

22
24



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA UN BANCO DE PRUEBAS DE ZAPATAS DE
FRENADO ACCIONADO POR UN MOTOR DE
CORRIENTE DIRECTA DE 150 HP.

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n:

Tomás Bay Betanzos

Salvador Burgara Bañuelos

Joel López Contreras

Román Macías Hernández

Federico Pérez Medina



México, D. F.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

OBJETIVO

DISEÑAR Y CONSTRUIR EL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CONTROLAR EL BANCO DE PRUEBAS PARA ZAPATAS DE FRENADO, DEL LABORATORIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO, METRO.

ANTECEDENTES

En estos últimos años el Sistema de Transporte Colectivo (METRO), se ha visto en la necesidad de integrar sus piezas o partes continuamente con la finalidad de evitar fuga de divisas hacia el extranjero y ser más eficiente en el servicio que presta.

Una de las partes que se encuentran en etapa de integración son las zapatas de frenado, que para poder ser integradas tienen que pasar primcramente por una etapa de homologación con el fin de encontrar características que se aproximen al prototipo de importación o se mejoren funcionalmente.

En el caso de la integración de las zapatas una de las pruebas indispensables a realizar, es la de vida útil, que sin contar con un banco de pruebas para frenado dichas zapatas se tendrían que instalar en uno o varios trenes, lo cual ocasionaría tener que sacar continuamente de servicio el tren o los trenes seleccionados para realizar las pruebas con el fin de cuantificar el desgaste sufrido en las zapatas, dando como resultado un tiempo invertido muy largo e incosteable.

Por estas razones, se decidió por la construcción de un banco de pruebas para zapatas con el fin de poder reproducir en el laboratorio las condiciones reales de servicio durante periodos cortos de ensayos.

Puesto que ya existen este tipo de bancos de pruebas para zapatas en centros de investigación y desarrollo tales como:

- A) Ontario Research Foundation.
Sheridan Park, Ontario, Canada.
- B) Centro de Pruebas de Transportación (TTC).
Laboratorio dinámico de los F.F.C.C.
Pueblo Colorado, E.U.A

C) Le Centre D'essais de Vitry.
Sur Seine.
21, Avenue de President Allende.
94,400 Vitry, Francia.

Se tom6 como modelo el de Ontario Reserch Fundation debido a que este llena los requisitos de pruebas requeridos en el Sistema de Transporte Colectivo.

ALCANCE

El desarrollo de este proyecto se aboca a lograr que el banco de pruebas para zapatas de frenado cumpla con los requerimientos siguientes:

DATO	Simulación de la velocidad del tren en servicio.
1 ^o	Velocidad máxima programable hasta 80 km/hr.
2 ^o	Velocidad mínima programable desde 0 km/hr.
3 ^o y 4 ^o	Intervalos de tiempo de sostenimiento de velocidad programable de 1 hasta 999 segundos.
5 ^o	Ciclos de trabajo programables de 1 hasta 999.
6 ^o	Grados de frenado utilizables programables de acuerdo a los grados de frenado del Metro y las siguientes características.

No. Programado	Grado de frenado equivalente	Presión aplicada
1	F1	0.50 Bars.
2	F2	1.10 Bars.
3	F3	1.50 Bars.
4	F4	2.18 Bars.
5	F5	2.60 Bars.
6	F6	3.20 Bars.
7	FU	4.50 Bars.

7^o Retardo en la aceleración del motor.

Para que este control sea útil a cualquier capacidad de motor, la pendiente de aceleración se programa antes de la ejecución contándose con 9 tipos de pendiente.

INDICE

	PAG.
1	DESCRIPCION DEL TEMA DE ACUERDO A SUS ETAPAS..... 1
1.1	CARGA MECANICA A ACCIONAR 3
1.2	CIRCUITO DE POTENCIA..... 8
1.3	CONTROL ELECTRONICO ANALOGICO..... 9
1.4	CONTROL ELECTRONICO DIGITAL..... 10
2	DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA..... 13
2.2	CONSIDERACIONES MECANICAS..... 14
2.2	CARACTERISTICAS DEL MOTOR A CONTROLAR..... 20
2.3	DESCRIPCION DEL CIRCUITO DE POTENCIA..... 24
2.4	DESCRIPCION Y ANALISIS DEL CONTROL ELECTRONICO ANALOGICO... 50
2.5	CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR..... 70
3	DISEÑO DEL CONTROL ELECTRONICO DIGITAL..... 73
3.1	CONFIGURACION Y DESCRIPCION DE LA ARQUITECTURA EMPLEADA Y DIAGRAMA DE TIEMPO..... 74
3.2	CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR DEL CIRCUITO DIGITAL..... 80
3.3	PROGRAMACION PARA EL CONTROL DEL SISTEMA..... 87
3.4	DESCRIPCION DE LAS ETAPAS DE PROGRAMACION..... 115
4	DESCRIPCION Y DISEÑO DE CIRCUITOS AUXILIARES..... 124
4.1	TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD..... 125
4.2	TRANSDUCTOR DE CORRIENTE..... 131

	PAG.
4.3 CONTROL DE SERVOVALVULA.....	132
4.4 FUENTES DE ALIMENTACION.....	135
RECOMENDACIONES.....	139
SEGURIDAD.....	141
MANTENIMIENTO.....	142
PROTECCIONES.....	143
CONCLUSIONES.....	145
ANEXO 1 "PROGRAMA DEL SISTEMA".....	147
ANEXO 2 "GRAFICAS DE ARMÓNICAS DEL SISTEMA".....	160
ANEXO 3 "GRAFICAS Y CURVAS α_{cv} . v_r Y α_{cv} . v_{el} .".....	172
ANEXO 4 "GRAFICAS TÍPICAS PARA $\phi = \pi/6$ ".....	198
BIBLIOGRAFIA.....	201

1.- DESCRIPCIÓN DEL TEMA DE ACUERDO A SUS ETAPAS.

A continuación se describen brevemente las etapas principales que componen el sistema de control, motivo de este trabajo. Como se muestra en la siguiente figura:

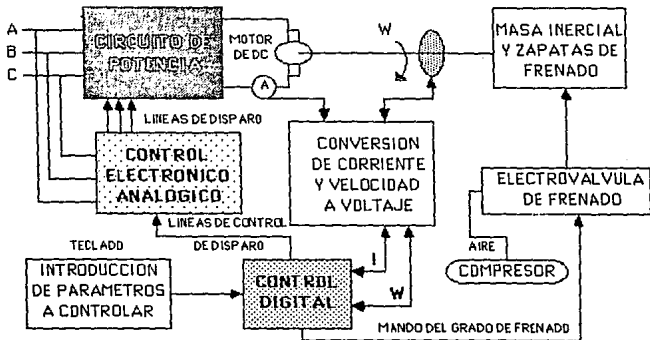


FIGURA 1.1

Ya que el motivo de este trabajo es probar zapatas de freno, se requiere simular la energía cinética proporcionada por un carro en movimiento. Esto se logra con la masa inercial proporcionada por los volantes de inercia, los cuales son puestos en movimiento por la fuerza motriz que entrega el motor de tracción a través del sistema diferencial. Dado que el motor es de corriente directa, se cuenta con un circuito rectificador de potencia a base de SCR's y diodos de potencia. El disparo de los SCR'S se logra con el control electrónico analógico que a su vez es habilitado por el control electrónico digital, regulando la operación del sistema de acuerdo a los parámetros introducidos al sistema a través del teclado.

Para lograr esto, se requiere sensar la corriente y la velocidad del motor de corriente directa. Esto se logra por medio de un derivador (shunt) de corriente directa, que nos da una señal de tensión relacionada con la corriente que circula en el y de un tacómetro digital que nos da una señal de frecuencia la cual es convertida a señal de voltaje a base de un conversor de frecuencia-voltaje. La aplicación del grado de frenado requerido se logra al enviarse la señal de tensión del control electrónico digital hacia la electroválvula de desfrenado, la que regula el paso de aire enviada del compresor a la timonería de frenos, al regular la corriente que circula en la bobina de la electroválvula de desfrenado.

1.1 CARGA MECÁNICA A ACCIONAR.

VOLANTES DE INERCIA

Se componen esencialmente por un disco base al cual se le acoplan anillos cilíndricos todos ellos en acero estructural A-36 (bajo contenido de carbón).

De cálculos realizados en el Laboratorio del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), se obtuvieron las dimensiones y el peso de los volantes de inercia que simulan los diferentes grados de carga que se presentan en los carros del Metro, que a continuación se describen y muestran en las figuras 1.1.1 a 1.1.5

Disco base.

Diámetro exterior de las alas:	1,778	(mm).
Diámetro interior de las alas:	1,244.6	(mm).
Diámetro exterior de alma:	1,244.6	(mm).
Espesor de las alas:	101.6	(mm).
Espesor del alma:	25.4	(mm).
Diámetro interior del alma:	244.3	(mm).
Volumen total:	157,550.5	(cm ³).
Peso:	1,239.9	(kgf).

Anillo de una pulgada de espesor.

Diámetro exterior:	1,778	(mm).
Diámetro interior:	1,244.6	(mm).
Espesor:	25.4	(mm).
Volumen total:	32,056.4	(cm ³).
Peso:	252.3	(kgf).

Anillo de tres cuartos de pulgada de espesor.

