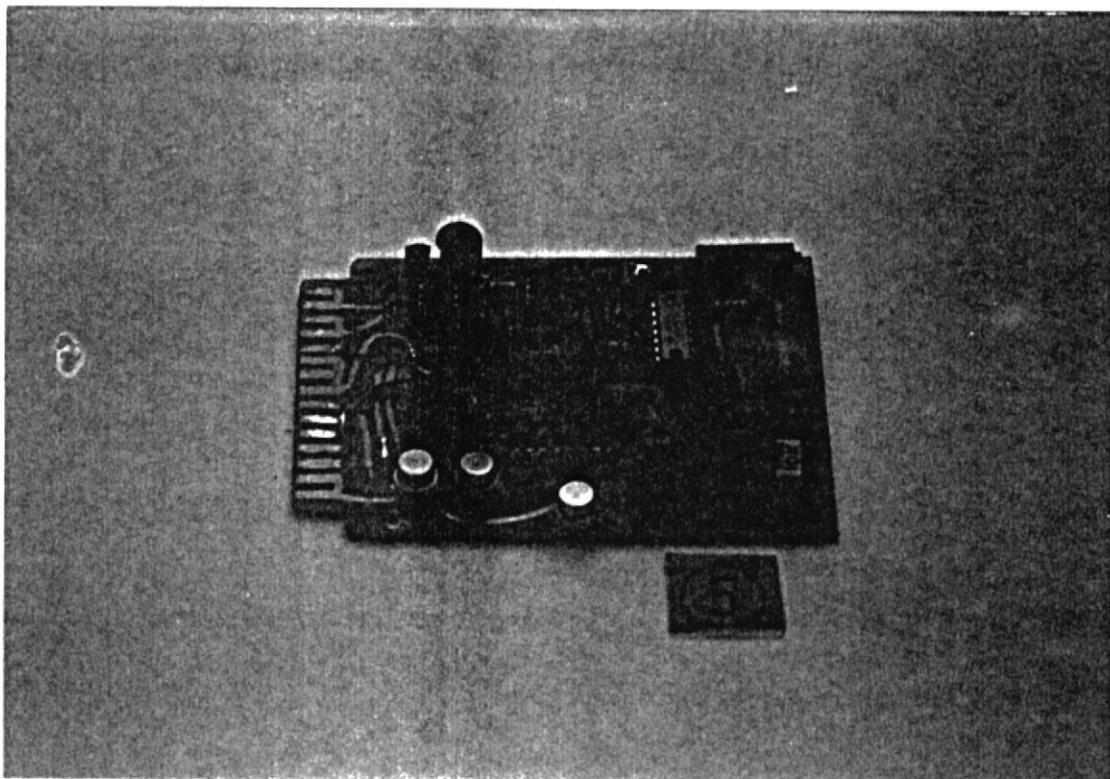


Figura 4.11 Circuito medidor de torque

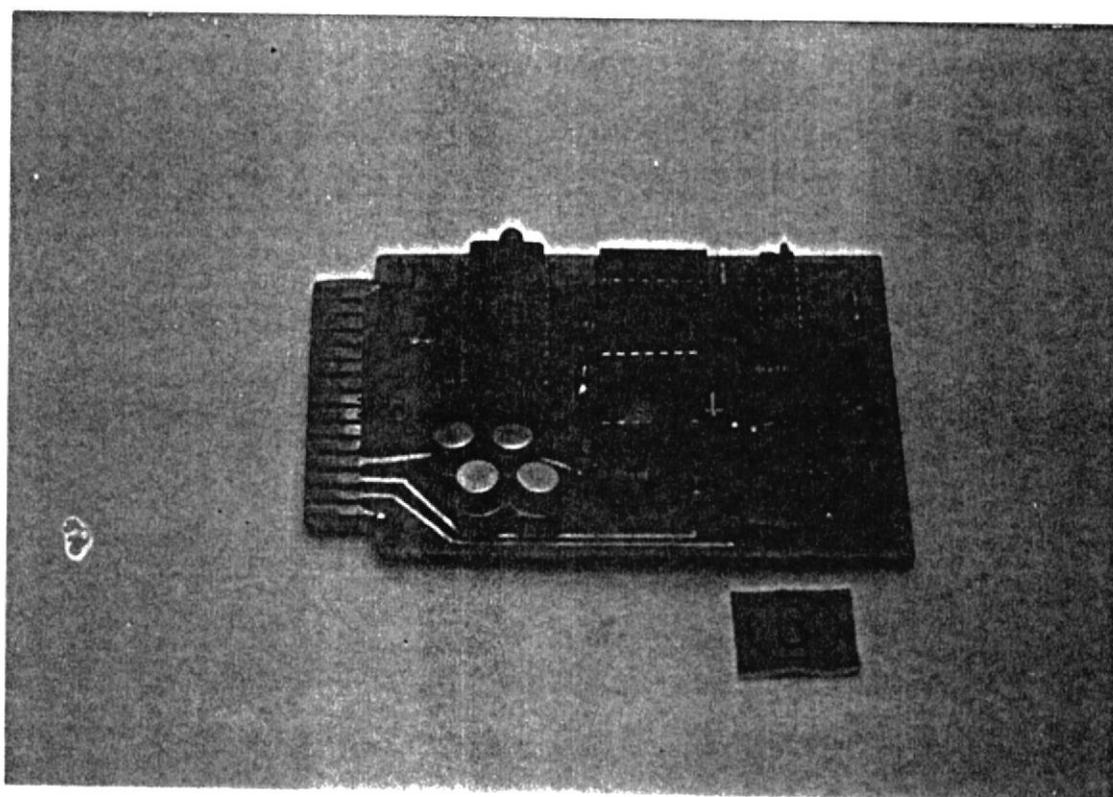


Figura 4.12 Circuito del Tacómetro

Además se muestra la disposición de las tarjetas en la figura 4.13 y 4.14. Es de notar que la dirección de las tarjetas está indicada en la caja metálica y no debe colocarse éstas en sentido contrario para evitar posibles daños.

Una indicación adicional de cómo se debe armar todo el sistema está descrita en el apéndice C.

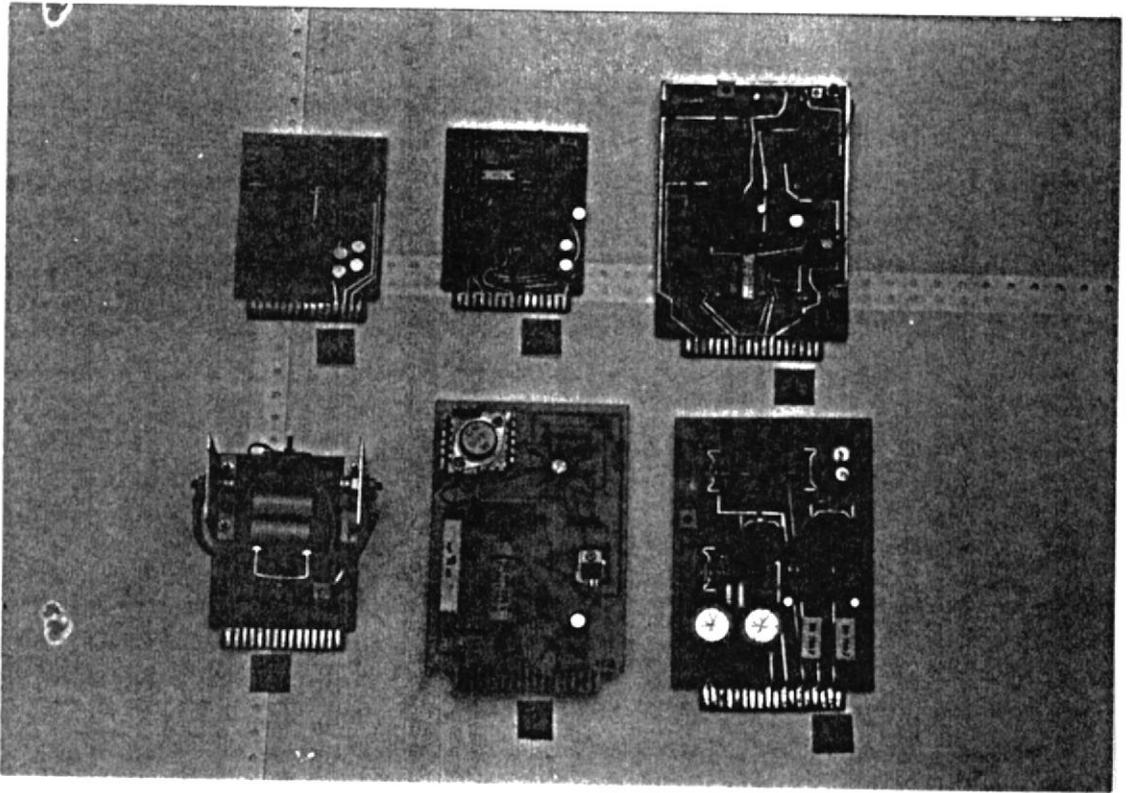


Figura 4.13 Vista superior de las Tarjetas Electrónicas

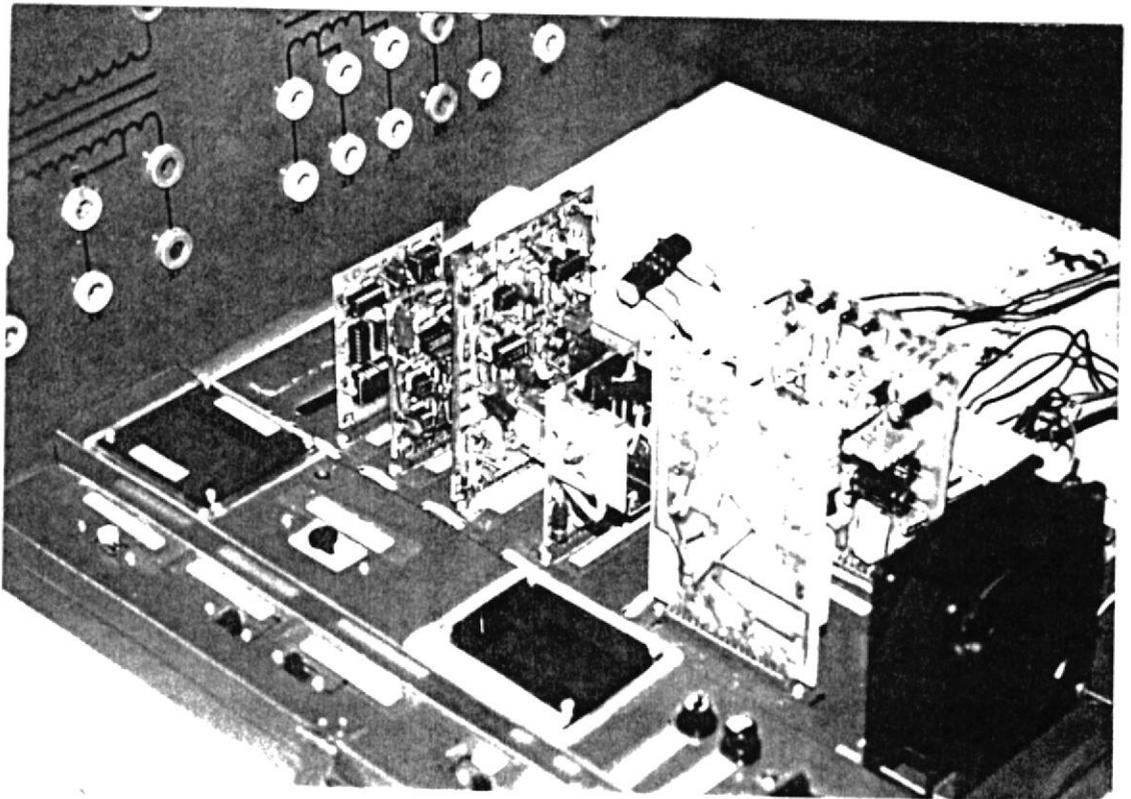


Figura 4.14 Disposición de las Tarjetas en el módulo Electrónico

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se resumen en su mayoría a variaciones del sistema para un determinado valor de torque fijo, manteniendo un valor de carga constante y haciendo variar solamente el valor de la velocidad del motor a través de la variación de resistencias en el rotor.

Los resultados obtenidos son mostrados en las tablas I, II, III, IV; y la demostración gráfica de estas tablas está dada en la figura 5.1.

También se hizo pruebas al sistema controlador con diferentes formas de variaciones como por ejemplo:

- Variaciones del sistema provocados por una señal escalón en la referencia de torque.
- Variaciones del sistema provocados por un escalón de carga.

Finalmente se obtuvieron formas de ondas en los diferentes puntos de pruebas dados en cada una de las tarjetas de circuito impreso. Estas formas de ondas están dadas en las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7. Se dan además fotografías de las respuestas del sistema controlador para condiciones antes y después de ocurrida las variaciones antes dichas.

TABLA I Torque constante ($\Gamma = 0.7$ Lb-Pie)

I _{am} (Amp)	I _{ag} (Amp)	Γ (Lb-P)	W (RPM)	I _f (mA)	V _f (v)	V _g (v)
3.5	6.0	0.7	3480	90	13	33
3.4	5.8	0.7	3360	106	15	32
3.4	5.7	0.7	3150	110	16	31
3.3	5.6	0.7	3030	116	17	30
3.3	5.5	0.7	2880	118	18	30
3.2	5.0	0.6	2340	122	20	28
3.0	4.5	0.6	2030	129	23	26
3.0	4.4	0.6	1520	132	25	25

TABLA II Torque constante ($\Gamma = 1.0$ Lb-Pie)

I _{am} (Amp)	I _{ag} (Amp)	Γ (Lb-P)	W (RPM)	I _f (mA)	V _f (v)	V _g (v)
4.0	7.5	1.0	3460	128	18	44
3.8	7.5	1.0	3240	137	20	43
3.8	7.0	1.0	3000	140	18	39
3.7	7.0	1.0	2860	140	20	38
3.7	6.5	1.0	2700	150	22	37
3.6	6.0	0.9	2240	152	24	35
3.4	4.5	0.9	2030	169	27	32
3.3	4.0	0.8	1720	172	29	30

TABLA III Torque constante ($\Gamma = 2.0$ Lb-Pie)

I _{am} (Amp)	I _{ag} (Amp)	Γ (Lb-P)	W (RPM)	I _f (mA)	V _f (v)	V _g (v)
5.2	10.5	2.0	3400	186	26	58
5.1	10.3	2.0	3200	196	28	58
4.9	10.0	2.0	2970	206	30	56
4.8	9.0	2.0	2600	207	31	52
4.7	8.5	1.9	2450	218	32	49
4.7	8.3	1.9	2240	242	33	46
4.7	8.0	1.8	2100	256	37	44
4.6	7.5	1.8	1720	262	39	44

TABLA IV Torque constante ($\Gamma = 3.0$ Lb-Pie)

I _{am} (Amp)	I _{ag} (Amp)	Γ (Lb-P)	W (RPM)	I _f (mA)	V _f (v)	V _g (v)
6.2	13.5	3.0	3330	263	38	75
6.0	13.0	3.0	3220	273	39	73
5.9	12.5	3.0	3000	272	38	68
5.8	12.0	2.9	2770	274	39	65
5.7	10.5	2.9	2460	286	41	60
5.4	9.5	2.8	2170	290	41	53
5.2	8.5	2.7	1900	292	42	46
5.1	7.4	2.6	1720	293	43	38