Diámetro exterior:	1,778	(mm).
Diámetro interior:	1,244.6	(mm).
Espesor:	19.1	(mm).
Volumen total:	24,105.3	(cm ³).
Peso:	189.7	(kgf).

Anillo de media pulgada de espesor.

Diámetro exterior:	1,778	(mm).
Diámetro interior:	1,244.6	(mm).
Espesor:	14.7	(mm).
Volumen total:	18,552.3	(cm ³).
Peso:	146	(kgf).
Carga total:	1,239.9	
	252.3	
	+ 189.7	
	<u>146</u>	
	1,827.9	(kgf).

Por lo tanto:

1.970.2	(VALOR OBTENIDO EN EL CAPITULO 2.1
<u>1.827.9</u>	DETERMINACION DE LA CARGA DE INERCIA)
142.3	(kgf).

El déficit de carga es de 142.3 (kgf) el cual puede ser proporcionado por un disco de aproximadamente media pulgada de espesor.

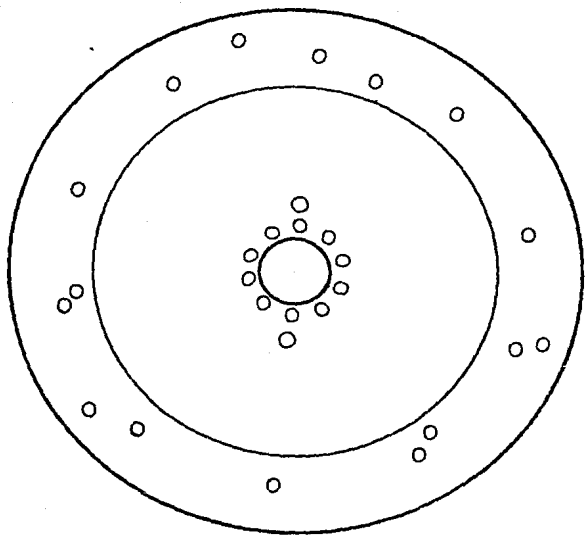


FIGURA 1.1.1

DISCO BASE

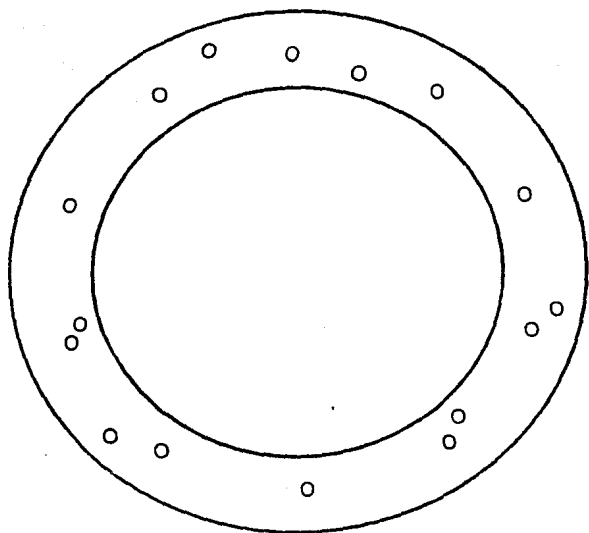


FIGURA 1.1.2

ANILLOS



FIGURA 1.1.3
DISCO BASE



FIGURA 1.1.4
ANILLO 25.4 mm



FIGURA 1.1.5
ANILLOS 19.1 y 14.7 mm

1.2 CIRCUITO DE POTENCIA

Los motores de C.D. están mejor adaptados para muchos procesos industriales que demandan altos grados de flexibilidad para grandes potencias.

Características que determinan la importancia de la C.D. en control de motores.

- 1) Una velocidad ajustable del motor en rangos amplios.
- 2) Una salida de potencia mecánica constante o par constante.

Estas características son importantes para el banco de pruebas de zapatas puesto que utiliza un motor de C.D. de 150 HP's, similar al de los carros motrices del metro, estos motores están conectados en pares (conectados en serie) alimentados por la barra guía de 375 volts de C.D. por motor, en nuestro caso, el banco de zapatas no cuenta con la línea de 375 volts de C.D., por lo que se necesita construir un circuito de potencia para la rectificaci3n de C.A. a C.D., utilizando una alimentaci3n trifásica de 220 volts de C.A. entre fases, la cual rectificado por medio de tiristores, aproximadamente da 320 volts de C.D., figura 1.2.1.

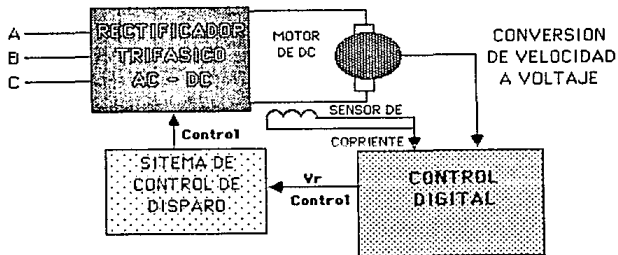


FIGURA 1.2.1

Este circuito utiliza rectificadores controlados de silicio (SCR's), a los cuales se les controla la compuerta, lo que se verá en detalle más adelante.

1.3 CONTROL ELECTRONICO ANALOGICO.

La conducción del tiristor es por medio del ángulo de disparo, el cual es cebado por una corriente de puerta, esto es con la finalidad de regular la corriente que alimenta al motor.

Características que determinan el comportamiento en la conducción de los tiristores.

- A) Si el ángulo de disparo es nulo no hay conducción.
- B) El ángulo de disparo es máximo, entonces el par y la potencia son máximos.
- C) Si se hace variar el ángulo de disparo, entonces varía la tensión continua y a su vez varía el par y la potencia.
- D) Mediante una programación conveniente de los ángulos de disparo, se forma la tensión de salida.

Por lo tanto, se construyó un circuito de disparo que proporciona una serie de pulsos que se puedan regular en la compuerta de cada tiristor para controlar el voltaje de C.D.

Este circuito tiene que estar en sincronía de las fases con el disparo del tiristor para la rectificación correcta de C.A. a C.D., debe de contar con una entrada para controlar los pulsos de disparo, la entrada de este circuito es un voltaje de referencia analógica generada por el sistema de control digital como se muestra en la figura 1.2.1.

1.4 CONTROL ELECTRÓNICO DIGITAL.

Para lograr un adecuado control de la velocidad del motor, se utiliza el siguiente sistema en malla cerrada que tiene como principal elemento de control a un microprocesador MC6802:

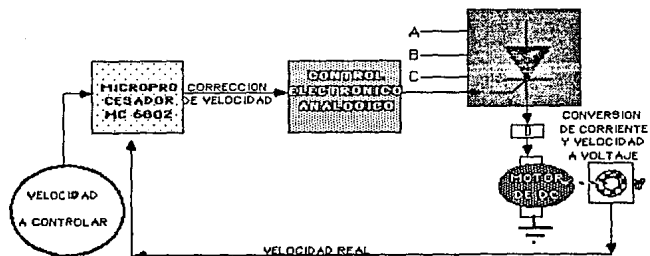


FIGURA 1.4.1

La adición de otros elementos nos permite dar al microprocesador toda la información que necesita para efectuar el control de la velocidad tal como se requiere y al mismo tiempo poder tener acceso a algunos datos que nos interesan y que quedan en poder del mismo.

Para tener una idea más clara de la interacción del control electrónico digital con el resto del sistema, se muestra a continuación el diagrama esquemático general de acuerdo a los elementos principales que lo componen y que a continuación se indican:

El microprocesador, la memoria Eprom que guarda el programa que ejecuta el microprocesador (software), los tres elementos de interface de acceso periférico (Pia), los dos convertidores A/D y los dos D/A, el teclado para

introducir y acceder datos, los tres display 7 segmentos para visualizar datos de entrada o de salida así como sus circuitos complementarios. Ver figura 1.4.2

No se incluyen en el diagrama otros elementos de función muy especial relacionados con la arquitectura de la configuración del sistema electrónico digital. Sin embargo, en el capítulo 3, tema 2, se describen ampliamente todos y cada uno de los elementos que conforman dicho sistema.

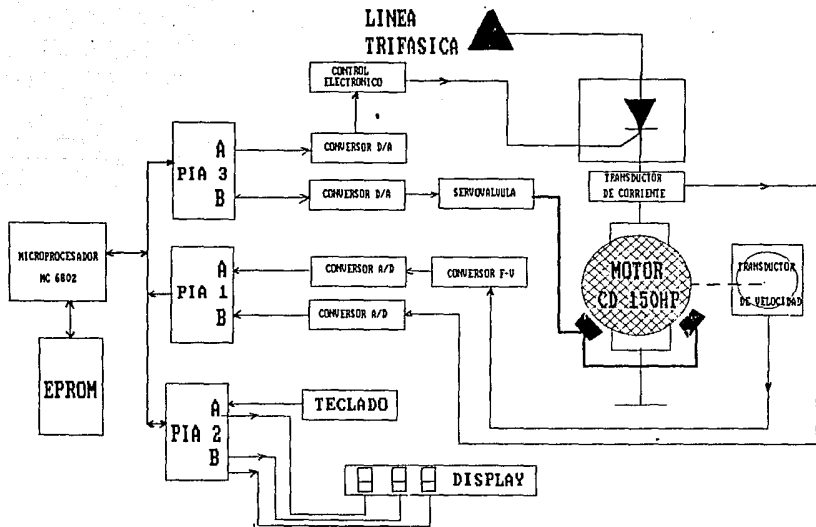


FIG. 1.4.2

2.- DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

Para obtener una buena conmutación o rectificación durante el arranque, así como la prevención de sobrecarga en los alimentadores o escobillas que alimentan al motor GLM-0331 de C.D., se toman en cuenta las características del motor para el diseño del circuito de potencia a base de tiristores y diodos; el circuito de potencia que se utiliza en este proyecto es un circuito semiconvertidor de tres pulsos que se verá en detalle en la sección 2.3.

2.1 CONSIDERACIONES MECANICAS.

Dado que el diseño mecánico del banco de pruebas para zapatas no es tema de este trabajo, nos limitaremos únicamente a mencionar unas características que se involucren con el diseño del sistema de control o que nos permita describir brevemente su funcionamiento.

A) COMPONENTES PRINCIPALES.

BOGIE.- Es el conjunto formado por los siguientes elementos: Estructura metálica, motores de tracción, sistema diferencial, timonería de frenos, rueda de seguridad, volantes de inercia y accesorios.

MOTORES DE TRACCION.- Son las máquinas eléctricas que proporcionan la fuerza motriz para los fines de tracción.

SISTEMA DIFERENCIAL.- Es el conjunto de piezas mecánicas que transforman la energía en forma de movimiento recibida del motor en energía en forma de par enviada a los ejes de las ruedas con una relación de 9.2285 y una eficiencia de la transmisión de 0.92.

VOLANTES DE INERCIA.- Son las ruedas metálicas que simulan la energía cinética proporcionada por un carro en movimiento.

TIMONERIA DE FRENOS.- Es el conjunto de tubos, mecanismos, zapatas, portazapatas, etc., utilizados en la aplicación del frenado.

SERVÓVALVULA.- Es el elemento electromecánico que permite el paso de aire hacia la timonería de frenos.

RUEDAS DE SEGURIDAD.- Son las ruedas metálicas que impiden que se descarrilen los carros.

B) FUNCIONES A REALIZAR.

El banco de pruebas para zapatas permitirá analizar los fenómenos mecánicos y térmicos en el transcurso de los periodos de frenado con zapatas convencionales y de nueva proposición.

El sistema automático para controlar el banco, permite simular los grados de frenado (F1, F2, F3, F4, F5, F6 y FU), velocidades de servicio y velocidad no regulada (descenso en pendientes largas).

Los transductores permitirán medir los parámetros y controlar eficientemente el banco de pruebas para zapatas.

C) VARIABLES QUE INTERVIENEN.

Velocidades periféricas (hasta 80 kilómetros por hora), máxima y mínima.

Tiempo de velocidad máxima y tiempo de velocidad mínima.

Números de ciclos (ciclos de aplicación).

Grados de frenado F1, F2, F3, F4, F5, F6 y FU.

Pendiente de aceleración (máxima aceleración igual a uno, mínima aceleración igual a 9).

D) PARÁMETROS A DETERMINAR.

Eficiencia del sistema de frenado.

Vida útil de las zapatas.

Fenómenos derivados como son: Daños en las ruedas de seguridad, humos, carbonización de las zapatas, olores, polvos emitidos en el frenado, etc.

E) ANALISIS MATEMATICO.

DETERMINACION DE LA CARGA DE INERCIA.

La energía cinética simulada por los volantes de inercia, se obtuvo a partir de la energía cinética del tren, la cual es una función de la masa y de su velocidad lineal, a su vez esta depende de la velocidad angular de las ruedas de seguridad que viene a ser la misma velocidad angular que tienen los volantes de inercia, por lo tanto, se puede tener una masa equivalente para cada grado de carga de los carros.

Los pesos por carro manejado por personal del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), se muestra en la tabla 2.1.1.

EVALUACION DE PESOS (Kg)		
CARGA	CARRO MOTRIZ	CARRO REMOLQUE
VACIO	M= 33,000 N= 32,100	22,690
3/4 CCM	M= 41,925 N= 41,124	31,614
4/4 CCM	M= 44,900 N= 44,000	34,590
SOBRE CUPO MAXIMO	M= 51,100 N= 50,100	40,690

TABLA 2.1.1

M = Carro motriz con cabina.

N = Carro motriz sin cabina.

CCM = Carga completa máxima.

Nota: Para fines de cálculo usaremos los valores más altos.

Cálculo de la energía cinética para cada tipo de carro a diferente carga y a una velocidad máxima de 80 kilómetros por hora (velocidad periférica).

Nomenclatura: E_c = Energía cinética.
 I_0 = Momento de inercia.
 M = Masa.
 V = Velocidad periférica.
 w = Velocidad angular.
 \bar{R} = Carga de inercia.
 r = Radio de las ruedas de seguridad.

En la tabla 2.1.2. se observan los valores encontrados de la energía cinética en Kgf-m para cada tipo de carro de acuerdo a las condiciones de carga ahí mencionada y evaluadas de acuerdo a las siguientes expresiones matemáticas:

$$E_c = \frac{1}{2} I_0 w^2$$

$$e: I_0 = \frac{1}{2} M r^2$$

$$y: w = V/r$$

donde: $r = 0.5$ metros.

ENERGIA CINETICA EN KGF-M DE CADA TIPO DE CARRO A DIFERENTES VALORES DE CARGA Y A UNA VELOCIDAD MAXIMA DE 80 KM/H		
CARGA	CARRO MÓTRIZ M	CARRO REMOLQUE
VACIO	415,289.472	285,582.931
3/4 CCM	527,606.238	397,847.845
4/4 CCM	565,045.489	435,298.948
SOBRE CUPO MAXIMO	643,069.608	512,064.820

TABLA 2.1.2.

CONCLUSTONES:

Como se observa en la tabla anterior, es mayor la energía cinética en un carro motriz M con sobrecupo máximo. Por lo tanto, la máxima energía cinética a simular en cada grupo de ruedas (portadora y de seguridad) es:

$$E_c = 643,069.608/8 = 80,383.701 \text{ [Kg} \times \text{m]}$$

Debido a que cada carro cuenta con dos bogie's y a su vez cada bogie cuenta con cuatro ruedas de seguridad y cuatro ruedas portadoras, la energía cinética total a simular será:

$$E_c \text{ (rueda de inercia)} = 78,558.552 \text{ [Kg} \times \text{m]}$$

Dado que:

$$E_c \text{ (rueda de inercia)} = 80,383.701 - E_c \text{ (rueda de seguridad) [Kg} \times \text{m]}$$

De donde la energía cinética de la rueda de seguridad en el instante que su centro de rotación tiene una velocidad periférica (lineal) de 80 kms/hr. es de:

$$w = V/r$$

$$w = [(80 \times 1000) / 3600] / 0.5 \text{ [seg.}^{-1}\text{]}$$

$$w = 44.444 \text{ [seg.}^{-1}\text{]}$$

$$\text{Sabemos que: } M \text{ (rueda de seguridad)} = 145 \text{ [Kgm]}$$

$$\text{de: } E_c \text{ (rueda de seguridad)} = 1/2 I_o w^2 \text{ [Kg} \times \text{m}^2\text{]}$$

$$e: I_o = 1/2 M r^2 \text{ [Kg} \times \text{m} \times \text{seg.}^2\text{]}$$

$$I_o = 1.848 \text{ [Kg} \times \text{m} \times \text{seg.}^2\text{]}$$

$$\text{Por lo tanto: } E_c \text{ (rueda de seguridad)} = 1825.149 \text{ [Kg} \times \text{m}^2\text{]}$$

La energía cinética que proporciona el volante de inercia vale:

$$E_c \text{ (rueda de inercia)} = 80,383.701 - 1,825.149 \text{ [Kg} \times \text{m}^2\text{]}$$

$$E_c \text{ (rueda de inercia)} = 78,558.552 \text{ [Kg} \times \text{m}^2\text{]}$$

Finalmente, la masa giratoria del volante de inercia que simule está en energía cinética esta dada por:

$$\text{Diámetro (rueda de inercia)} = 1.78 \text{ [m]}$$

$$r = 0.89 \text{ [m]}$$

$$\text{De: } M = 4Ec/w^2 r^2$$

$$M \text{ (rueda de inercia)} = 4Ec \text{ (rueda de inercia)} / w^2 r^2$$

$$M = \{4\} \{78,558.552\} / \{44.444\}^2 \{0.89\}^2 \text{ [Kg} \cdot \text{m} / \{\text{seg.}^{-2} \times \text{m}^2\}]$$

$$M = 200.838 \text{ [Kgm]}$$

Finalmente:

$$\bar{M} = 1970.221 \text{ [Kg} \cdot \text{g}]$$

2.2 CARACTERISTICAS DEL MOTOR A CONTROLAR.

A) TENSION DE ALIMENTACION.

La tensión nominal de la línea es de 750 Volts de corriente directa. De acuerdo con las condiciones de carga de la red del Sistema de Transporte Colectivo "Metro", se pueden tener valores límite de 900 a 500 Volts de corriente directa, pudiendo variar bruscamente de un valor al otro.

Se puede considerar una tensión media de 720 Volts de corriente directa. En vista de que cada bogie cuenta con dos motores conectados en serie, la tensión media en cada motor es de 360 Volts de corriente directa.