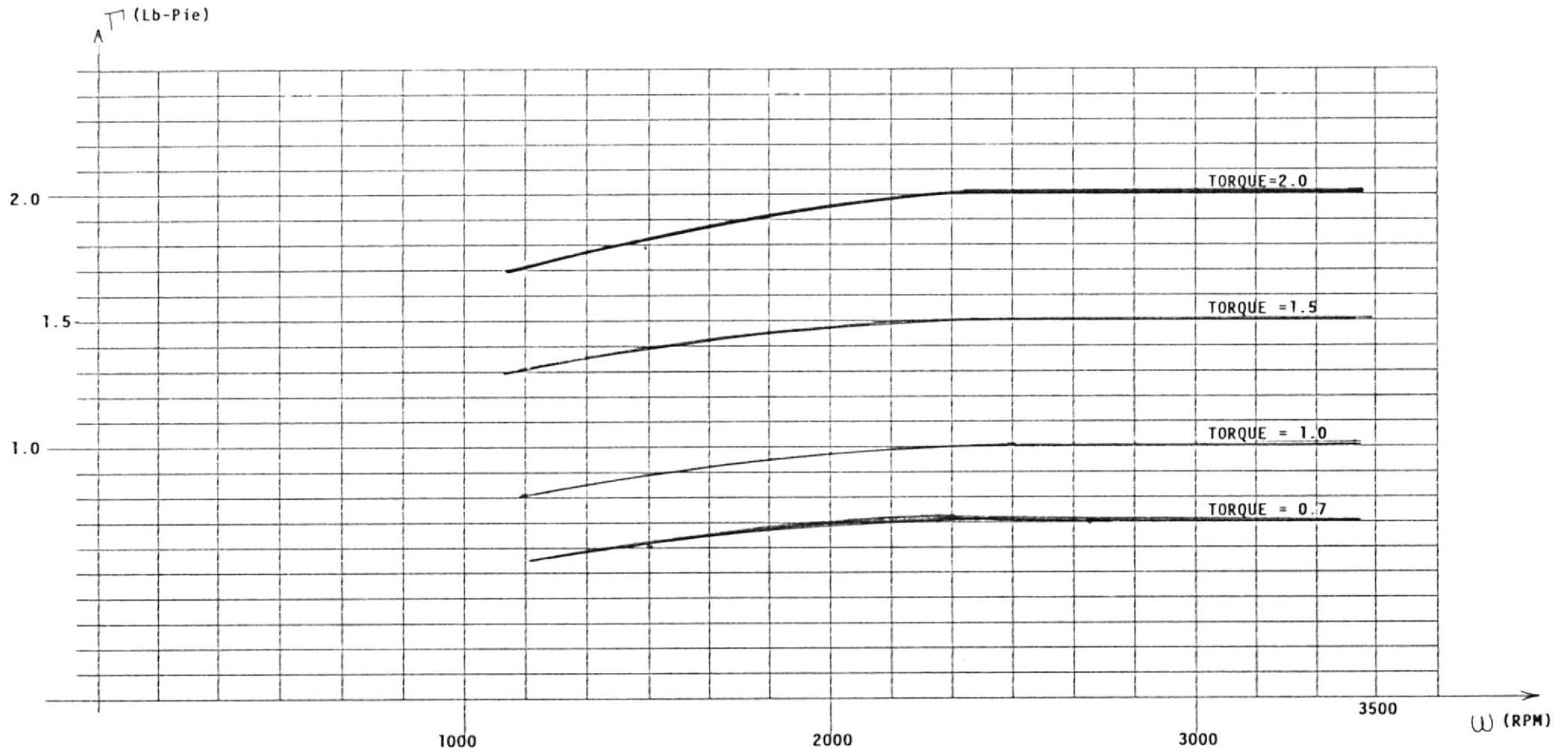


Figura 5.1 Resultados Obtenidos τ (Torque) vs. ω (Velocidad)

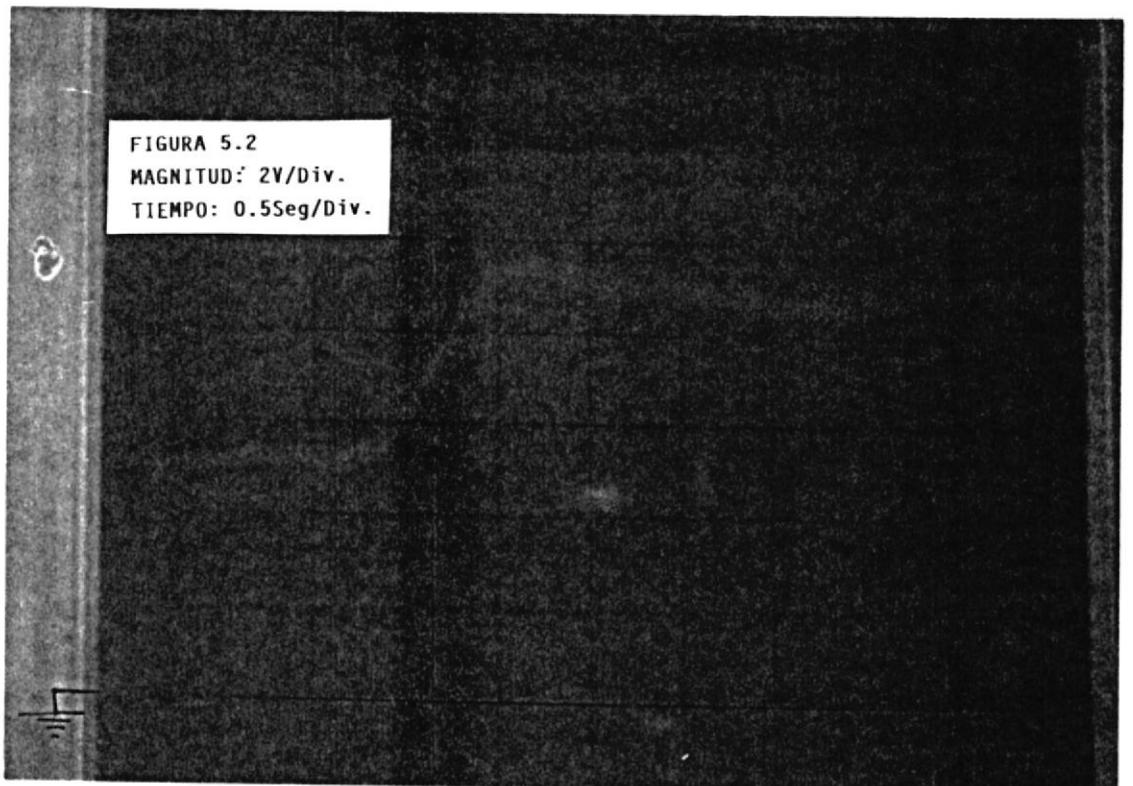
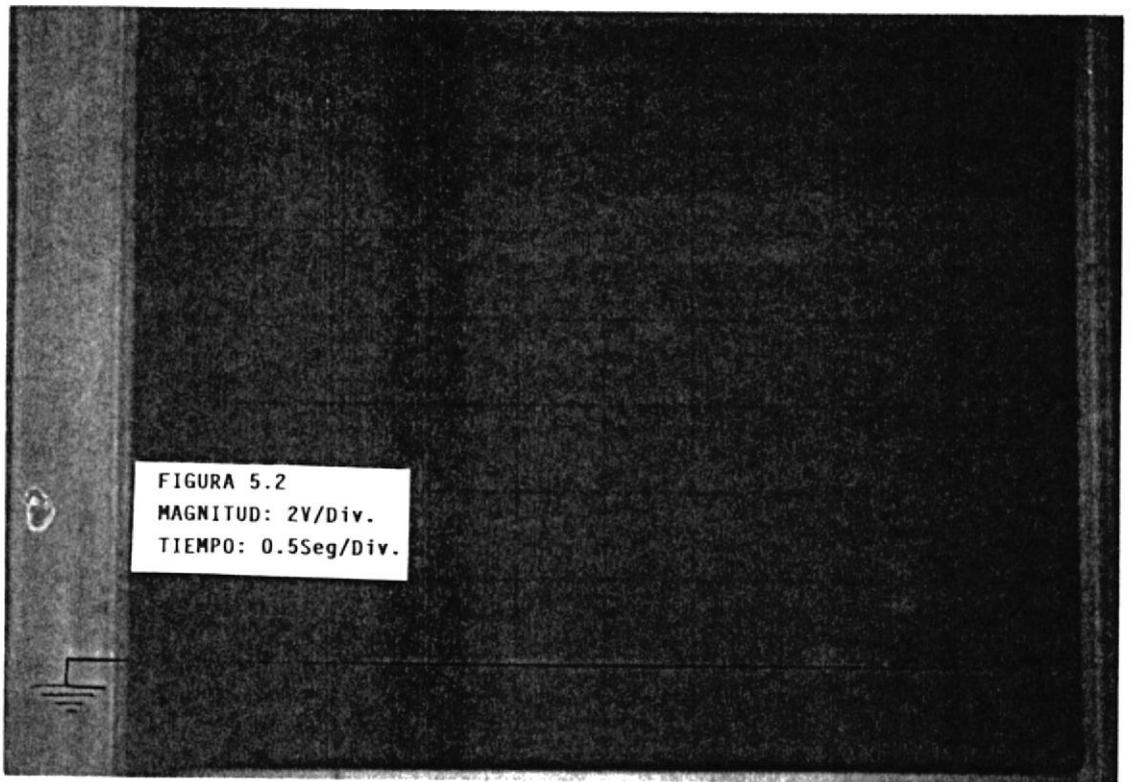


FIGURA 5.2 ARRIBA: Respuesta del controlador a una perturbación de entrada de carga.
ABAJO : Respuesta del torquímetro a una perturbación en la entrada de torque(Referencia)

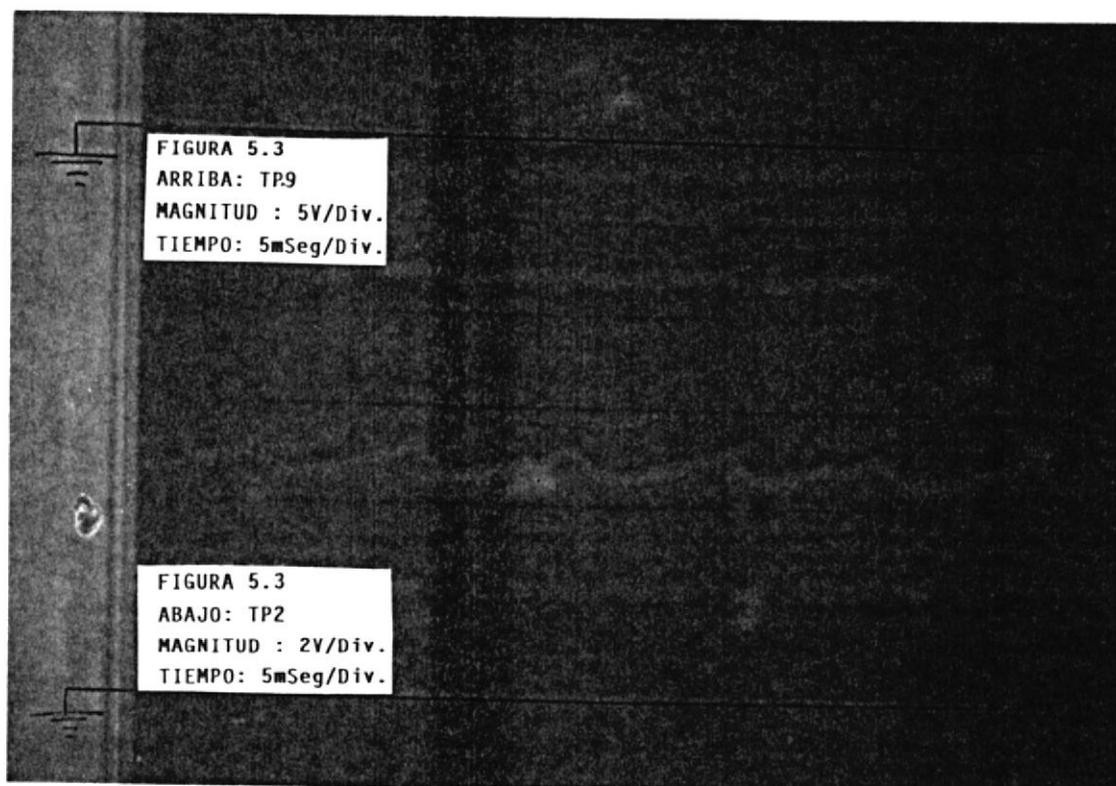
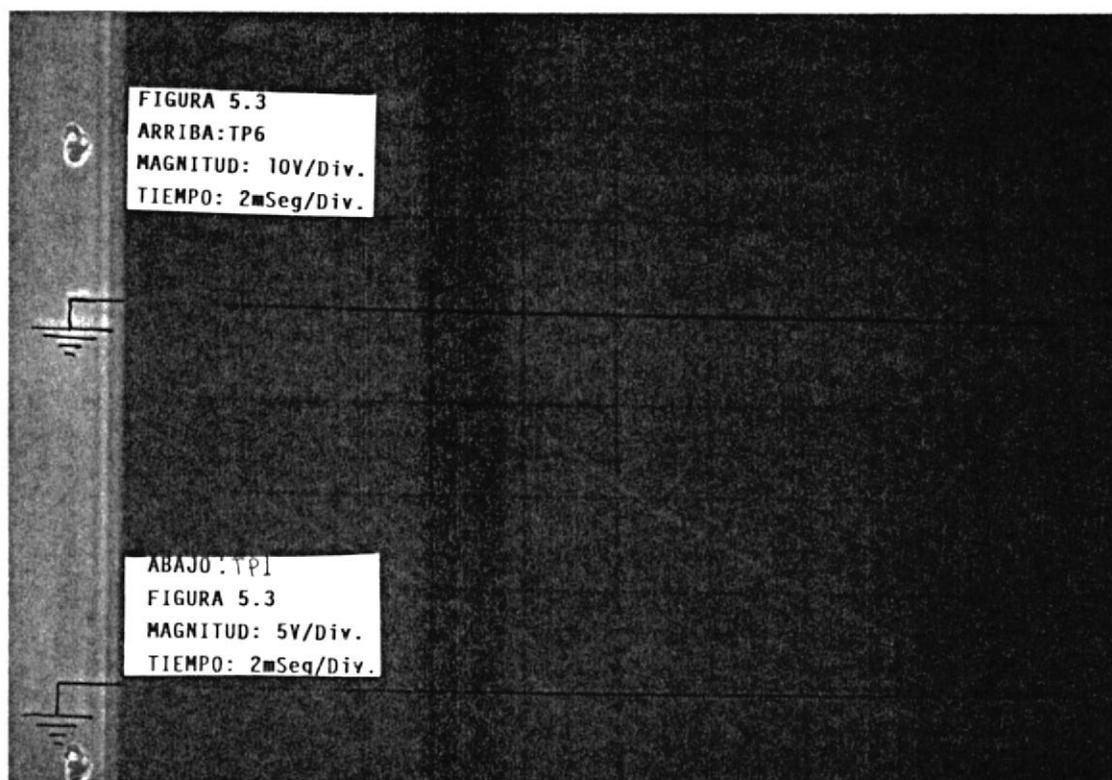


FIGURA 5.3 ARRIBA: Forma de onda en tarjeta control de Torque
Puntos: TP6 y TP1.
ABAJO : Forma de onda en tarjeta control de Toque
Puntos: TP9 y TP2

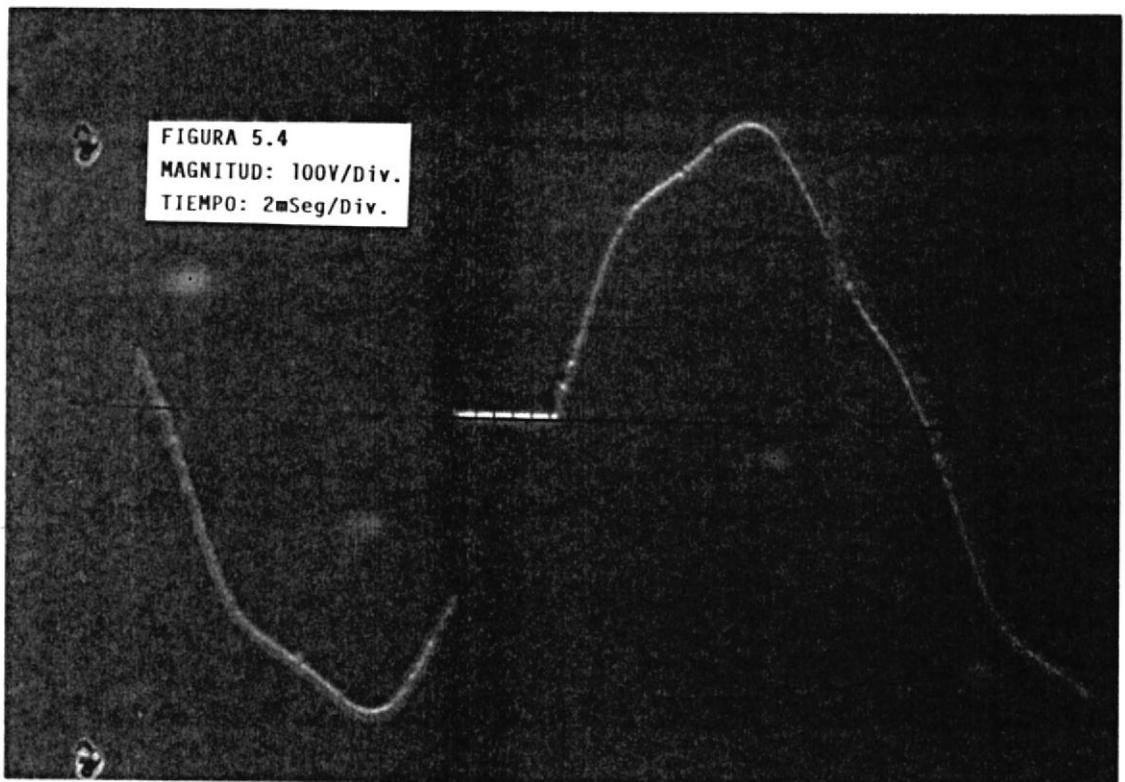
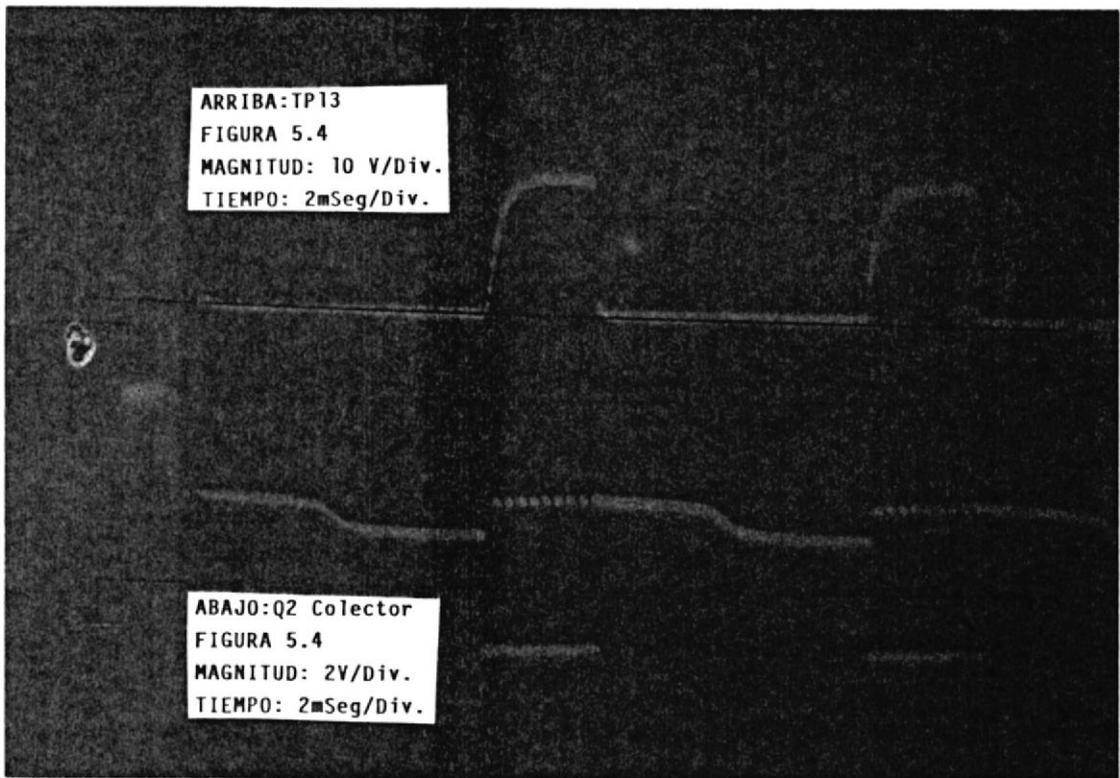