B) VELOCIDAD.

La velocidad máxima de servicio es de 80 kilómetros por hora. De cálculos y pruebas en el laboratorio del Sistema de Transporte Colectivo "Metro", cuando un tren viaja a 80 kilómetros por hora, los motores giran a 4055 revoluciones por minuto.

C) CARACTERISTICAS DEL MOTOR GLM 0331.

El motor GLM 0331 es un motor de tracción de corriente continua, con devanado serie, de cuatro polos principales y cuatro polos de conmutación como se muestra en la figura 2.2.1.

De catálogo de motores de tracción las características del motor GLM 0331 son las siguientes:

Es un motor de tracción de corriente continua, con devanados serie, de cuatro polos y del tipo autoventilado.

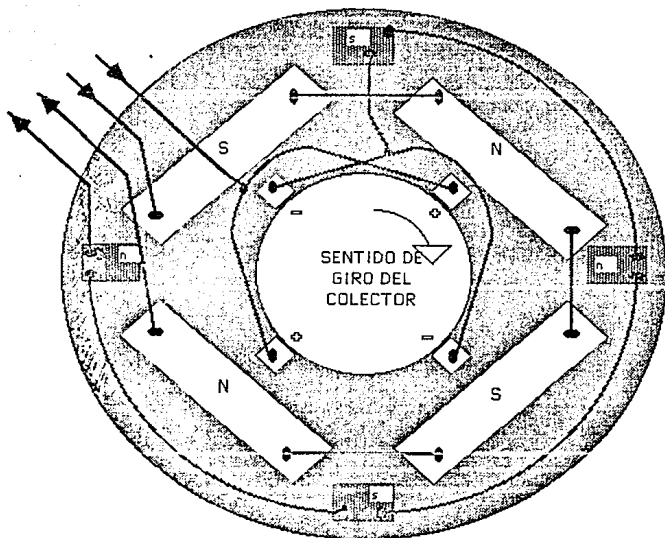


FIGURA 2.2.1

ARMADURA	
DIAMETRO	330 mm.
LONGITUD DEL HIERRO	173 mm.
NUMERO DE RANURAS	42
TAMAÑO DE LA RANURA	7.5 x 33.8 mm.
BOBINAS POR RANURA	4
TOTAL DE CONDUCTORES	336
DIMENSIONES DEL CONDUCTOR	2.9 x 6.8 mm.
DENSIDAD DE CORRIENTE	5.515 A/mm ² (Regimen continuo)

POLO PRINCIPAL	
ARCO POLAR	53°
ENTREHIERRO	5.7 mm.
ANCHO DEL NUCLEO	130 mm.
LONGITUD DEL NUCLEO	177 mm.
NUM. DE VUELTAS DE LA BOBINAS SERIE	8
DIMENSIONES DE LA BOBINA SERIE	2.8 X 39 mm.
DENSIDAD DE CORRIENTE EN LAS BOBINAS SERIE	3.64 A/mm ²
	(Regimen continuo)

POLO DE CONMUTACION	
ENTREHIERRO	7.5 mm.
ANCHO DEL NUCLEO	32 mm.
LONGITUD DEL NUCLEO	180 mm.
NUM. DE VUELTAS	14
DIMENSIONES DE LAS BOBINAS	4.1 X 22 mm.
DENSIDAD DE CORRIENTE EN LAS BOBINAS	4.4 A/mm ²
	(Regimen continuo)

CONMUTADOR	
DIAMETRO	250 mm.
NUMERO DE DELGAS	168
VOLTAJE ENTRE DELGAS	8.57 V
NUMERO DE ESCOBILLAS	4 x 2
TAMAÑO DE LA ESCOBILLA	20 x 45 mm.
DENSIDAD DE CORRIENTE EN LA ESCOBILLA	11 A/mm ²
	(Regimen continuo)

	REGIMEN UNIHORARIO	REGIMEN CONTINUO DE EXPLOTACION
POTENCIA	138 KW	128 KW
VOLTAJE	360 V	360 V
CORRIENTE	426 A	395 A
VELOCIDAD	1950 RPM	2000 RPM

Peso 690 Kg.

Tipo de aislamiento: Clase H

Velocidad máxima en pruebas: 5060 RPM.

La resistencia total del motor está dada por:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{Inducido}} + R_{\text{Polos auxiliares}} + R_{\text{Polos principales}}$$

De datos de fabricante tenemos:

CAMPO %	R Inducido Total	R Polos auxiliares	R Polos principales	R Total del motor
100	0.02803	0.01318	0.01693	0.05814
74	0.02803	0.01318	0.01253	0.05374
55	0.02803	0.01318	0.00932	0.05053
41	0.02803	0.01318	0.00694	0.04815

Impedancia de los enrollamientos a 50 Hertz.

AMPERES	INDUCIDO + POLOS AUXILIARES		POLOS PRINCIPALES		MOTOR COMPLETO	
	VOLTS	Z Ω	VOLTS	Z Ω	VOLTS	Z Ω
100	37.95	0.3795	61.3	0.6310	93.9	0.939
75	29.20	0.3892	49.7	0.6625	74.5	0.993
50	19.58	0.3916	36.9	0.7380	53.5	1.070

2.3 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

DESCRIPCIÓN DE LOS SCR'S

Los SCR'S son dispositivos semiconductores hechos de silicio, fueron concebidos para regular el paso de corriente, y con esto, controlar la energía suministrada a equipos que operan a base de corriente directa.

Se construyen a base de cuatro capas de silicio impuro o contaminado, las capas se colocan alternadas, P1-N1-P2-N2, donde la capa P1 es el ánodo (A), la capa N2 es el cátodo (K), y en la capa P2 se encuentra la compuerta (G) como se muestra en la figura 2.3.1.

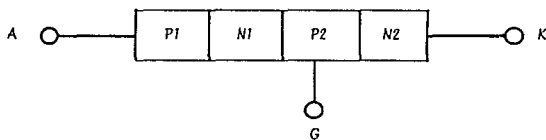
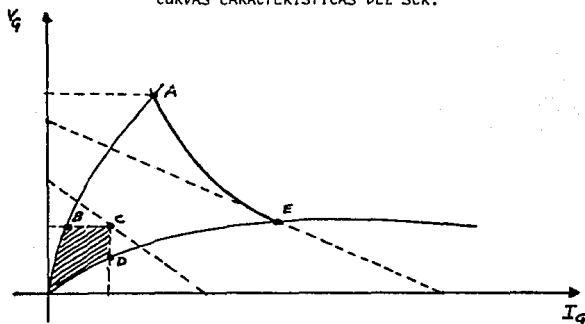
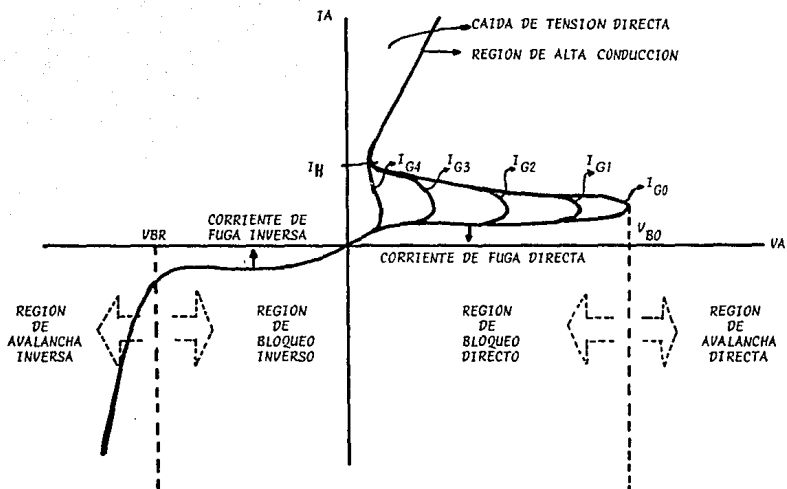


FIGURA 2.3.1

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL SCR.





- I_A CORRIENTE DE ANODO RESPECTO AL CATODO.
 V_A TENSION DE ANODO RESPECTO AL CATODO.
 I_H CORRIENTE DE MANTENIMIENTO.
 I_G CORRIENTE DE COMPUERTA.
 V_{BO} TENSION DE TRANSICION (O DE ARRANQUE) DIRECTA.
 V_{BR} TENSION DE TRANSICION INVERSA.

Los SCR'S son diseñados para controlar corrientes de hasta 2000 Amperes a 1800 Volts. Se ha extendido su aplicación en rangos de frecuencia de hasta 50 Kilohertz. Trabajan parecido al diodo, con la salvedad de una terminal adicional llamada compuerta usada para controlar el inicio de conducción y la intensidad de corriente demandada.

Frecuentemente es necesario analizar circuitos de potencia que incluyen SCR'S suponiendo funcionamiento ideal, para entender sus limitaciones de operación es necesario conocer algunos conceptos de su mecanismo de operación.

Un SCR es una estructura de cuatro capas P-N-P-N, la cual posee, por lo tanto, tres uniones. Tiene terminales externas para ánodo, cátodo y compuerta conectadas en áreas apropiadas de esta estructura y se conecta en serie con una fuente de voltaje externa y una carga como se indica en la figura 2.3.2a.

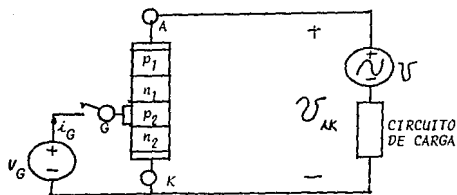


FIGURA 2.3.2 (A)

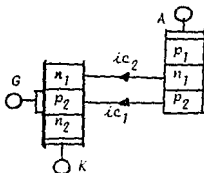


FIGURA 2.3.2 (B)

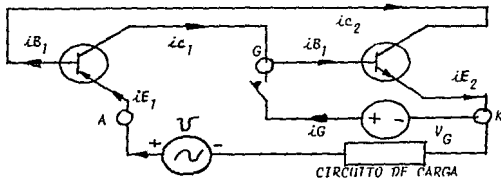


FIGURA 2.3.2 (C)

La fuente de voltaje auxiliar V_g y el interruptor SW pueden emplearse para encender el SCR cuando el voltaje V_{AK} aplicado a sus terminales es positivo.

Usando una simple analogía se pueden explicar muchas de las características de operación de un SCR, considerando que está formado por dos transistores interconectados como se muestra en la figura 2.3.2b. El circuito correspondiente a este arreglo se muestra en la figura 2.3.2c.

La unión $N1-P2$ del SCR es común para los dos transistores. La relación de corriente de colector I_c a corriente de emisor I_e para cada uno de los dos transistores se define como:

$$\alpha_1 = \frac{i_{c1}}{i_{E1}} \quad 1) \quad ; \quad \alpha_2 = \frac{i_{c2}}{i_{E2}} \quad 2)$$

Puede considerarse que las dos i_c pasan del transistor P-N-P al transistor N-P-N como se indica en las figuras 2.3.2b y 2.3.2c. Además, habrá una corriente de fuga I_{Co} que cruza la unión común $N1-P2$. La corriente total que pasa por el SCR, es por lo tanto:

$$i_A = i_{c1} + i_{c2} + I_{Co} \quad [A] \quad 3)$$

$$i_A = \alpha_1 i_{E1} + \alpha_2 i_{E2} + I_{Co} \quad [A] \quad 4)$$

Como se ve en la figura 2.3.2c.

$$i_{E1} = i_{E2} = i_A \quad [A] \quad 5)$$

Sustituyendo 5) en 4)

$$i_A = (\alpha_1 + \alpha_2) i_A + I_{Co} \quad [A] \quad 6)$$

$$\text{o: } i_A = \frac{I_{Co}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad [A] \quad 7)$$

Si la relación de transferencia de corriente para la conexión de emisor común para los dos transistores:

$$\beta_1 = \frac{iC_1}{iB_1} \quad 8) \quad ; \quad \beta_2 = \frac{iC_2}{iB_2} \quad 9)$$

Donde iB_1 e iB_2 son las corrientes de base, entonces se tiene:

$$iE_1 = iB_1 + iC_1 \quad [A] \quad 10) \quad ; \quad iE_2 = iB_2 + iC_2 \quad [A] \quad 11)$$

Sustituyendo: 8), 9), 10) y 11) en 1) y 2) tenemos:

$$\alpha_1 = \frac{\beta_1}{1+\beta_1} \quad 12) \quad ; \quad \alpha_2 = \frac{\beta_2}{1+\beta_2} \quad 13)$$

Sustituyendo: 12) y 13) en 7) se obtiene:

$$iA = \frac{(1+\beta_1)(1+\beta_2)I_{C0}}{1-\beta_1\beta_2} \quad [A] \quad 14)$$

Si $\beta_1\beta_2 \ll 1$, entonces iA será pequeña debido a que I_{C0} es pequeña y esto corresponde al estado "apagado" o bloqueo directo del SCR. Sin embargo, si $\beta_1\beta_2 \approx 1$ entonces iA puede ser muy grande y será limitada únicamente por la impedancia del circuito de carga. Existen cuatro factores principales que pueden ocasionar que $\beta_1\beta_2$ se aproxime a la unidad. Estos son:

VOLTAJE.- Cuando VAK aumenta, los voltajes colector a emisor aumentan también. Esto incrementa la energía de los portadores minoritarios en la unión N1-P2 que está polarizada inversamente, y un incremento suficiente de su energía los habilita para liberar más portadores por colisión. Estos portadores liberados a su vez adquieren energía alta y el resultado es una ruptura por avalancha de la unión. El enorme incremento resultante en la corriente de colector de los dos transistores hace que $\beta_1\beta_2$ se aproxime a la unidad.

RAZON DE CAMBIO DE VOLTAJE.- El área de agotamiento de la unión N1-P2 polarizada inversamente tiene las características de un capacitor debido al espacio entre cargas que existe. En cualquier capacitor:

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad [A] \quad 15)$$

Sin embargo, en una unión la capacitancia es una función de la diferencia de potencial en la unión. Si como una aproximación se asume que el voltaje directo total VAK , aparece a través de la unión $N1-P2$, entonces la corriente de carga que fluirá cuando se varíe VAK estará dada por:

$$i_c = \frac{d(CJ VAK)}{dt} = CJ \frac{d VAK}{dt} + VAK \frac{dCJ}{dt} \quad [A] \quad (16)$$

Donde CJ es la capacitancia de la unión. Al aumentarse VAK , el segundo término de la ecuación es negativo; sin embargo, si $d VAK/dt$ es suficientemente más grande, una corriente de carga grande fluirá a través de la unión y nuevamente $\beta_1 \beta_2$ se aproximará a la unidad. Este fenómeno es llamado comúnmente "efecto $d V/dt$ ".

TEMPERATURA.- En temperaturas altas I_{CO} es grande. El incremento resultante en las corrientes de colector y en consecuencia en las magnitudes de β_1 y β_2 puede ser suficiente para hacer que $\beta_1 \beta_2$ se aproxime a la unidad.

INYECCION DE LA CORRIENTE DE BASE.- Este es el método normal para encender un SCR. Si la corriente i_{B2} se incrementa momentáneamente cerrando el interruptor SW de la figura 2.3.2C, entonces i_{C2} y β_2 aumentan. Pero debido a que i_{C2} es igual a i_{B1} , entonces i_{C1} y β_1 también aumentan. Así $\beta_1 \beta_2$ se aproxima a la unidad y se permite que fluya una corriente de ánodo i_A limitada únicamente por el circuito de carga.

Si VAK es negativo, entonces el SCR puede encenderse por alguno de los primeros tres factores y permitir que fluya la corriente inversa. Sin embargo, en este caso existen dos uniones N-P polarizadas inversamente que deben llevarse a conducción, y esto requiere condiciones más extremas que las que se necesitan en la corriente directa.

Una vez encendido el SCR, permanecerá así y permitirá fluir la corriente del ánodo al cátodo, aunque la tensión de compuerta se haya suprimido. A esta capacidad de sostener la corriente se le llama, "Retención condicionada o de enganche", y es el valor I_H , necesario para conmutar de la condición de apagado a la de encendido. Cuando se conmuta el SCR, la tensión

de compuerta debe durar lo suficiente para que la corriente en el ánodo alcance el valor de retención condicionada.

Cuando un SCR está conduciendo presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente. Cuando está bloqueado no puede fluir corriente de ánodo a cátodo.

Un tiristor puede apagarse utilizando uno de los tres modos siguientes:

CONMUTACION NATURAL.

En los circuitos de C.A., la corriente siempre pasa por cero cada mitad de ciclo. Al suceder esto, automáticamente aparece una tensión inversa a lo largo del SCR. Este fenómeno se conoce como conmutación natural. Los convertidores conmutados en línea y los inversores caen dentro de esta categoría.

CONMUTACION FORZADA.

Cuando el SCR se conmuta forzadamente, se utilizan medios externos para apagar violentamente el SCR y los circuitos inversores basados en este principio se conocen como circuitos inversores conmutados en fuerza. Por ejemplo, los Choppers.

CONMUTACION POR CARGA.- Como su nombre lo indica, este tipo de conmutación depende de la naturaleza del circuito de carga, esto es, la tendencia natural de la corriente en el circuito a caer a cero cierto tiempo después que ha sido encendido el tiristor. Como cualquier circuito de carga alimentado por A.C. puede aprovechar la conmutación por línea, la conmutación por carga tiene interés básicamente en circuitos alimentados por D.C.

En la figura 2.3.5 se visualiza este tipo de conmutación.

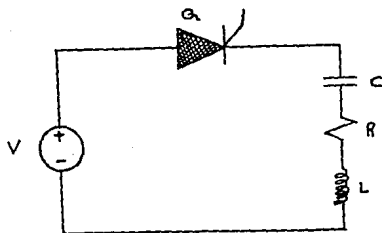


FIGURA 2.3.3

DESCRIPCIÓN DE LOS CONVERTIDORES.

Los convertidores de corriente directa (C.D.), toman la energía de una fuente de corriente alterna que puede ser polifásica y la rectifican utilizando SCR'S ya que por ser controlados por la compuerta se utilizan en la elaboración de convertidores de C.D. controlados; tal es el caso de este proyecto.