FIGURA 5.4 ARRIBA : Forma de onda en tarjeta control de Torque
 Puntos : TP13 y Colector de Q2
 ABAJO : Forma de onda del voltaje ánodo-cátodo SCR1

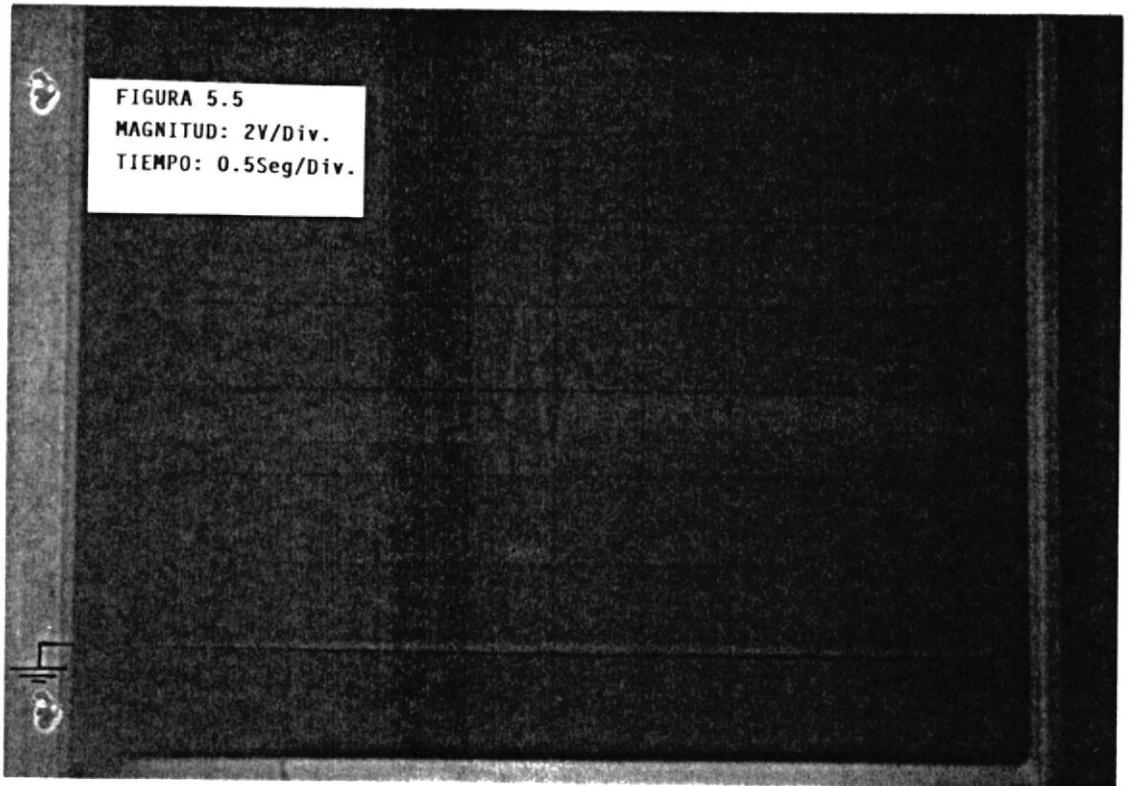
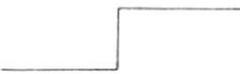


Figura 5.5 Respuesta del controlador provocado por una señal escalón en la referencia de Torque

SEÑAL DE ENTRADA: 

=====

ANTES DE PERTURBACION	DESPUES DE PERTURBACION
-----------------------	-------------------------

=====

Vgenerador = 40 v	Vgenerador = 45 v
Iarm.gen. = 7.5A	Iarm.gen = 8.2 A
W (RPM) = 2350	W(RPM) = 1880
τ (Lb-Pie) = 1.5	τ (Lb-Pie) = 2.5
Vreferencia= -8.9 v	Vreferencia= -13.5 v

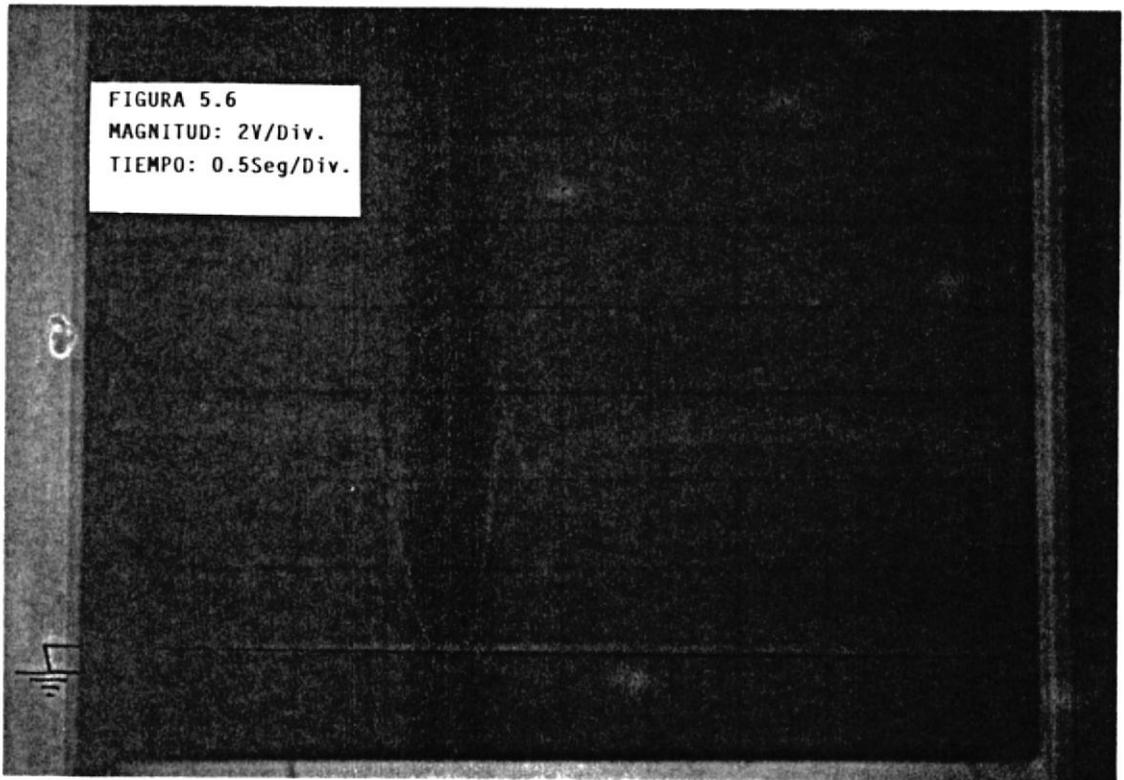


Figura 5.6 Respuesta del controlador provocado por una señal escalón en la referencia de Torque

SEÑAL DE ENTRADA:



=====

ANTES DE PERTURBACION	DESPUES DE PERTURBACION
-----------------------	-------------------------

=====

Vgenerador = 68 v	Vgenerador = 57 v
Iarm.gen. = 12.5A	Iarm.gen = 10 A
W (RPM) = 3350	W(RPM) = 3400
τ (Lb-Pie) = 2.7	τ (Lb-Pie) = 1.9
Vreferencia= -13.2 v	Vreferencia= - 9.8 v

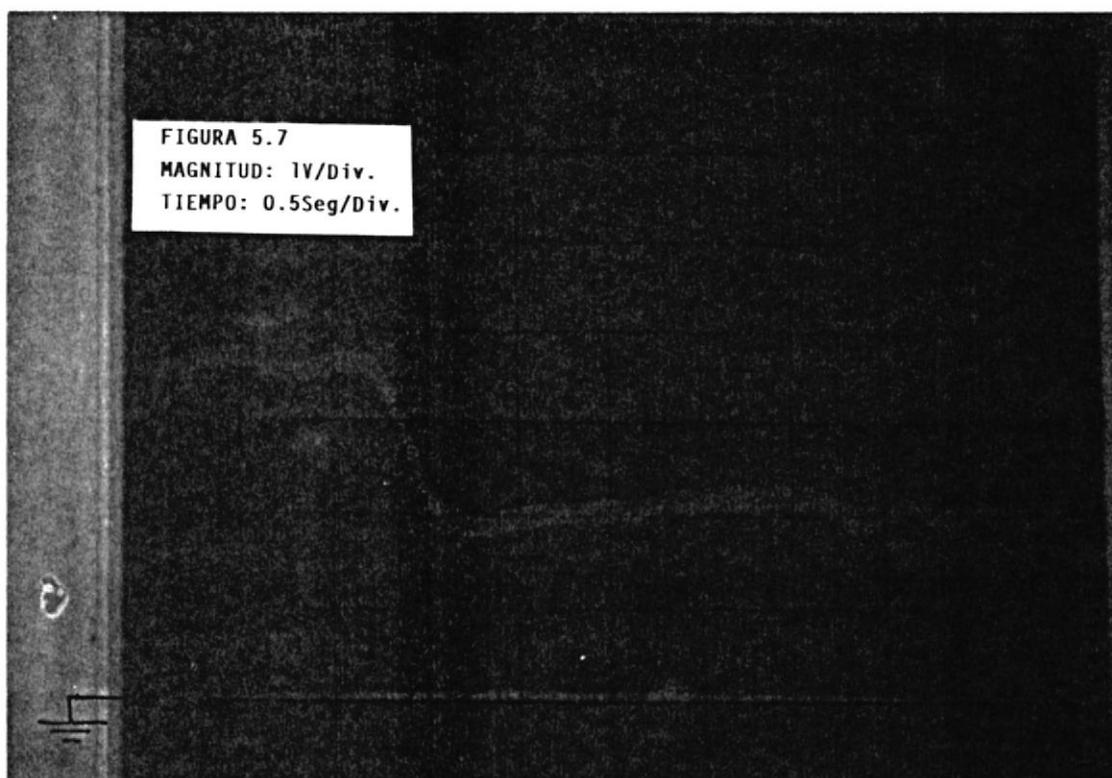


Figura 5.7 Respuesta del Torquímetro provocado por una señal escalón en la referencia de Torque

SEÑAL DE ENTRADA:



=====

ANTES DE PERTURBACION

DESPUES DE PERTURBACION

=====

Vgenerador = 44 v

Vgenerador = 32 v

Iarm.gen. = 7.5 A

Iarm.gen = 6 A

W (RPM) = 2180

W(RPM) = 2730

Γ (Lb-Pie) = 1.8

Γ (Lb-Pie) = 1.0

Vreferencia= -10.5 v

Vreferencia= - 6.0 v

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Se logra demostrar que es posible controlar el torque de un motor, si se controla el campo de un generador DC acoplado a su eje, CAPITULO II.
- La medición del torque y la señal de realimentación se lleva a cabo con la construcción de un prototipo mecánico que usa galgas extensométricas para el muestreo de una deflexión lineal, que es proporcional al desplazamiento angular de un dinamómetro o generador DC.
- Mediciones de velocidad de un motor pueden ser hechas con una sola muestra de pulso tomada directamente del eje de un motor usando elementos optoacopladores Reflectivos.
- Se puede usar el Tacómetro para medir la velocidad de cualquier motor si se acopla en su eje un material reflectivo y se acerca un mínimo de 0.5 Cm el elemento reflectivo.
- Si se desea, es posible obtener mediciones del torque en otras unidades como por ejemplo Newton-Metros u otra deseada; para ello basta hacer las calibraciones en el circuito de medición de torque, previo el factor constante de conversión.

RECOMENDACIONES

- La recomendación mas importante radica en ver si se desean mediciones de torque mayores a 7 Lb-pie. Para ello se debe seleccionar un nuevo resorte tomando en cuenta que el desplazamiento lineal del instrumento (denominado Torquímetro) no exeda 3 Cm lineales y que el contrapeso inicial debe ser de 7 Lb.

- Debe tenerse cuidado con la colocación exacta de las tarjetas de circuito impreso. Se debe guiar con una flecha pintada en la que la dirección de la misma indica la correcta posición, dado que un error puede deteriorar a una de ellas.

- Las uniones de los conectores debe de realizarse con cuidado especialmente los colores del conector del elemento óptico, además si es preciso, conseguirse una llave Allen de 3 mm para ajustar el conector del transformador de entrada y un destornillador fino para las demas conexiones.

- Cuando se desee usar el banco de pruebas para observar las respuestas del sistema a un escalón de torque, es preciso recordar que esta señal de voltaje debe ser negativa y para lograr simular la señal escalón basta con desplazar un interruptor localizado en frente del banco de esta manera se logra un correcto funcionamiento.

APENDICES

Esta sección describirá algunas ayudas para los diseños antes dados. Los apéndices indicarán de una manera simplificada detalles de las características propias de los elementos electrónicos y mecánicos de mayor importancia usados en esta tesis. De manera general se indica a continuación el contenido de cada apéndice:

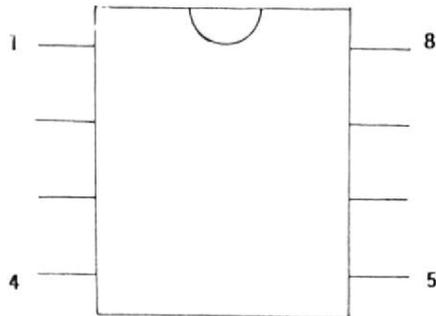
- APENDICE A : Circuitos Integrados
- APENDICE B : Diseño del Torquímetro
- APENDICE C : Conexiones eléctricas del módulo electrónico
- APENDICE D : Diseño del transformador de Fuerza

APENDICE A

Este apéndice dá información de los principales circuitos integrados que forman parte de los diseños de medición de torque y medición de velocidad. Se dá la información más relevante que se cree conveniente. Los circuitos integrados más importantes son:

- LM725CN
- LM310N
- CD4046
- TL074CN
- CA3162E
- 7217IJI
- OPB709

- LM725CN (Operacional de Instrumentación)



VISTA SUPERIOR

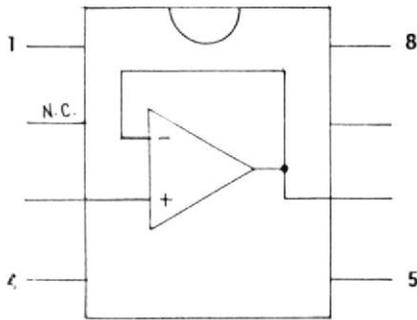
Descripción de los pines

- 1) Balance
- 2) Entrada inversora
- 3) Entrada no inversora
- 4) Polarización negativa
- 5) Compensación
- 6) Salida
- 7) Polarización positiva
- 8) Balance

CARACTERISTICAS

- Alta ganancia de lazo abierto	3.000.000
- Bajo voltaje de entrada por influencias térmicas	0.6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- Alta relación de rechazo de modo común	120dB
- Baja corriente de desbalance de entrada	2 nA
- Rango de voltaje de entrada	$\pm 14\text{v}$
- Rango de polarización	$\pm 3\text{v}$ a $\pm 22\text{v}$
- Protección de corto circuito en la salida	infinito

- LM310N (Operacional seguidor de voltaje)