En la tabla 2.3.1 se muestran algunos de los conversores trifásicos de C. D. más usados. En estos la frecuencia de "ripple" o cresta de la tensión terminal del motor, es más alta que la ofrecida por los convertidores de una sola fase, de ahí que, los requerimientos de filtrado para una salida uniforme de corriente al motor sean menores, la corriente al motor es casi continua, por lo tanto, mejor funcionamiento del motor de C.D.

Los convertidores trifásicos de media onda no son prácticos en la mayoría de los casos, ya que la corriente de la fuente podría contener componentes armónicos.

Los semiconvertidores trifásicos de tres pulsos y los convertidores trifásicos de seis pulsos son los más usados en la práctica.

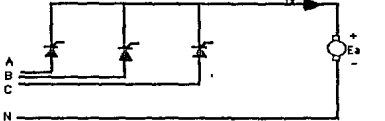
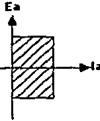
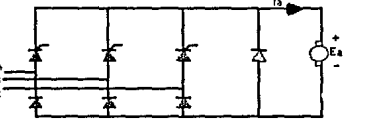
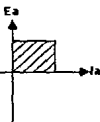
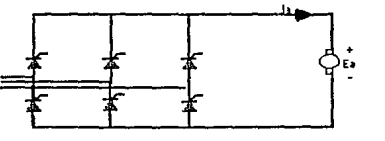
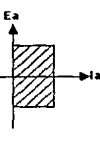
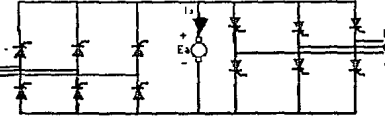
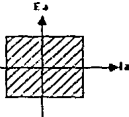
Los convertidores duales se usan en sistemas reversibles de alta potencia.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL CONVERTIDOR.

Se seleccionó el semiconvertidor trifásico de tres pulsos, debido a que cumple con las condiciones requeridas de operación, además de ser el más económico por utilizar únicamente tres SCR'S y cuatro diodos (incluido el diodo de libre giro), tiene buen factor de rizo, funciona para cargas altas tal como es nuestro caso (150 H.P.).

En el anexo 2 se presentan las formas de onda de alimentación del motor en plena operación y las gráficas algunas armónicas presentes en las terminales del motor.

TABLA 2.3.1 CIRCUITOS CONVERSORES TRIFASICOS PARA TIRISTORES CONTROLADOS POR FASE

CIRCUITO	TIPO	HP TÍPICO	FREC. DE RIPPLE	CUADRANTES DE OPERACION
	Media Onda	10-50	3 F _s (F _s = Frecuencia de la fuente)	
	Semi- convertidor (3 Pulsos)	15-150	3 F _s	
	Convertidor completo (6 Pulsos)	100-150	6 F _s	
	Convertidor a 12 pulsos ó Dual.	200-2000	6 F _s	

FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR EMPLEADO.

El circuito empleado en la etapa de potencia es un semiconvertidor trifásico de tres pulsos (tres SCR'S y tres diodos).

La figura 2.3.5. nos muestra el circuito semiconductor con su diodo de retorno. El uso de este diodo se hace necesario debido a que el circuito de potencia no puede reducir instantáneamente la corriente a cero, el diodo D_f conducirá tan pronto como el voltaje inducido sea de magnitud suficiente permitiendo que la inductancia del motor descargue su energía almacenada con este diodo. El funcionamiento de este diodo es equivalente a un interruptor eléctrico.

La resistencia R y la capacitancia C colocadas en las terminales ánodo y cátodo de los SCR'S forman una red de amortiguadores, para limitar las pendientes de voltaje cuando a dichos SCR'S les sean aplicados los escalones de voltaje, que de acuerdo a especificaciones del fabricante un excesivo dv/dt haría que el SCR'S conduzca.

La elección de tres SCR'S y tres diodos se debe al costo de los primeros, ya que se podría obtener el puente con seis SCR'S, pero no es necesario debido a que en el motor a controlar el tiempo de respuesta es lento y la carga mecánica que tiene es de una masa inercial elevada.

En la siguiente tabla se muestra el comando durante un ciclo de corriente alterna del circuito de disparo para los SCR'S con sus diodos respectivos.

INTERVALOS	DESIGUALDADES DE LAS FORMAS DE ONDA	FASES CONDUCIENDO	ELEMENTOS CONDUCIENDO
$\pi/3$ wt	$2\pi/3$ A > C > B	A B	$Q_1 - D_2$
2 $\pi/3$ wt	π A > B > C	A C	$Q_1 - D_3$
π wt	$4\pi/3$ B > A > C	B C	$Q_2 - D_3$
4 $\pi/3$ wt	$5\pi/3$ B > C > A	B A	$Q_2 - D_1$
5 $\pi/3$ wt	2π C > B > A	C A	$Q_3 - D_1$
2 π wt	$7\pi/3$ C > A > B	C B	$Q_3 - D_2$

TABLA 2.3.2

De la tabla anterior vemos que Q_1 en este tipo de configuración debe conducir de $\pi/3$ a π radianes, y en ese intervalo de tiempo el retorno de corriente se hará por los diodos D_2 y D_3 . Es decir, el disparo de la compuerta Q_1 se efectúa desde $\pi/3$ hasta $2\pi/3$ y el retorno de corriente es exclusivamente por D_2 y en $2\pi/3$ a π se corta este diodo y por la diferencia de potencial entre fases empieza a conducir D_3 , teniendo así un pulso de conducción con dos diodos de retorno.

Para los otros intervalos ocurre el mismo procedimiento hasta completar un ciclo completo obteniendo tres pulsos.

Con el fin de ver el comportamiento de las formas de onda con respecto al ángulo de disparo α , en las figuras 2.3.4 A, B, C, D, E, F, G, se muestra que para $150^\circ \geq \alpha \geq 0^\circ$, el circuito rectifica la señal de C.A. a una señal de C.C.

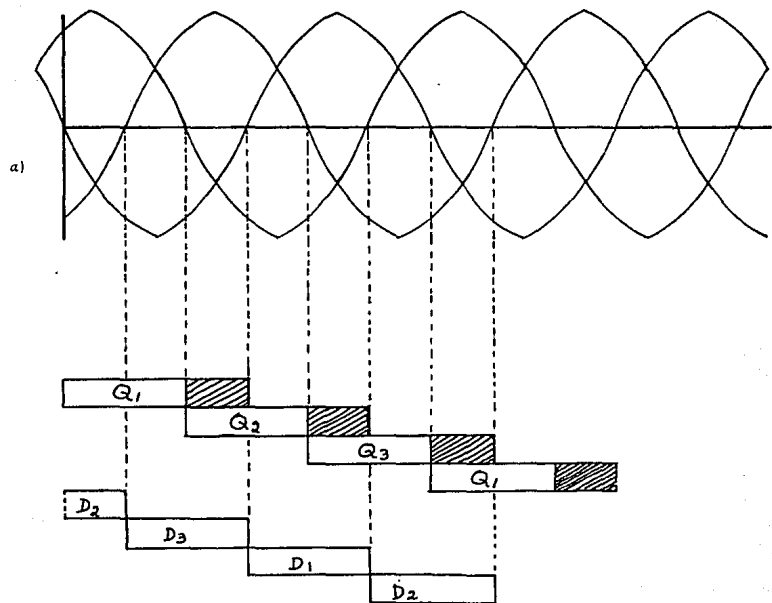


FIGURA 2.3.4

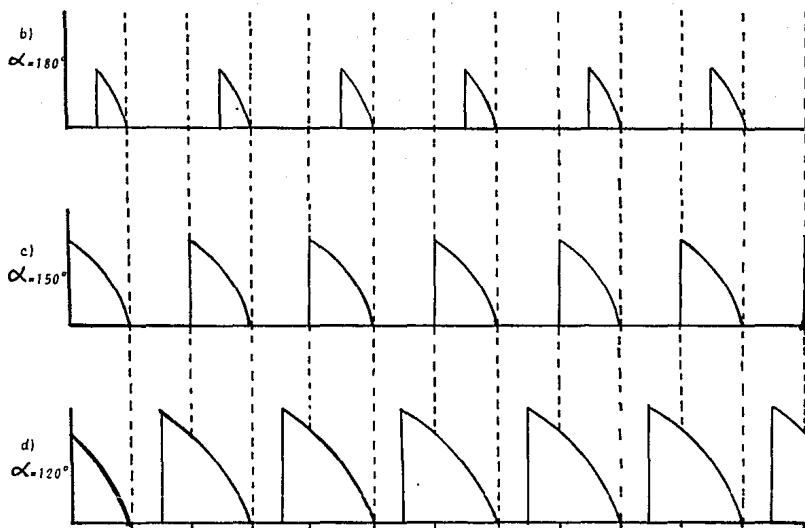


FIGURA 2.3.4

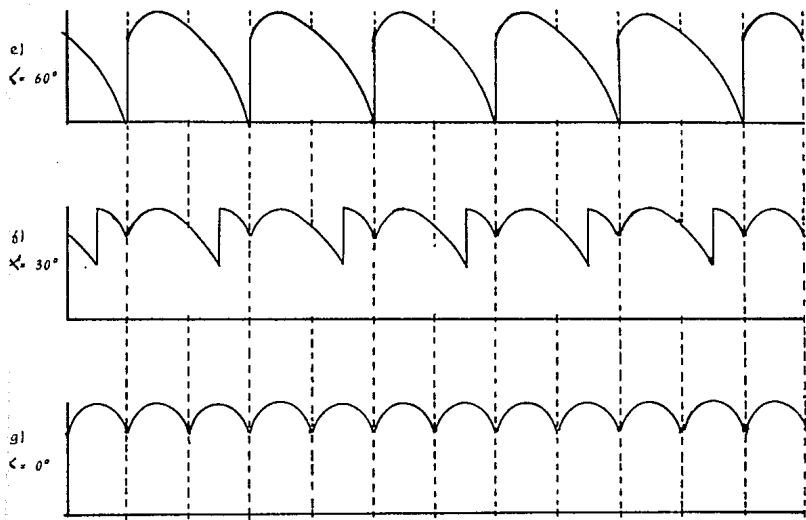


FIGURA 2.3.4

CALCULOS DEL CONVERTIDOR EMPLEADO.

El puente trifásico seleccionado para convertir de corriente alterna a corriente directa, es un semiconvertidor de tres pulsos, puesto que se tienen tres pulsos por un ciclo completo, es decir, en un periodo de 360° , así también se tienen los parámetros L_a , R_a y E_g que representan el modelo eléctrico del motor como es mostrado en la figura 2.3.5.

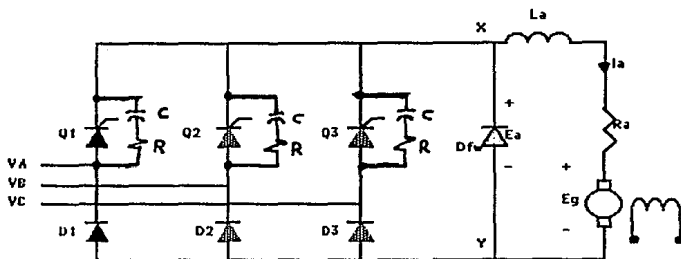


FIGURA 2.3.5.

donde:

L_a : Es la inductancia total del motor que además de generar el flujo Φ , produce el giro del motor, también limita el crecimiento de la corriente evitando que se averíen los SCR'S en el momento de disparo, donde la inductancia total medida en la práctica es: $L_a = 1.38 \text{ mH}$.

R_a : Es la resistencia ohmica total del motor medida en sus terminales con un valor de: $R_a = 0.898 \Omega$

E_g : Es la fuerza contra electromotriz que se genera por el flujo y las revoluciones del motor ω .

Para analizar este modelo eléctrico en particular como es de tres pulsos por un ciclo completo, se ve el comportamiento de cada pulso, suponiendo que el ángulo de disparo se inicie en $2\pi/3$, por lo que Q_1 y D_3 conducen, teniéndose un circuito equivalente tal como se muestra en la figura 2.3.6 con diagramas de tiempo en la figura 2.3.7.

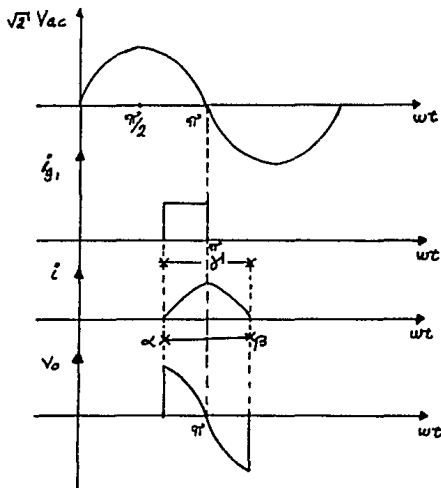
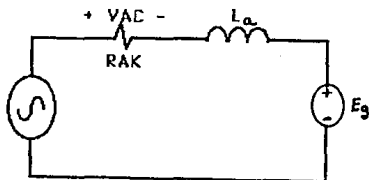


FIGURA 2.3.7

El pulso de corriente en función de los parámetros de la figura 2.3.6, y de acuerdo a la condición inicial de que en $\omega T = \alpha$ se aplica un pulso de disparo en la compuerta de la corriente en ese instante es cero, y su comportamiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$i(t) = \frac{V_{ac}}{\sqrt{2}} \left[\sin(\omega T - \phi) - \left(\frac{m}{\cos \phi} - B e^{(\alpha - \omega T) / \tan \phi} \right) \right] \dots (1)$$

$$\text{donde: } m = \frac{E_g}{\sqrt{2} V_{ac}} \dots (2)$$

$$B = \frac{m}{\cos \phi} - \sin(\alpha - \phi) \dots (3)$$

$$\text{y } \phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} \dots (4)$$

Para un ángulo de disparo de $\alpha = 2/3$ como se muestra en la figura 2.3.7 lo que interesa es evaluar el pico máximo de corriente, el valor promedio e IRMS de la misma, por lo que la ecuación (1) se desarrollará para obtener el valor promedio y eficaz respectivamente.

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i(t) dt \dots (5)$$

$$IRMS = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i(t)^2 dt \right]^{1/2} \dots (6)$$

donde: β es el ángulo de cese de conducción.

Las ecuaciones 5 y 6 representan los valores para un solo pulso, sin embargo, en un ciclo completo hay tres pulsos, entonces el motor tendrá una corriente IRMS (motor) $= \sqrt{3}$ IRMS y una corriente promedio $I_{o_{tot}} = 3I_o$

Lo anterior nos permite calcular el factor de potencia.

$$F.P. = \frac{I_{rms}^2 R_{a_{motor}} + E_g I_o}{V_{ac} IRMS \text{ línea}} \dots (7)$$

donde: $IRMS_L$ es la corriente de línea o fase con valor $IRMS_L = 2 IRMS$, dado que cuando el ángulo de disparo $\alpha = 2\pi/3$ cada línea conduce dos pulsos de corriente por ciclo.

Los valores de voltaje promedio y eficaz, se evalúan de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$V_o = I_o R_a + E_g \quad \dots \quad (8)$$

y

$$VRMS = IRMS |Z| + E_g \quad \dots \quad (9)$$

$$\text{donde } |Z| = [R_a^2 + (2\pi f L_a)^2]^{1/2} \dots \quad (10)$$

siendo f la frecuencia de línea de 60 Hz.

Con el valor de R_a y L_a y evaluado la ecuación (10), encontramos el valor de la impedancia $|Z|$.

$$|Z| = [R_a^2 + (2\pi f L_a)^2]^{1/2}$$

$$|Z| = [(0.898)^2 + (2\pi \cdot 60 \times 1.38 \times 10^{-3})^2]^{1/2}$$

$$|Z| = 1.037 \Omega$$

Para una velocidad programada de 10 km/hr., el motor tiene un valor de corriente $IRMS = 38.8$ A, medida a través de un shunt de efecto Hall y un voltaje medido en sus terminales de $VRMS = 48$ volts, conociendo estos valores podemos evaluar la caída de tensión de V/Z y así conocemos el valor de E_g que genera el motor, entonces de la ecuación (9) tenemos:

$$VRMS = IRMS |Z| + E_g$$

$$E_g = VRMS - IRMS |Z|$$

$$E_g = 48 - (38.8)(1.037)$$

$$E_g = 7.7644 \text{ Volts.}$$

Para conocer el valor de V_o (Voltaje promedio), debemos conocer la corriente promedio I_o . Puesto que ya conocemos E_g , evaluamos el valor numérico de ϕ en el cual hay una familia de curvas que relacionan M y para varios valores de ϕ donde podemos calcular la corriente promedio y eficaz siempre y cuando el valor de ϕ caiga en una de las curvas de la ecuación (5) tenemos:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{WL}{R}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{120 \times 1.35 \times 10^{-3}}{0.898}$$

$$\phi = 30.08^\circ$$

Para este valor de ϕ hay curvas existentes para poder calcular I_{rms} e I_o y de la ecuación (3).

$$m = \frac{E_g}{2 \text{ Vac}} = \frac{7.7644}{2 \times 220} = 0.02495$$

Con $m = 0.02495$ y $\alpha = 154^\circ$ para $\phi = 30^\circ$ de la figura del anexo número 4 obtenemos la corriente normalizada que está dada por:

$$I_o = \frac{2 \text{ Vac}}{1.27} \text{ IN}; \quad \text{donde IN de gráficas es: IN} = 0.07$$

$$I_o = \frac{2 \times 220}{1.037}$$

$$I_o = 21 \text{ Amp.}$$

$$I_{c_{tot}} = 63 \text{ Amp.}$$

Conociendo este valor podemos conocer el voltaje promedio V_o y está dado por:

$$V_o = I_o R_a + E_g$$

$$V_o = 63 (0.898) + 7.7644$$

$$V_o = 64.338 \text{ Volts}$$

Y la corriente de línea o fase con valor $I_{rms}_L = \frac{2}{3} I_{rms}$; donde $I_{rms}_A = I_{rms}_B = I_{rms}_C$

	10 Km/Hr	20 Km/hr	30 Km/Hr	40 Km/Hr	50 Km/Hr	60 Km/Hr	70 Km/Hr	80 Km/Hr
VOLTAJE VRMS (V)	48	86	102	150	232	260	265	273
CORRIENTE IRMS (A)	38.8	45.2	52.48	60	68.48	69.36	70	71.2
Eg. (V)	7.764	39.12	47.57	87.78	160.98	188.07	193.07	199.65

TABLA 2.3.3

$$I_{rms,L} = \frac{2}{3} 38.8$$

$$I_{rms,L} = 18.2904$$

Por lo tanto, el factor de potencia está dado por:

$$F.P. = \frac{I_{rms}^2 R_a + E_g I_o}{V_{ac} I_{rms} l_{inea}}$$

$$F.P. = \frac{(38.8)^2 (0.898) + (7.7644) (63)}{220 (18.29)}$$

$$F.P. = \frac{1351.8851 + 489.1572}{(220) (18.29)}$$

$$F.P. = 45.72\%$$

En la tabla 2.3.3 se da un listado de valores para diferentes velocidades, como se puede observar la fuerza contraelectromotriz E_g varía de acuerdo a las RPM.