VISTA SUPERIOR

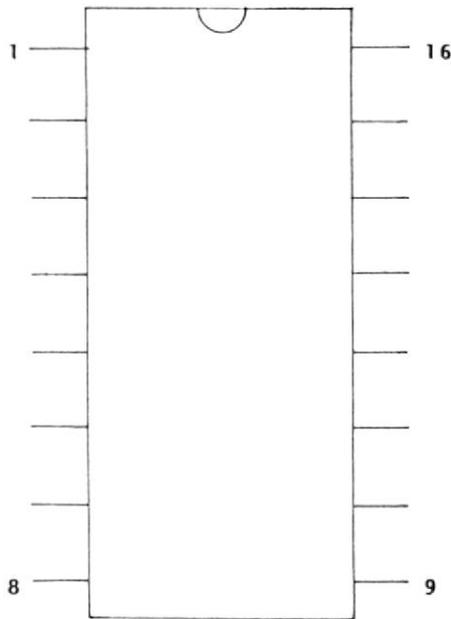
Descripción de los pines

- 1) Balance
- 2) no usada
- 3) Entrada
- 4) Polarización negativa
- 5) Compensación
- 6) Salida
- 7) Polarización positiva
- 8) Balance

CARACTERISTICAS

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| - Ganancia de voltaje | 0.999 V/V |
| - Voltaje de decalaje en la entrada | 6 mV |
| - Resistencia de entrada | $10^{12} \Omega$ |
| - Rango de voltaje de alimentación | $\pm 5v$ a $\pm 18v$ |
| - Corriente de alimentación | 2 mA |
| - Resistencia de salida | 0.75 Ω |

- CD4046 (Enganchador de lazo de fase)



VISTA. SUPERIOR

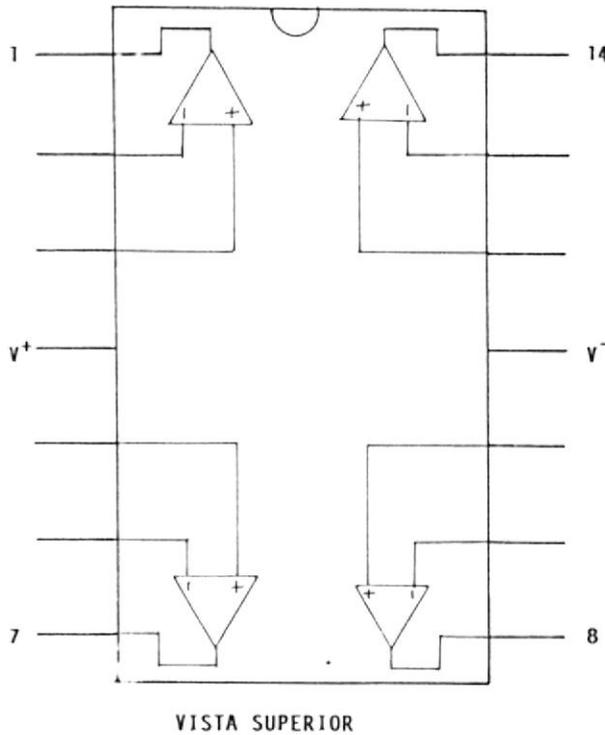
Descripción de los pines

- 1) Pulsos de fase
- 2) Salida comparador I
- 3) Entrada comparador de Fase
- 4) Salida VCO
- 5) Habilitador
- 6) Capacitor
- 7) Capacitor
- 8) Tierra
- 9) Entrada del VCO
- 10) Salida del demodulador
- 11) Resistencia a tierra
- 12) Resistencia compensadora.
- 13) Salida comparador II
- 14) Señal de entrada
- 15) Zener
- 16) Polarización V_{DD}

CARACTERISTICAS

- Amplio rango de voltaje de alimentación 3v a 18v
- Frecuencia del VCO 1.3 MHz a $V_{DD}=10$
- Baja variación del voltaje de salida
por influencias térmicas 0.06%/°C a $V_{DD}=10$
- Alta linealidad del VCO 1 % (tipico)
- Usado como convertidor de V a f

- TL074CN (4 circuitos operacionales de entrada J-FET)



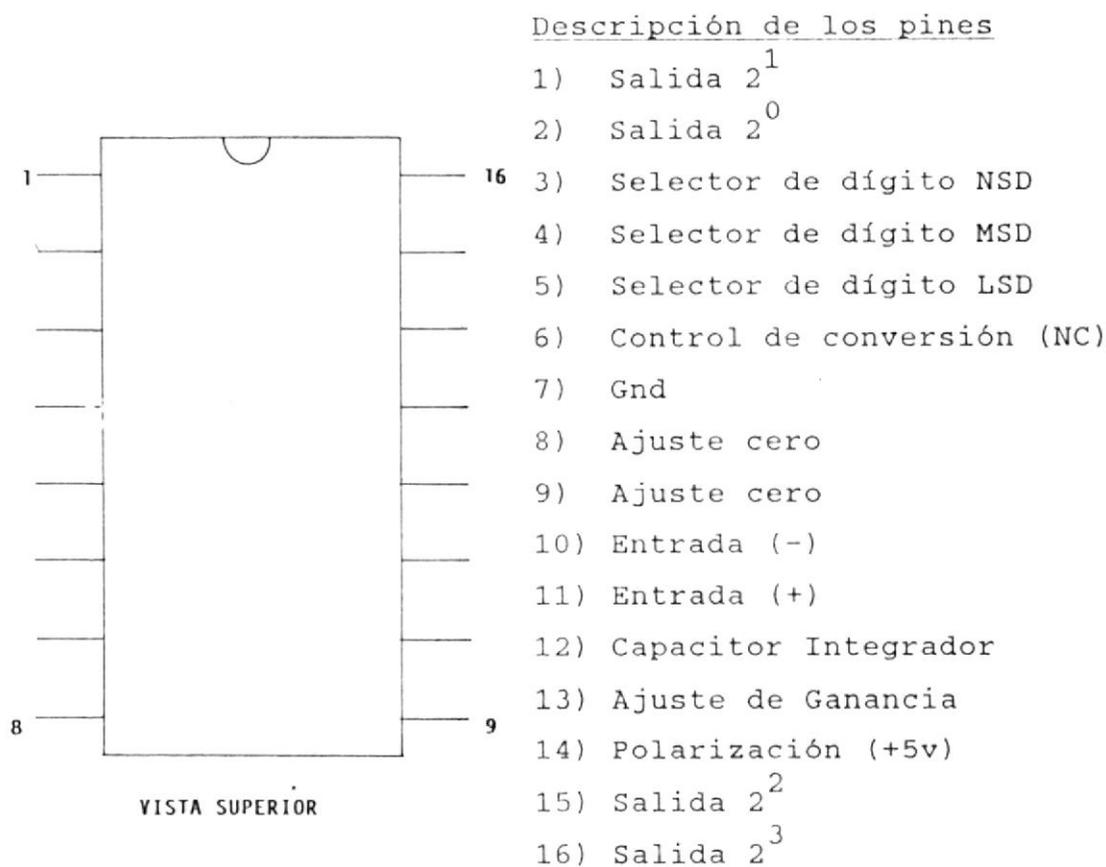
Descripción de los pines

- 1) Salida 1
- 2) Entrada inversora1
- 3) Entrada no inversora1
- 4) Polarización Positiva
- 5) Entrada no inversora2
- 6) Entrada inversora2
- 7) Salida 2
- 8) Salida 3
- 9) Entrada inversora3
- 10) Entrada no inversora3
- 11) Polarización Negativa
- 12) Entrada no inversora4
- 13) Entrada inversora4
- 14) Salida 4

CARACTERISTICAS

- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| - Bajo nivel de ruido | $V_n = 18nV/\sqrt{Hz}$ |
| - Baja distorsión de armonicos | 0.01 % |
| - Amplio rango de voltaje diferencial | $\pm 12v$ |
| - Resistencia de entrada | $10^{12} \Omega$ |
| - Relación de rechazo de modo común | 86 dB |
| - Voltaje máximo de alimentación | $\pm 18v$ |
| - Tiempo protección de cortocircuito | infinito |

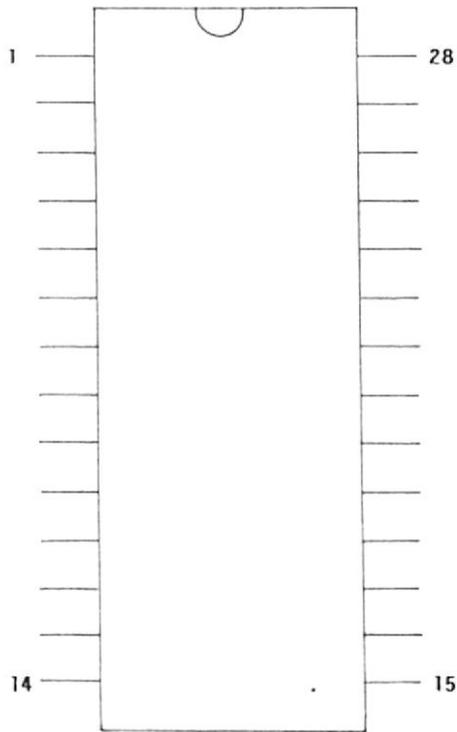
- CA3162E (Convertidor A/D Integrador de doble Pendiente)



CARACTERISTICAS

- Máximo voltaje de alimentación + 6v
- Máximo voltaje de entrada $\pm 15v$
- Capaz de medir hasta 99 mV por debajo de la tierra lógica
- Temporizador de Multiplexación incluido
- Corriente en los terminales 3, 4 y 5 2.5mA
- Impedancia de entrada 100 M Ω
- MSD = Dígito mas significativo
- NSD = Siguiete dígito significativo
- LSD = Dígito menos significativo

- 7217IJI (Contador CMOS de 4 dígitos, desplegador y manejador de corriente)



VISTA SUPERIOR

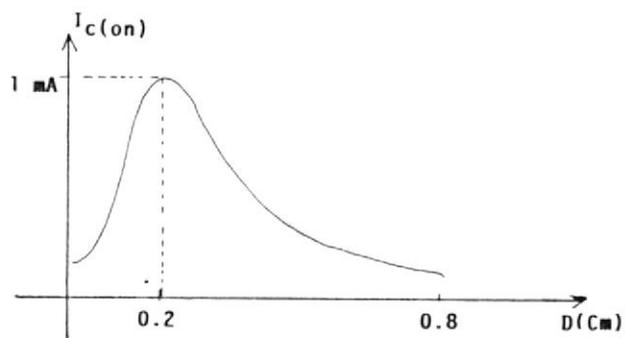
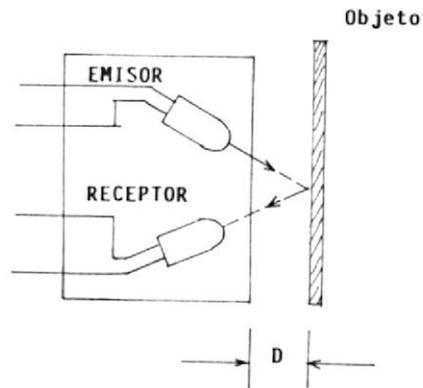
Descripción de los pines usados

- 8) Entrada de pulsos
- 9) Almacenar
- 10) Contaje Up=+5v
Down=0v
- 14) Borrado
- 15) Seg c
- 16) Seg a
- 17) Seg d
- 18) Seg f
- 19) Seg e
- 20) Gnd
- 21) Seg b
- 22) Seg g
- 24) +V = 5v
- 25) Dígito 4
- 26) Dígito 3
- 27) Dígito 2
- 28) Dígito 1

CARACTERISTICAS

- Fuente de alimentación + 5v
- Protegido contra descargas eléctricas
- Control para desplegar blancos incorporado para economía de energía
- Salidas compatibles con TTL
- Schmitt trigger en el contaje de entrada
- Oscilador de Multiplexación incluido

- OPB709 (Opto-acoplador Reflectivo)



CARACTERISTICAS

- $I_c(\text{on})$ typ	10.000 μA
- $I_c(\text{on})$ min	8.000 μA
- $I_c(\text{on})$ Max	12.000 μA

D = Distancia del elemento óptico al objeto

$I_c(\text{on})$ = Corriente del Colector del foto-darlington cuando éste está conduciendo

APENDICE B

Este apéndice dá a conocer con mayor detalle las partes constitutivas del torquímetro. Las diferentes piezas que aparecen dibujadas fueron diseñadas con valores en milímetros exactos; a continuación se dará el listado de los componentes mecánicos mas importantes:

GALGA EXTENSOMETRICA

- Resistencia	120Ω ± 0.3%
- Tipo de galga	EA-06-120LZ-120
- Factor de Galga	2.05 ± 0.5%
- Rango de temperatura	-75°C a +175°C
- Vida debido a fatigas	10 ⁸ ciclos a ±1200με 10 ⁸ ciclos a ±1500με
- Límites extensométricos	5% para galgas de 6mm 3% para galgas de 3mm

NOTA: με = micro-Nw/m²

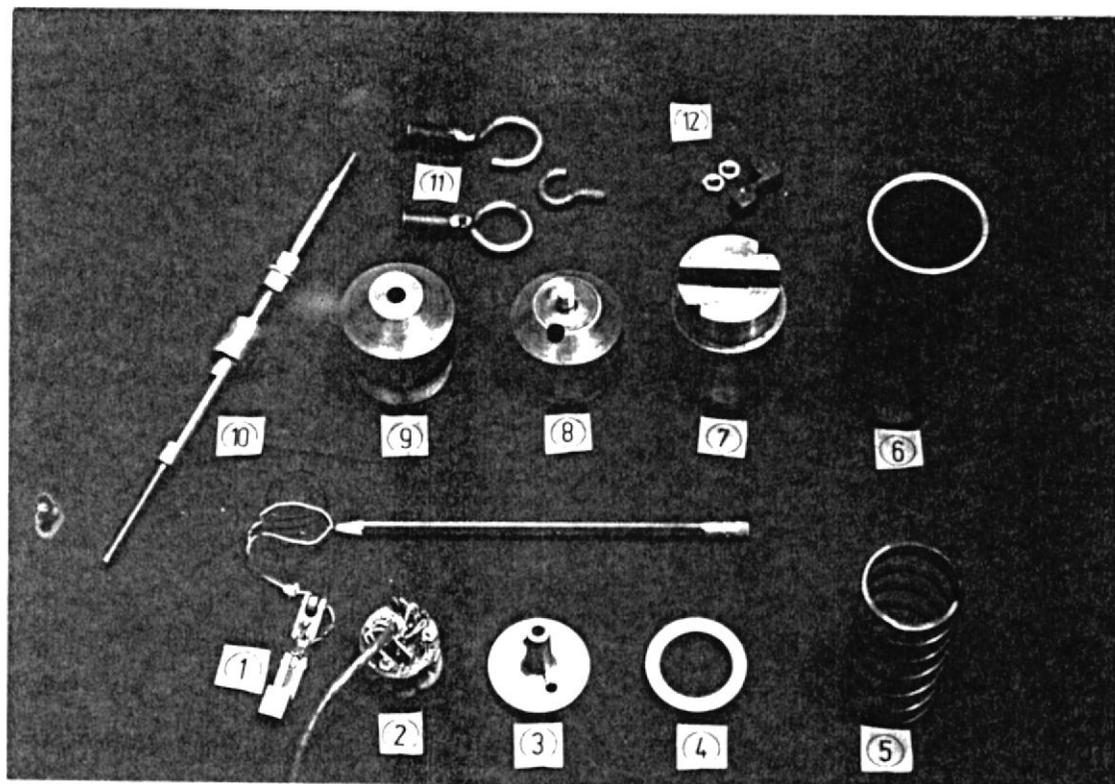
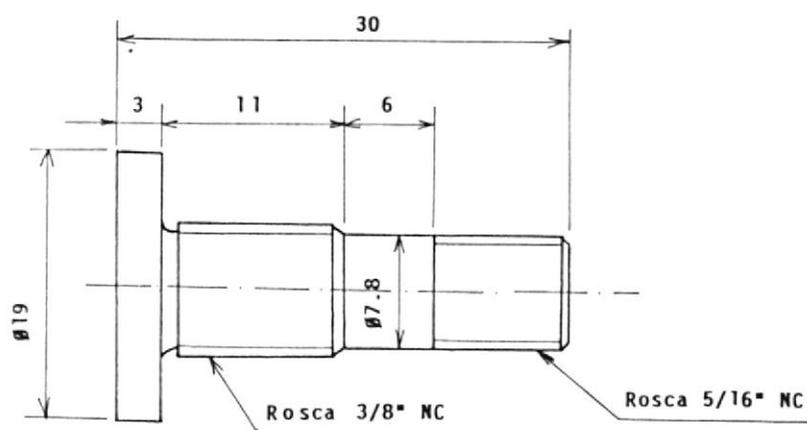
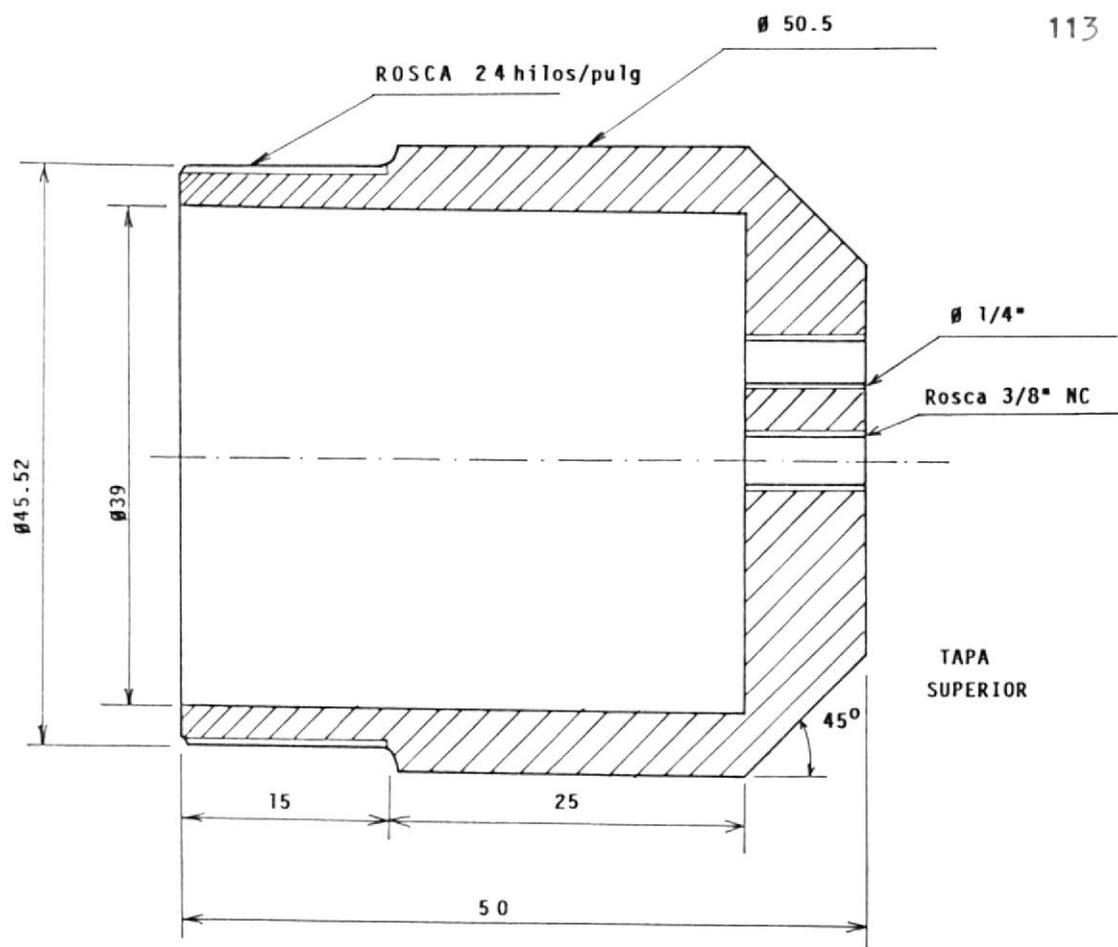


Figura B.1 Total de piezas que conforman el Torquímetro

DESCRIPCION

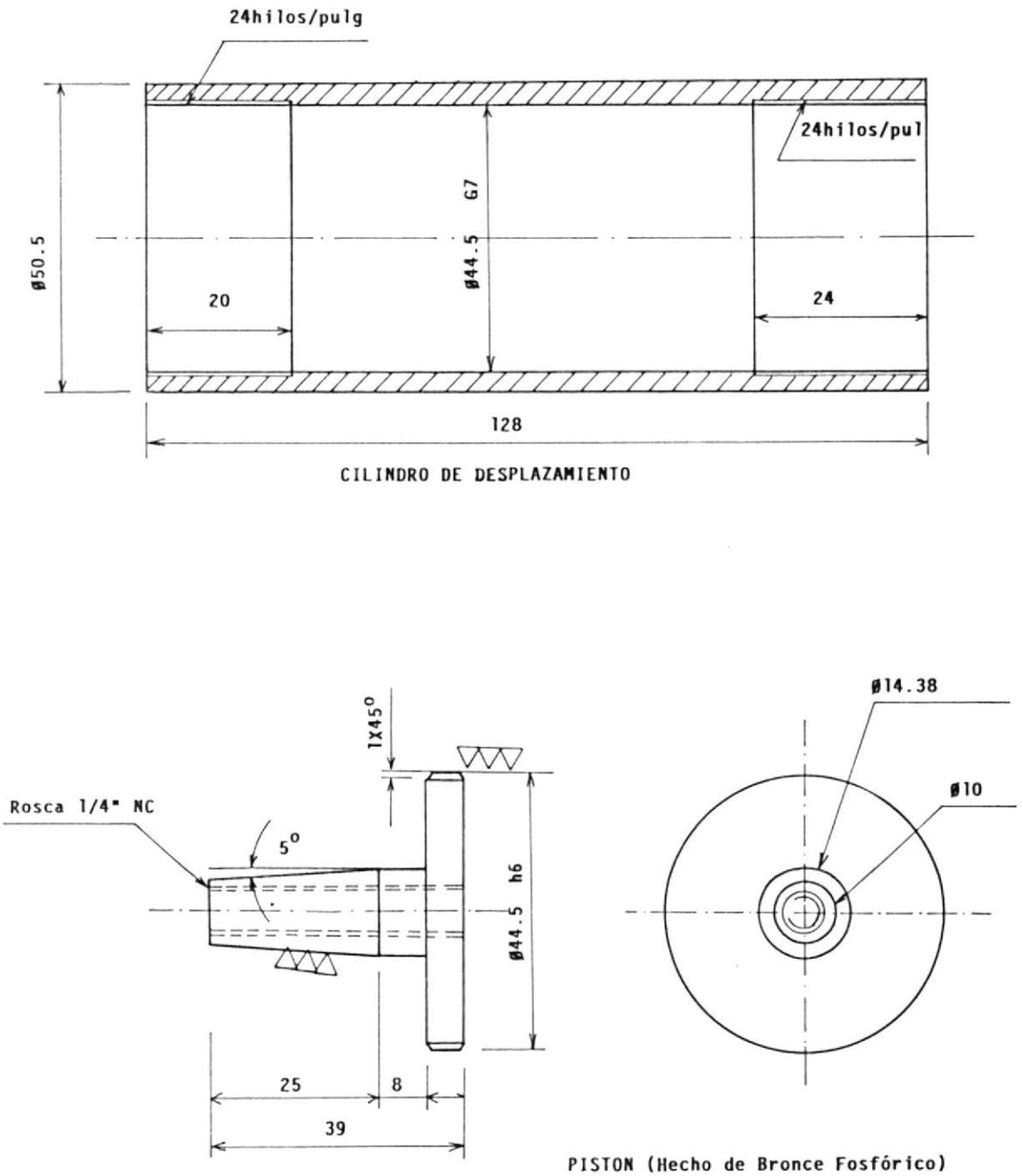
- 1) Placa de medición
- 2) Circuito amplificador de instrumentación
- 3) Pistón de Bronce Fosfórico
- 4) Anillo
- 5) Resorte
- 6) Cilindro de desplazamiento
- 7) Cabezal
- 8) Tapa Superior
- 9) Tapa inferior
- 10) Eje intermedio
- 11) Argollas
- 12) Accesorios de soporte(Sujetador del eje intermedio y tuercas)



SUJETADOR SUPERIOR

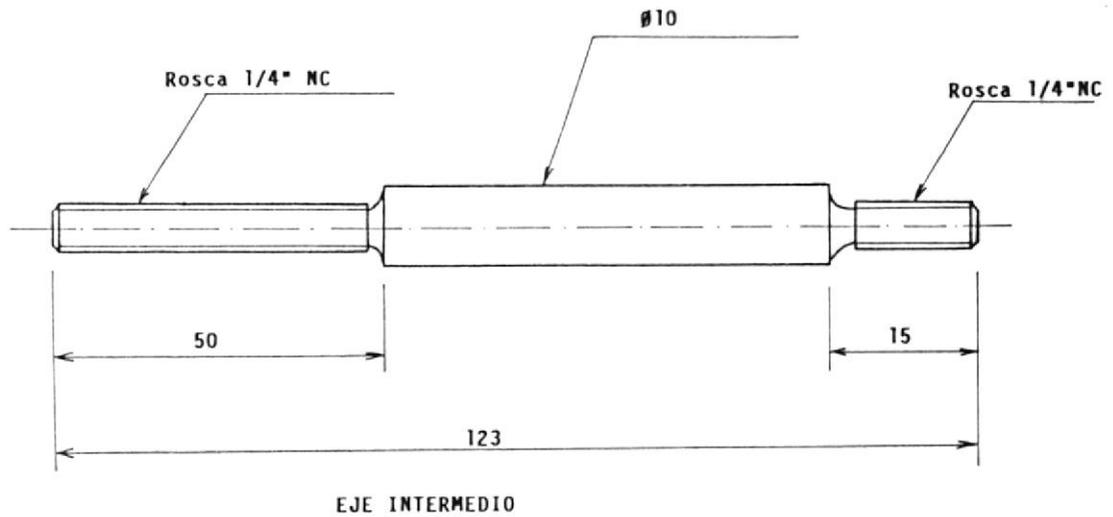
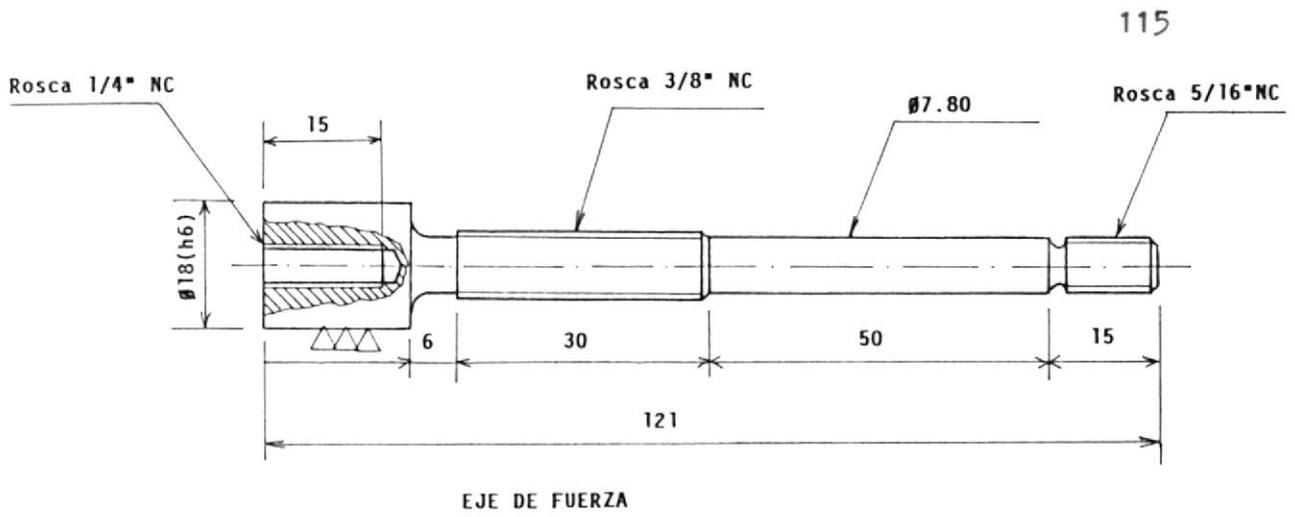
NOTA: Todas las medidas no indicadas estan en milímetros

Figura B.2 Piezas del Torquímetro: -TAPA SUPERIOR
-SUJETADOR SUPERIOR



NOTA: Todas las medidas que no están indicadas son en milímetros

Figura B.3 Piezas del Torquímetro: -CILINDRO DE DESPLAZAMIENTO
-PISTON



NOTA: Todas las medidas que no estan indicadas son en milímetros

Figura B.4 Piezas del Torquímetro: -EJE DE FUERZA
-EJE INTERMEDIO

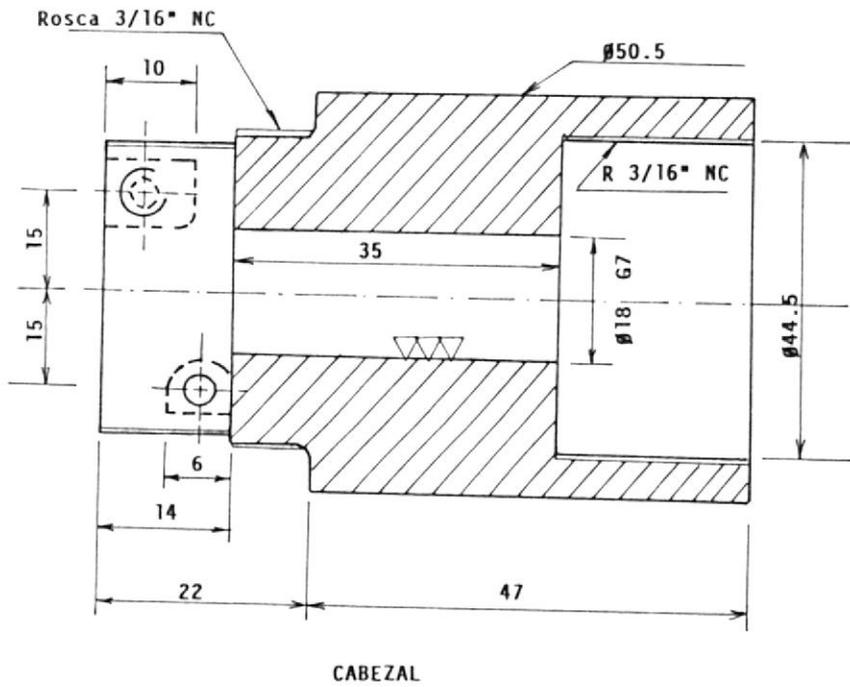
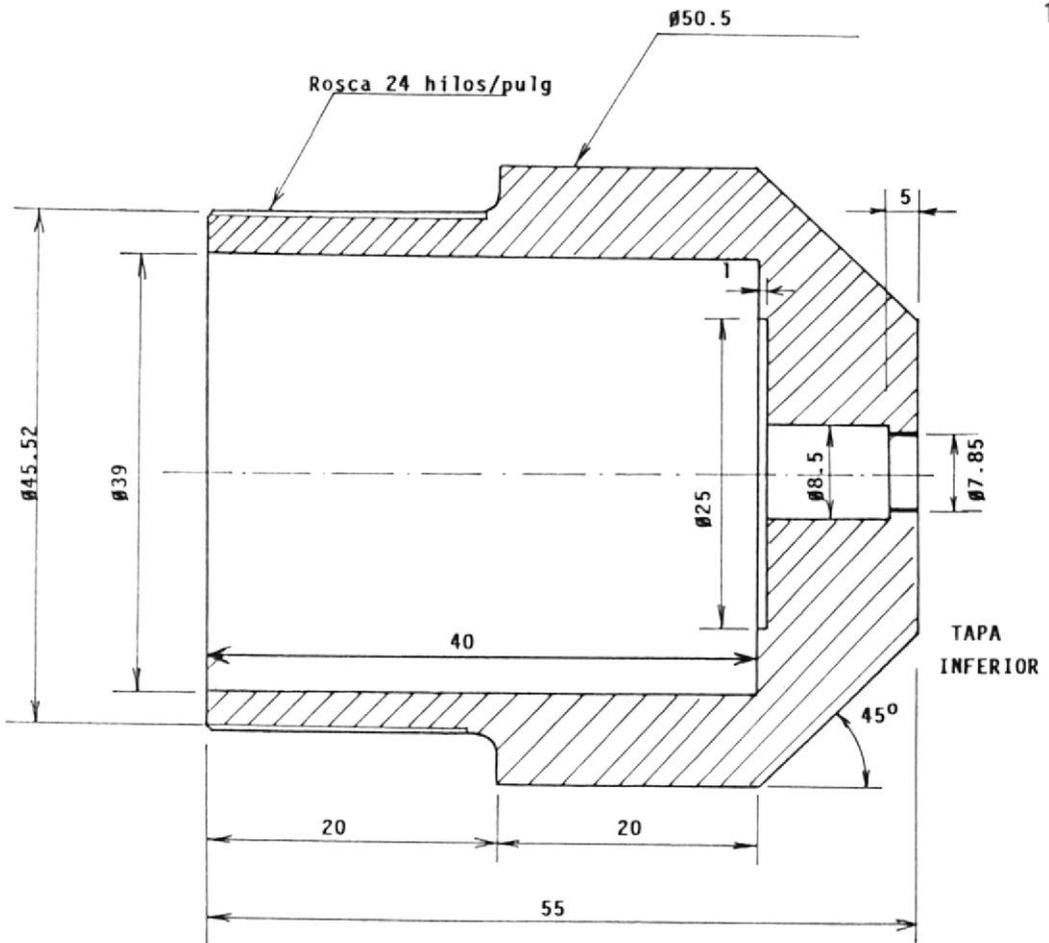


Figura B.5 Piezas del Torquímetro: -TAPA INFERIOR
-CABEZAL

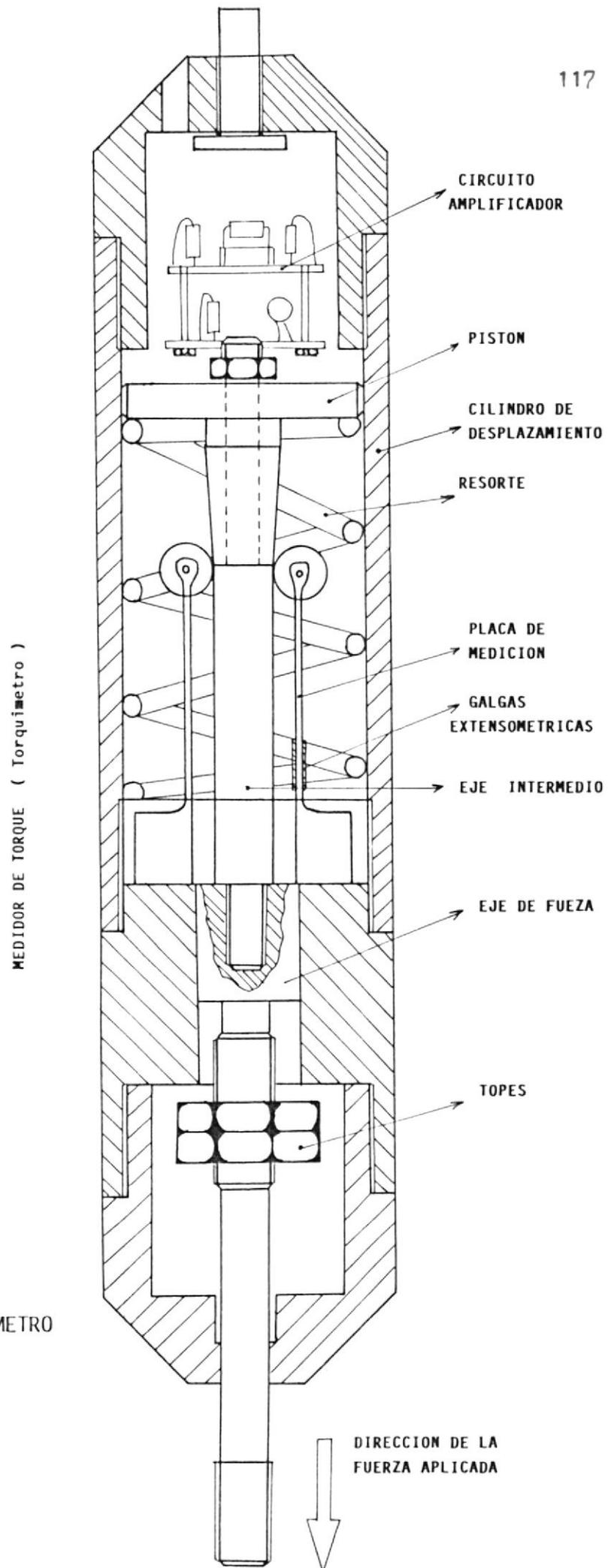


Figura B.6 TORQUIMETRO

APENDICE C

En ésta sección se dará a conocer las conexiones físicas realizadas en las interfases mecánicas y eléctricas. Para armar el sistema se procede como se indica:

- Se verifica las conexiones hechas en la regleta dada en la parte posterior del módulo electrónico y se conectan los cables del caso al campo del generador con la polaridad allí indicada.
- Se conecta el transformador de aislamiento con dos conectores; uno de 10 posiciones y el otro de 2 posiciones, siendo este último el encargado de la entrada de 220 Vac.
- Conectar el primario del transformador y el neutro (A, B y N)
- Montar el Torquímetro como se indica en las figuras de montajes de la máquina HAMPDEM (Figura 3.5b).
- Se conecta al módulo electrónico el conector DB9, teniendo en cuenta de atornillar el optoacoplador a una regleta de 3 posiciones con los colores como se indica en esta sección (no confundir los colores).
- Armar la máquina HAMPDEM como se indica en las figuras

4.5 y 4.6, usando para esto el plug 3 y poner adecuadamente las escobillas, esto es Brushes-4up.

- Al encender el conjunto, esperar 30 segundos aproximadamente hasta lograr una estabilidad térmica en las galgas extensométricas.

- Si al encender el motor se muestra polaridad negativa es decir se enciende el LED XC5491 en rojo (ver sección 2.2.2), apagar el motor e invertir 2 fases en el rotor.

Para mayor entendimiento del sistema se dan los dibujos esquemáticos de las conexiones eléctricas realizadas en todas las tarjetas electrónicas.

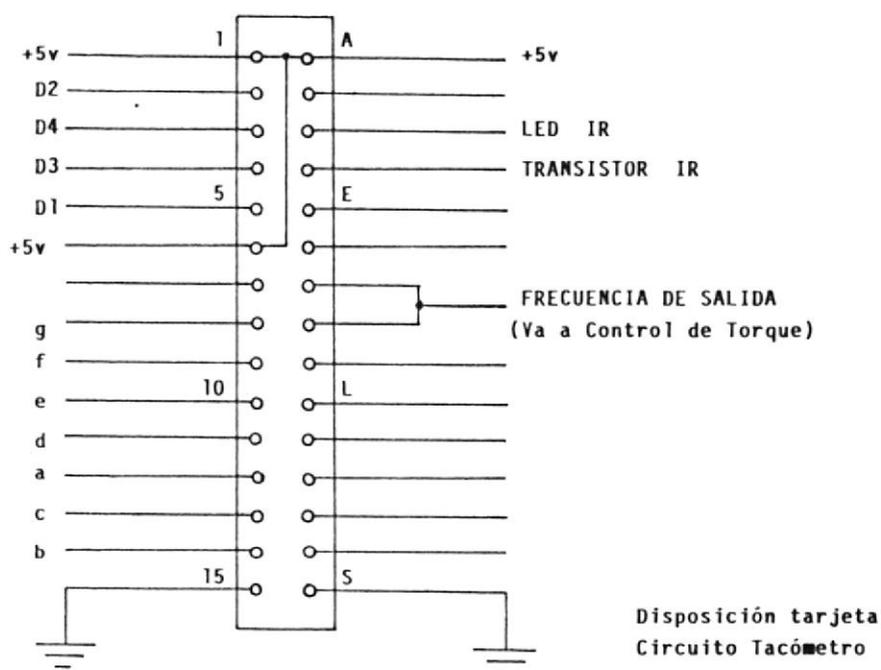
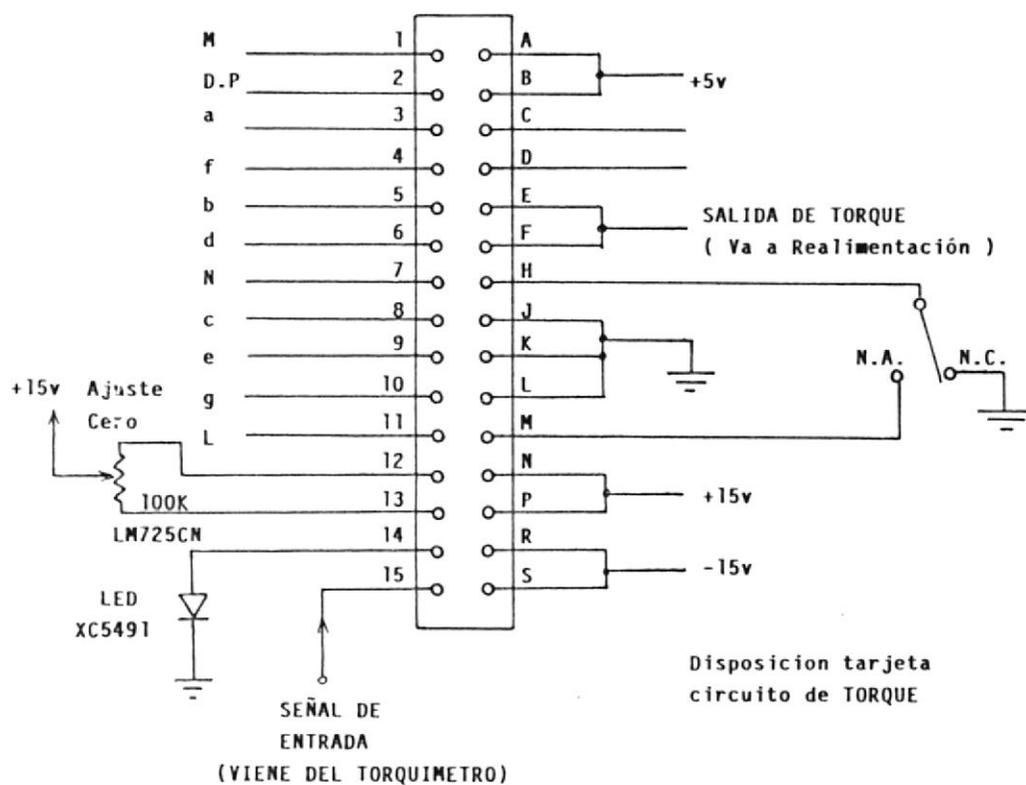
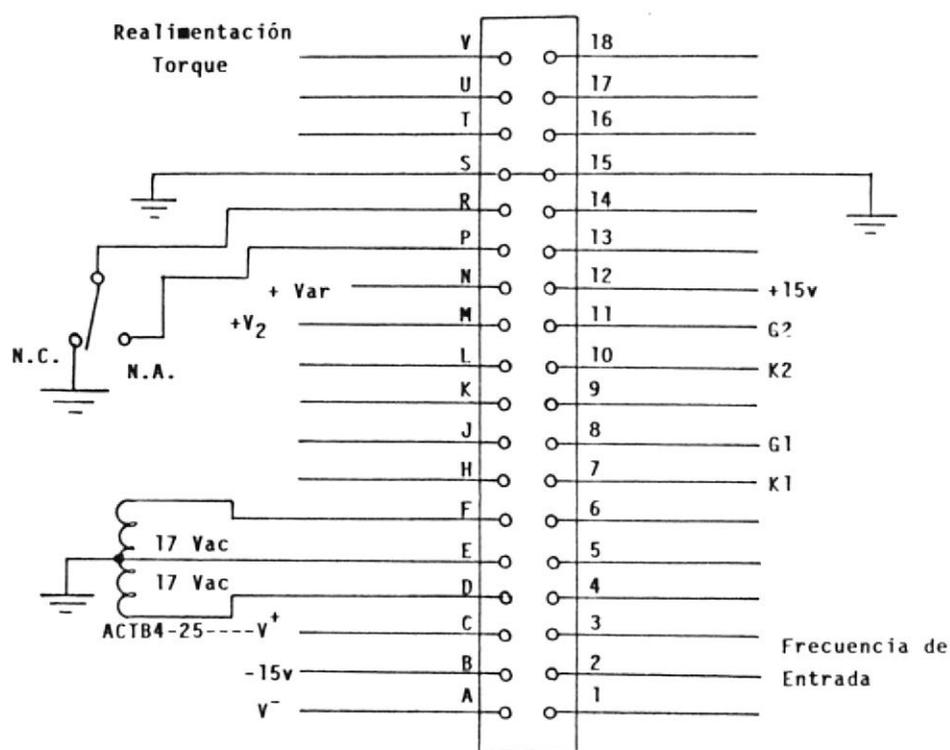
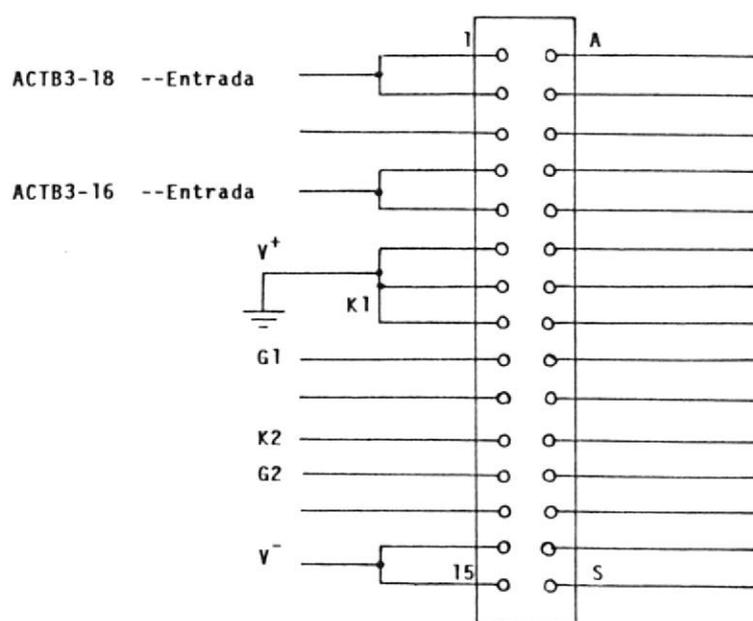


Figura C.1 Conexiones: -Circuito medidor de Torque
-Circuito del Tacómetro

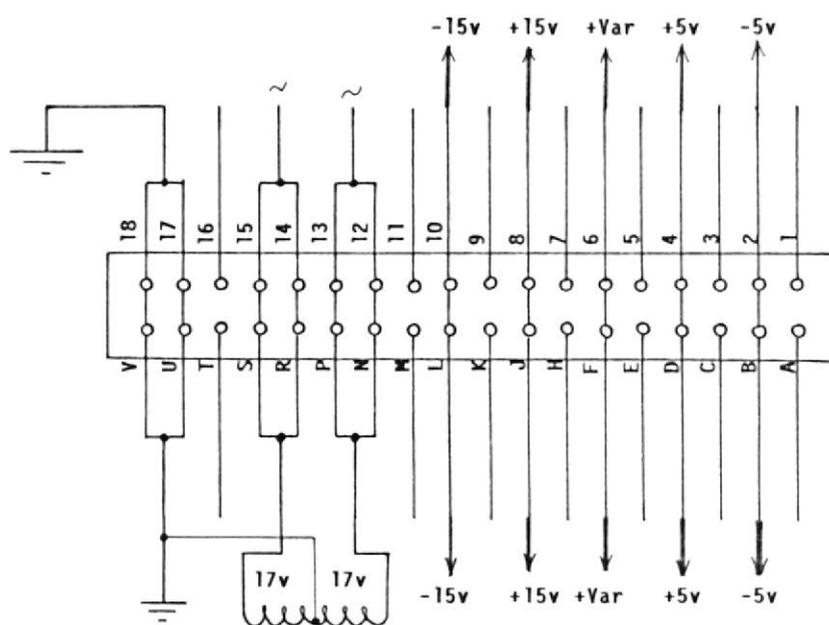


Disposición Tarjeta
Circuito Control de Torque

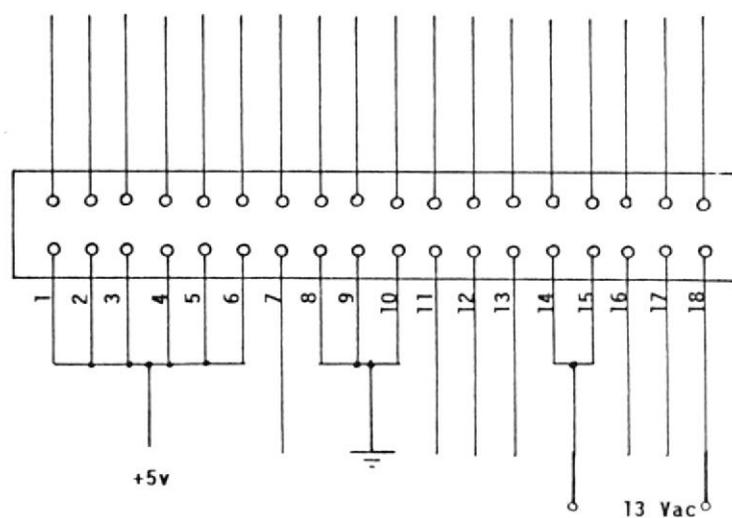


Disposición Tarjeta
Circuito de Fuerza

Figura C.2 Conexiones: -Circuito control de Torque
-Circuito de Fuerza



Disposición Tarjeta
Fuente $\pm 15v$, $\pm 5v$, $+Var(1.2-13v)$



Disposición Tarjeta
Fuente $+5v(800mA)$

Figura C.3 Conexiones: -Fuente $\pm 15v, \pm 5v, +Var$; todas 300mA
-Fuente $+5v, 800mA$

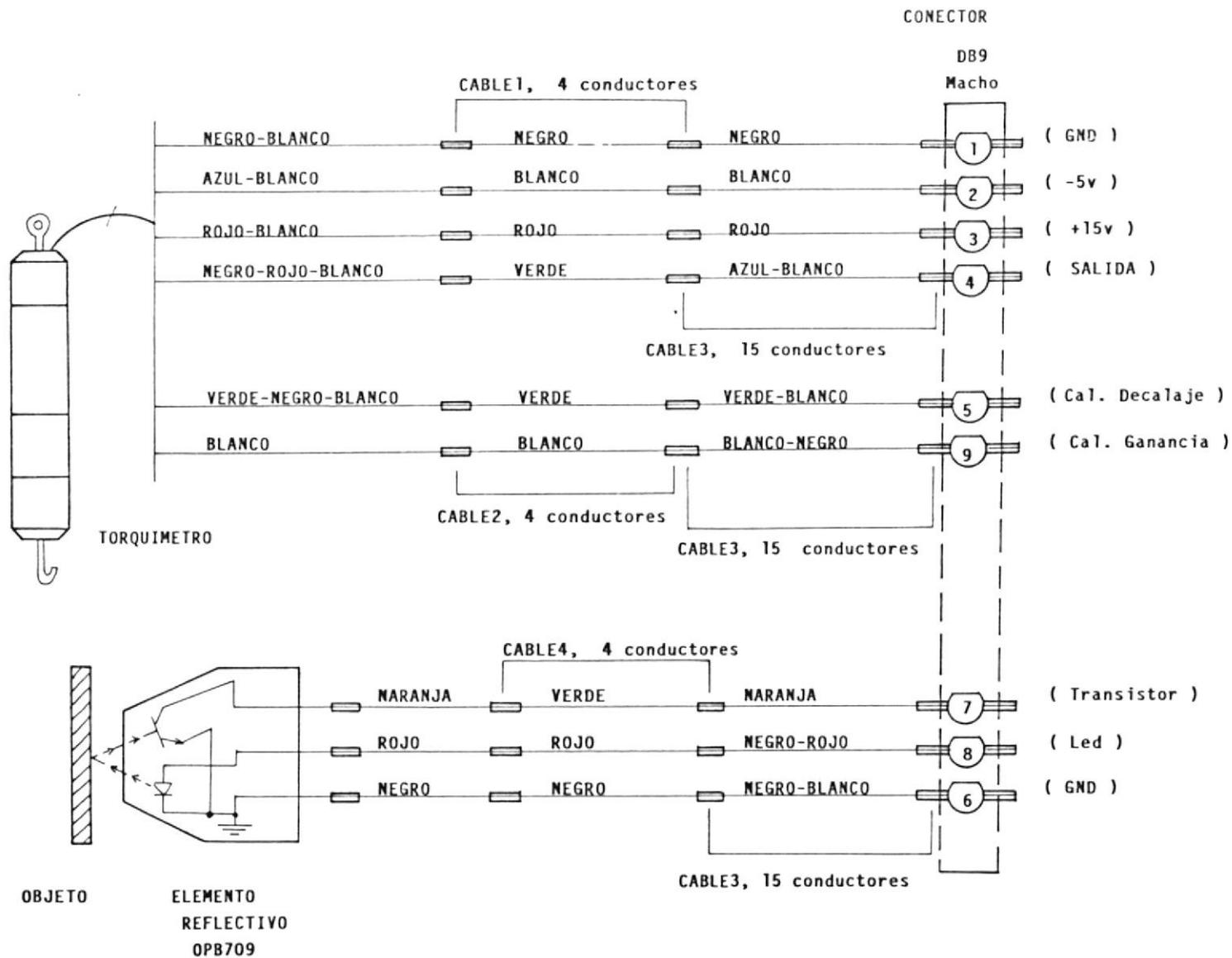


Figura C.4 Conexiones: -Alambrado del Torquímetro y Sensor Optico

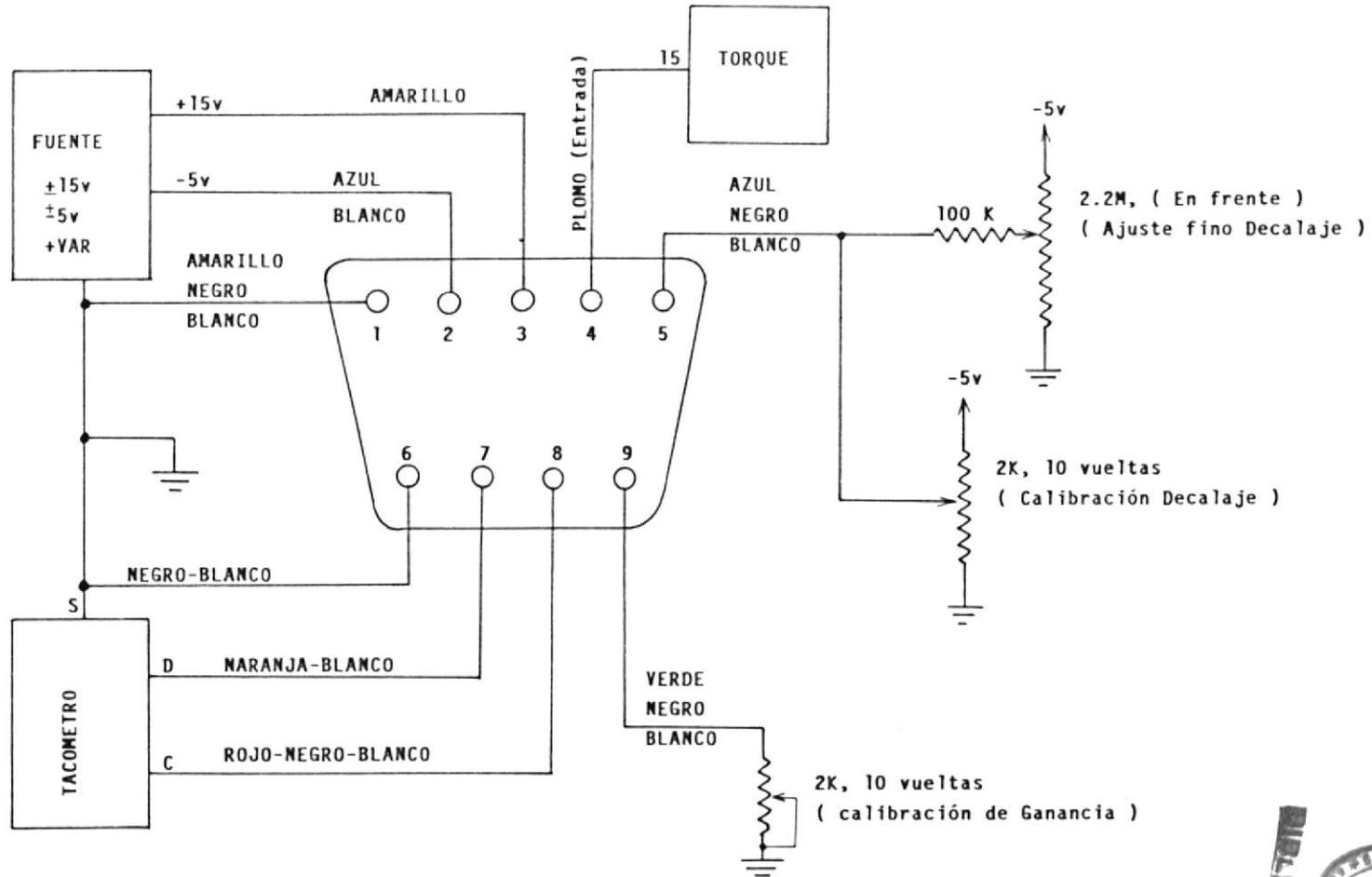


Figura C.5 Conexiones: - Conector DB9 (embra)



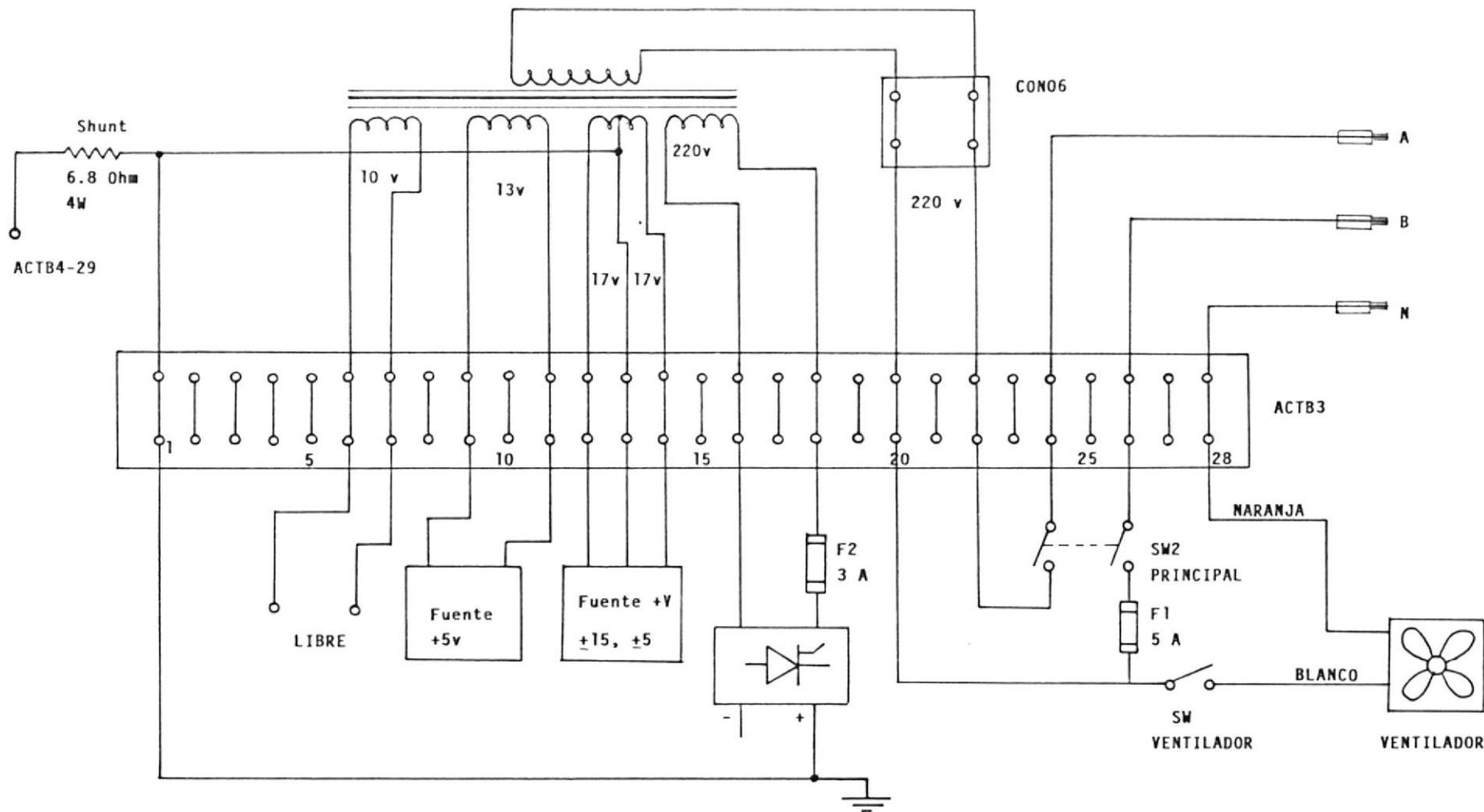


Figura C.6 Conexiones: -Regleta de Fuerza ACTB3

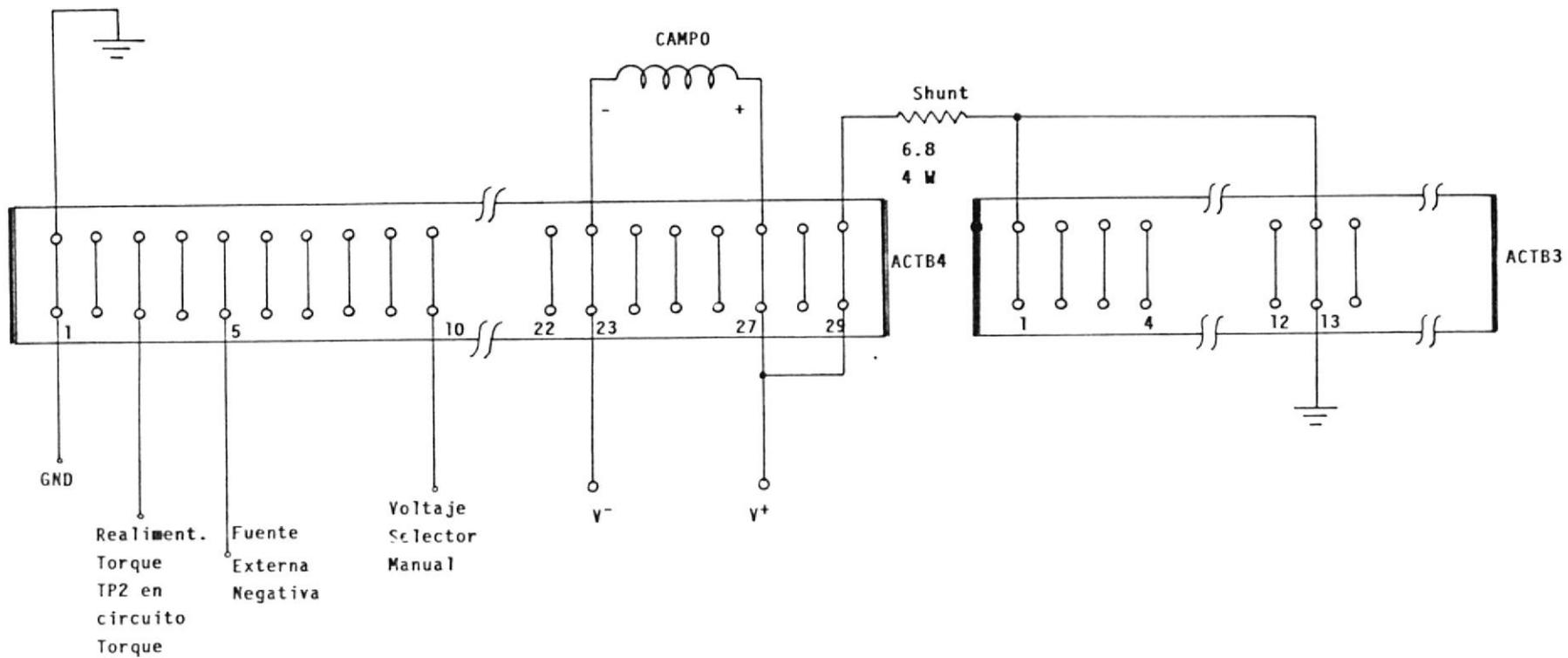


Figura C.7 Conexiones: -Regleta de Fuerza ACTB4

APENDICE D

Este apéndice trata sobre el diseño del transformador que aísla el voltaje de entrada del campo del dinamómetro, se ha considerado que este campo necesita un voltaje máximo de 130 Vdc y una corriente máxima de 2.5 Amp.

Como el campo vá a ser controlado mediante un puente rectificador semicontrolado se necesita saber el ángulo de disparo necesario para producir un voltaje de 130 Vdc, lo que logramos con la siguiente fórmula:

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2} v}{\pi} \{ 1 + \cos \alpha \}$$

donde v = Voltaje de entrada RMS

α = Angulo de disparo

Si el voltaje de entrada es 208 Vac y despejando el valor de α , se tiene :

$$\alpha = \cos^{-1} \left\{ \frac{\pi}{\sqrt{2} v} \left(V_{dc} - \frac{\sqrt{2} v}{\pi} \right) \right\}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \{ 0.3884 \}$$

$$\alpha = 67^{\circ}$$

Por lo tanto se tiene que el sistema controlador deberá gobernar el ángulo de disparo desde 67° hasta 180° , para obtener voltajes de 0 Vdc hasta 130 Vdc.

Teniendo los datos anteriores se debe proceder al cálculo del siguiente transformador (ver figura D.1).

Este transformador exige cuatro secundarios uno de los cuales es con derivación o toma central. Es de notar que la entrada es de 220 Vac, 60 Hz por lo que el circuito de control deberá estar sincronizado con el de fuerza.

Para la construcción de pequeños transformadores de potencia se debe tomar en cuenta que la densidad de corriente (S) está por el orden de 500 a 1000 CM/Amp. (Circular Mils por Amperio). Para este cálculo se tomará en cuenta un valor constante de 900 CM/Amp. El tipo de núcleo mas comunmente encontrado en transformadores pequeños es de Silicio-Férrico, y para este material se puede usar una densidad de flujo de 15.000 Gauss.

Voy a llamar al término (W.a) como producto W·a, es un número el cual se verá, y es el valor de la sección del núcleo que se lo denota con la siguiente fórmula:

$$W \cdot a = \frac{718,41 \cdot S \cdot P}{f \cdot \beta} \quad \text{Ecu. D.1}$$

W = Area de la ventana del núcleo en Cm²

a = Area de la sección transversal en Cm²

β = Densidad de flujo en Gauss

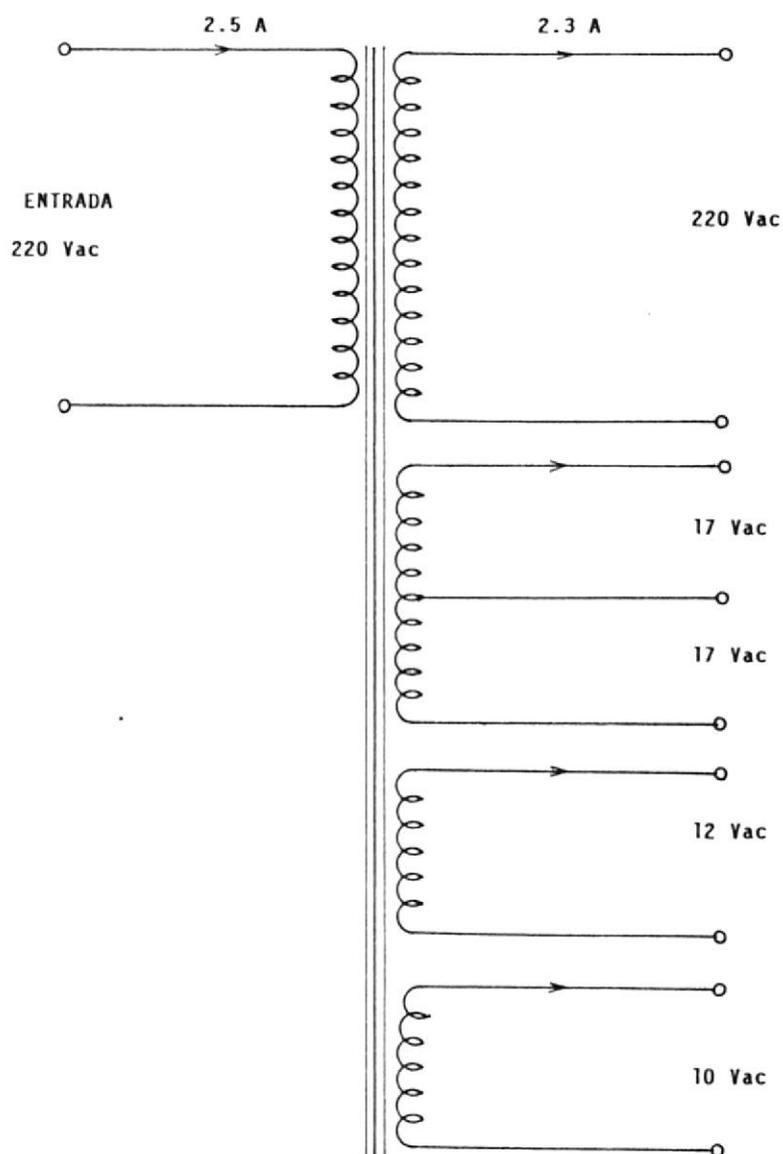


Figura D.1 Transformador de Fuerza a diseñarse

P = Potencia requerida en volts-Amperios (Watts)

S = Densidad de corriente en Circular Mils por Amp

f = Frecuencia en Hz

$$W \cdot a = \frac{718,41 (900 \text{ CM/Amp}) (220 \times 2.53 \text{ Watts})}{(60\text{Hz}) (15.000 \text{ Gauss})}$$

$$W \cdot a = 400 \text{ Cm}^4$$

Pero se tiene a la mano algunas láminas de núcleos los cuales tienen las medidas dados en la figura D.2. Para esta lámina el área de la ventana es $W = 3.8 \times 9.5 = 36.1 \text{ Cm}^2$ Al tener el valor del producto ($W \cdot a$) y el valor de W se puede conocer el área de la sección transversal esto es:

$$a = \frac{W \cdot a}{W} = \frac{400 \text{ Cm}^4}{36.1 \text{ Cm}^2} = 11 \text{ Cm}^2 \quad \text{Ecu. D.2}$$

El valor del espesor del conjunto de láminas deberá ser entonces el área a dividido para la dimensión ε , el cual es de 5.2 Cm.

$$\sigma = \text{espesor} = \frac{a}{\varepsilon} = \frac{11 \text{ Cm}^2}{5.2 \text{ Cm}} = 2.11 \text{ Cm} \quad \text{Ecu.D.3}$$

Para exederme un poco de los cálculos voy a darle un factor de seguridad del 80% al espesor antes calculado, así el espesor real será: $2.11/0.80 = 2.67 \text{ Cm}$

$$\sigma(\text{Espesor real}) = 2.67 \text{ Cm}$$

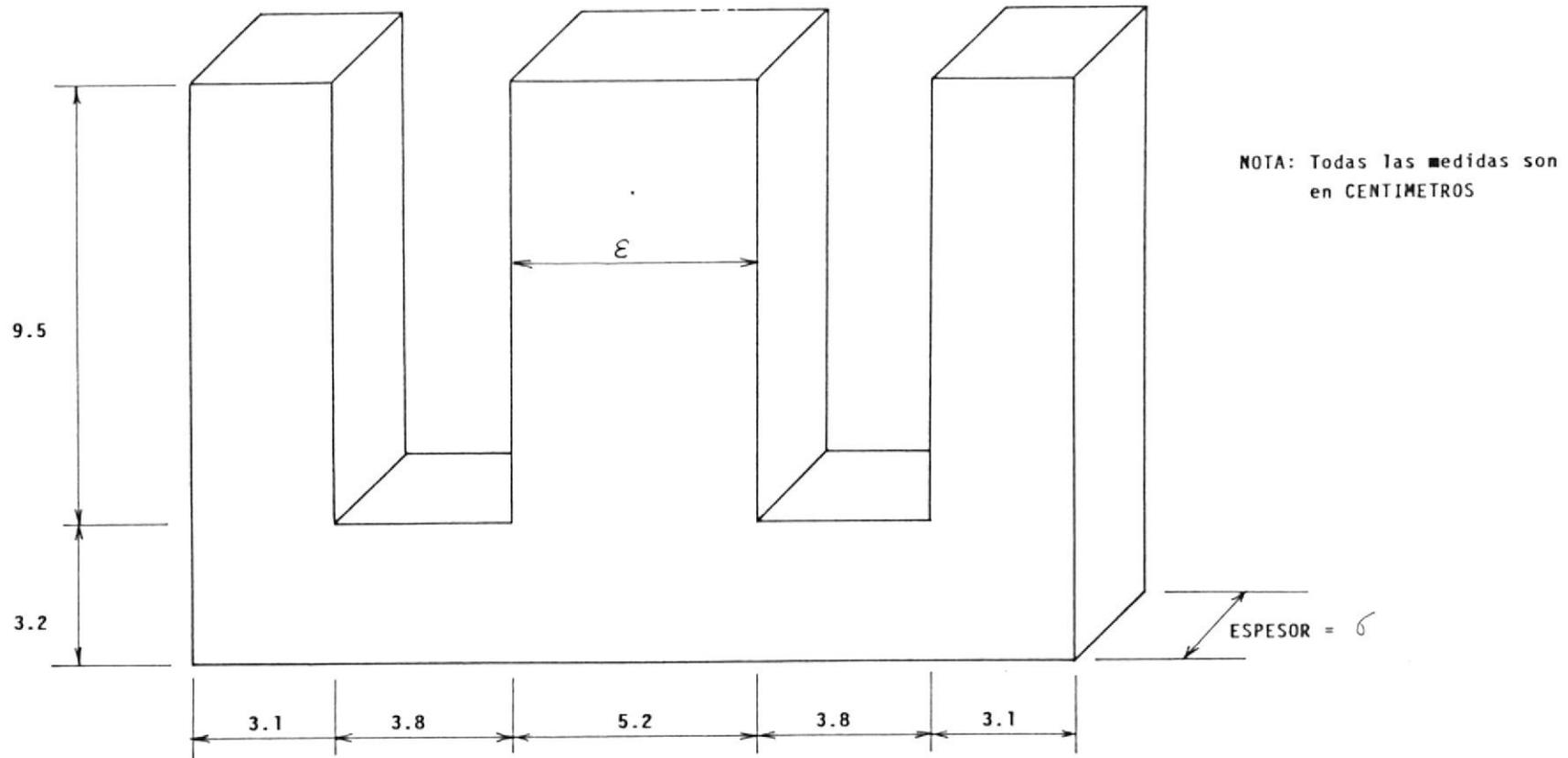
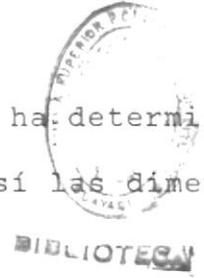


Figura D.2 Dimensiones físicas del núcleo usado

Entonces, con los cálculos antes hechos se ha determinado el valor del espesor real, obteniéndose así las dimensiones físicas del núcleo. Ver fig. D.2



Ahora solamente resta conocer el número de vueltas por unidad de voltios necesarios para obtener los voltajes necesarios en las salidas el cual lo calculo con la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{V} = \frac{10^8}{4 \cdot F \cdot f \cdot a \cdot \beta} \quad \text{Ecu. D.4}$$

N = Número de vueltas

V = Voltaje en voltios

F = Factor de forma de onda

f = Frecuencia en Hz

a = Area de la sección transversal en Cm²

β = Densidad de flujo en Gauss

Frecuentemente se asume que esta ecuación será usada con entradas sinusoidales y así el factor de forma F, inmediatamente se le asigna el valor de 1.11. Este valor multiplicado por 4 nos dá 4.44 y se reemplaza 4.44 en vez de 4F, así:

$$\frac{N}{V} = \frac{10^8}{4.44 f a \beta} \quad \text{Ecu. D.5}$$

Reemplazando tendremos:

$$\frac{N}{V} = \frac{10^8}{4.44 (60) (2.67 \times 5.2) (15.000)}$$

$$\frac{N}{V} = 1.80 \text{ Vueltas por voltios}$$

Por lo tanto las vueltas que necesita el devanado del primario es $V_1 \times N/V = 220 \times 1.80 = 396$ Vueltas y para los demás devanados tendremos :

$$N_2 = V_2 \times N/V = 220 \times 1.80 = 396 \text{ Vueltas}$$

$$N_3 = V_3 \times N/V = 34 \times 1.80 = 62 \text{ Vueltas (31 y 31)}$$

$$N_4 = V_4 \times N/V = 12 \times 1.80 = 22 \text{ Vueltas}$$

$$N_5 = V_5 \times N/V = 10 \times 1.80 = 18 \text{ Vueltas}$$

Por ultimo hay que seleccionar el número del alambre a comprarse y éste se determina tomando en cuenta el valor de la densidad de corriente (S) escogido antes :

$$S = 900 \text{ CM/Amp}$$

$$CM = S \times A$$

Ecu D.6

$$1) \text{ CM} = 900 \times 2.53 \text{ Amp} = 2277 \text{ CM} \text{ =====> \# 17}$$

$$2) \text{ Cm} = 900 \times 2.30 \text{ Amp} = 2070 \text{ CM} \text{ =====> \# 17}$$



TABLA V CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES DE COBRE

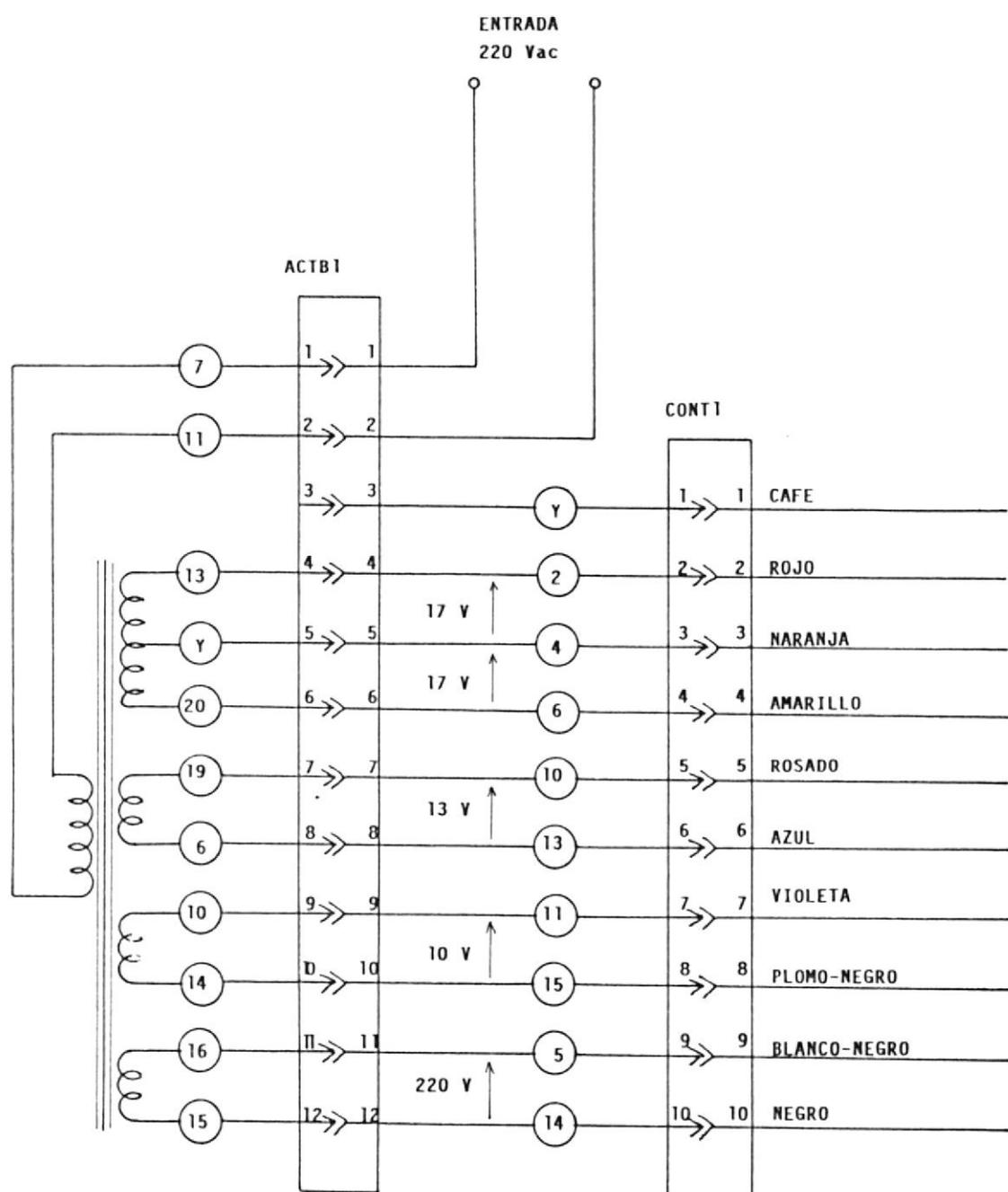
CALIBRE AWG	DIAMETRO MILIMETROS	S E C C I O N		OHMIOS POR KILOMETRO	AMPERIOS MAXIMOS
		CIR. MILS	m.m. ²		
36	0.127	25.0	0.0127	1306.00	0.042
35	0.142	31.4	0.016	1119.00	0.06
34	0.160	39.7	0.020	859.00	0.08
33	0.180	50.4	0.025	679.00	0.10
32	0.202	64.0	0.032	549.00	0.12
31	0.227	79.2	0.04	415.00	0.16
30	0.255	100	0.05	351.00	0.20
29	0.286	128	0.06	216.00	0.26
28	0.321	159	0.08	214.00	0.32
27	0.361	202	0.10	169.00	0.40
26	0.405	253	0.13	137.00	0.50
25	0.455	320	0.16	108.40	0.64
24	0.510	404	0.20	84.00	0.80
23	0.573	511	0.26	67.90	1.00
22	0.644	640	0.32	53.60	1.28
21	0.723	812	0.41	42.30	1.62
20	0.812	1.020	0.52	33.50	2.00
19	0.912	1.290	0.65	26.50	2.60
18	1.024	1.620	0.82	21.10	3.20
17	1.150	2.050	1.04	16.60	4.10
16	1.291	2.580	1.31	13.20	5.20
15	1.450	3.260	1.65	10.40	6.60
14	1.628	4.110	2.08	8.30	8.30
13	1.828	5.180	2.62	6.60	10.50
12	2.053	6.530	3.31	5.20	13.30
11	2.305	8.230	4.17	4.20	16.60
10	2.588	10.380	5.26	3.30	21.20
9	2.906	13.090	6.63	2.60	26.56
8	3.264	16.510	8.37	2.10	33.38
7	3.665	20.820	10.55	1.70	42.04
6	4.115	26.240	13.30	1.30	53.16
5	4.620	33.090	16.77	1.00	66.28
4	5.189	41.740	21.15	0.80	84.60
3	5.827	52.620	26.67	0.65	106.64
2	6.543	66.360	33.63	0.51	134.48

$$3) \text{ CM} = 900 \times 1.00 \text{ Amp} = 900 \text{ CM} \text{ =====> \# 21}$$

$$4) \text{ CM} = 900 \times 1.00 \text{ Amp} = 900 \text{ CM} \text{ =====> \# 21}$$

Calculado el circular mil (CM) del alambre se procede a buscar el calibre del alambre a comprarse en la tabla V.

Con esto doy por terminado el cálculo del transformador anterior. Además se incluyen las conexiones físicas realizadas en el transformador, es decir lo referente a las conexiones de la regleta externa y conector usado, lo que se explica mejor en la figura D.3



NOTA : Los números en los círculos equivalen al número del cable usado.

Figura D.3 Descripción de la regleta y conector del Transformador de Fuerza



BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

- 1) D. Lancaster, Cmos cookbook, (Primera Edición, Indianapolis, Howard Sams & Co., 1977) Capítulos 5,6 y 7
- 2) H. W. Sams, Reap the Benefits of Automated Machinery Testing and Avoid Expensive Mistakes (S. Himmels-
tein and Company, Illinois, 1981)
- 3) H. Schoreiber, Montajes con Amplificadores Operacio-
nales, (3ra. Edición; Barcelona; Paraninfo, 1982).
Capítulos 3,4 y 5.
- 4) F. Huré, Aparatos de Medidas con Circuitos Integra-
dos, (1ra Edición; Valencia; Paraninfo, 1986). Capi-
tulos 5 y 6.
- 5) Intersil; Data Acquisition Component Handbook (In-
tersil, USA, 1983), pp. 245-278.
- 6) R. C. Dorf, Sistemas automáticos de control, (2^{da}
edición; Méjico; Fondo Educativo Interamericano, 1974)

- 7) I. L. Kosov, Control de Máquinas Eléctricas, (3^{ra} edición; Argentina; Editorial Reverté S.A., 1983) pp 105-128.

- 8) E. M. Lee, The Universal Laboratory Machine, (Inglaterra; Testing and Review, 1972). pp 10-35.