PROTECCION DE LOS SCR'S.

Los SCR'S se protegen de los transitorios de corriente (di/dt) y voltaje (dv/dt) indicado por el fabricante, el circuito encargado para limitar los transitorios es por medio de una malla supresora o una red de amortiguamiento.

Resulta perjudicial la di/dt cuando hay una intensidad de corriente con una alta razón de cambio en el momento en que empieza a conducir el SCR, por consiguiente, da lugar a un calentamiento y puede alcanzar el límite término crítico el cual destruiría la zona conductora. Esto se evita añadiendo una inductancia en serie, la cual es saturable. Cuando no está saturada, sólo deja pasar una corriente reducida, una vez saturada, se convierte en un corto circuito, lo que se consigue es retardar el establecimiento de la corriente principal, figura 2.3.8a.

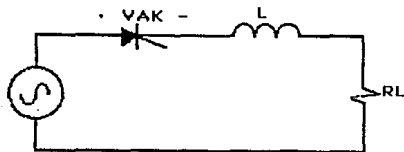


FIGURA 2.3.8a

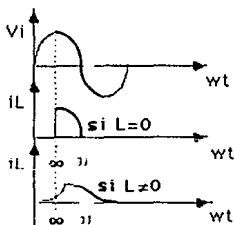


FIGURA 2.3.8b

De la figura 2.3.8b observamos que:

$$V = L (di/dt) + RiL ; \frac{V}{L} = \frac{di}{dt} + \frac{R}{L} iL \quad \frac{di}{dt} = \frac{V}{L} - \frac{R}{L} iL \quad \dots 1)$$

cuando el SCR conduce en $t = 0$

$VAK = |V|$ entonces la corriente está dada por:

$$iL = -\frac{V}{R} e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V}{R} = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad \dots 2)$$

sustituyendo 2) en 1)

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} - \frac{R}{L} \left[\frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \right]$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} - \frac{V}{L} + \frac{V}{L} e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} e^{-\frac{R}{L}t}$$

como $t = 0$, $V = \sqrt{2} \cdot 220$ y $di/dt = 100 \text{ Amp}/\mu \text{ seg}$
dato proporcionado por el fabricante.

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \quad L = \frac{V}{di/dt} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^{-6}}{100} = 3.11 \times 10^{-6} \text{ Henrys}$$

teniéndose una inductancia mínima de $L = 3.11 \text{ mH}$.

Cuando el SCR está bloqueado y se presenta una tensión brusca entre ánodo y cátodo, puede provocar conducción intempestiva en ausencia de señal en la puerta, este transitorio de voltaje origina un di/dt que puede disparar al SCR, para evitar este problema se coloca un condensador y una resistencia en paralelo como se muestra en la figura 2.3.9

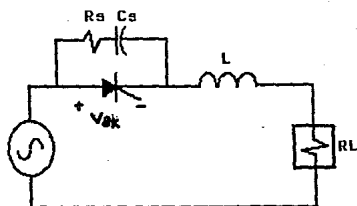


FIGURA 2.3.9

Quando no existe disparo en la compuerta, se presenta una alta impedancia RAK en las terminales del SCR, por lo que R_L se desprecia, (ver figura 2.3.10.)

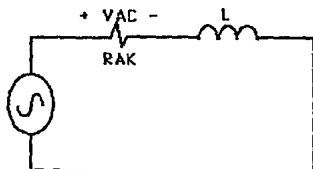


FIGURA 2.3.10

En dicha figura la corriente es de la forma:

$$iL = \frac{V}{RAK} [1 - e^{(-RAK/L)t}] \quad \text{y} \quad VAK = V [1 - e^{(-RAK/L)t}]$$

$$\frac{dVAK}{dt} = \sqrt{2} V (RAK/L) e^{(-RAK/L)t}$$

y el valor máximo cuando ocurre el disparo $t = 0$

$$\frac{dVAK}{dt} = \sqrt{2} VRAK/L \quad R = \frac{\frac{dv}{dt} \cdot L}{\sqrt{2} V}$$

por lo tanto, tenemos $\frac{dv}{dt} = 300 \text{ Volts}/\mu\text{seg.}$ obtenidos de las especificaciones del fabricante.

$$R = \frac{300 * 3.11 * 10^{-6} / 10^{-6}}{\sqrt{2} \cdot 220} = 3 \Omega$$

y por último, para calcular el valor del capacitor es por medio de la relación de amortiguamiento dado por:

$$\mathcal{F} = (R/2) * (\frac{C}{L})^2 \doteq R/2L \quad \dots (a)$$

Calculando el factor de amortiguamiento:

$$\mathcal{F} = \frac{R}{2L} = \frac{3}{2 * 3.11 * 10^{-6}} = 0.48$$

de la ecuación (a) despejamos C, tenemos:

$$C = L (2\mathcal{F}/R)^2 \text{ sustituyendo valores}$$

$$C = 3.1 * 10^{-6} (2 * 0.48 / 3)^2 = 0.31 \mu\text{f.}$$

por lo que se adoptan los siguientes valores:

$$C = 0.33 \mu\text{f} \quad ; \quad L = 3.1 \mu\text{H} \quad ; \quad R = 3 \Omega$$

2.4 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTROL ELECTRÓNICO ANALÓGICO.

Se ha descrito anteriormente la operación de los convertidores controlados de CA a CD por medio de SCR'S. Se ha visto la necesidad de controlar el ángulo de disparo que da como resultado la capacidad de controlar el voltaje C.D.

El disparo en sí debe tener determinadas características que dependen del SCR. Para los que se eligieron en el proyecto, la amplitud debe estar entre 3 y 10 Volts, la corriente entre 100 mA y 3A. En todo caso, la potencia de trabajo recomendada es aproximadamente 1 Watt, con una amplitud de 5 V, por lo que la corriente necesaria es aproximadamente 200 mA. En este proyecto se elige 250 mA para asegurar un correcto encendido del SCR.

Existen formas clásicas de anchura de pulso de disparo, una que es continua desde el ángulo donde se inicia el disparo hasta los 180° eléctricos en que termina el semiciclo de la señal de C.A. (fig. 2.4.1.a). En la otra, la anchura del pulso es constante, se inicia en el ángulo de disparo y termina cierto tiempo después, fijo, independientemente de la forma de la onda C.A. (fig. 2.4.1.b).

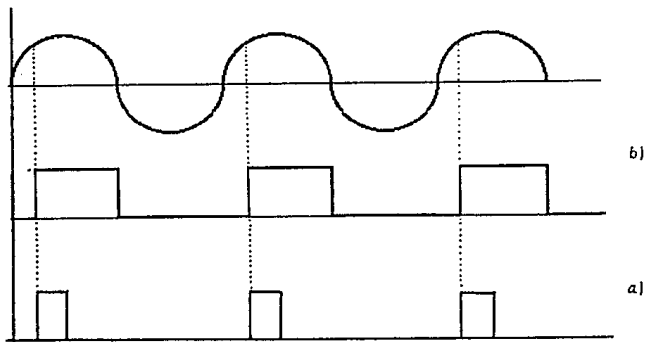


FIGURA 2.4.1

Se eligió la primera forma por mayor simplicidad. Visto lo anterior, podemos determinar el tipo de circuito electrónico analógico que se necesita:

Debe conformar un pulso de 5 Volts de amplitud, y poder suministrar 250mA, la anchura del pulso debe poder variarse continuamente de 180° hasta 0° eléctricos.

Una vez que se logre lo anterior, resta sólo diseñar la circuitería que permita llevar el pulso de disparo a la compuerta del SCR.

Se propone desarrollar los diagramas de bloques mostrados en la figura 2.4.2.

Bloque a).- Proporciona la sincronización entre la señal de la corriente alterna y el pulso de disparo del SCR. Como el sistema es trifásico resultan tres circuitos idénticos, ver figura 2.4.3. Cada uno consta de un transformador convencional que reduce el voltaje entre fases, 220 V, a un nivel de 7 Volts.

Bloque b).- Detección de cruce por cero. Constituido por un comparador cuyo pin negativo está conectado a tierra. El positivo recibe un décimo del voltaje del secundario del transformador del bloque a). El divisor entre 10 lo constituyen las resistencias de $4.7\text{ K}\Omega$ y 470Ω .

El comparador requiere la colocación de una resistencia entre la salida y $V+$ por ser colector abierto. Según indicaciones del fabricante debe ser $1.8\text{ K}\Omega$.

Hasta aquí, el comparador da como salida una señal cuadrada que es igual a $+12\text{ V}$ para el semiciclo positivo de la señal C.A. de entrada y -12 V para el semiciclo negativo. Ver figura 2.4.4.

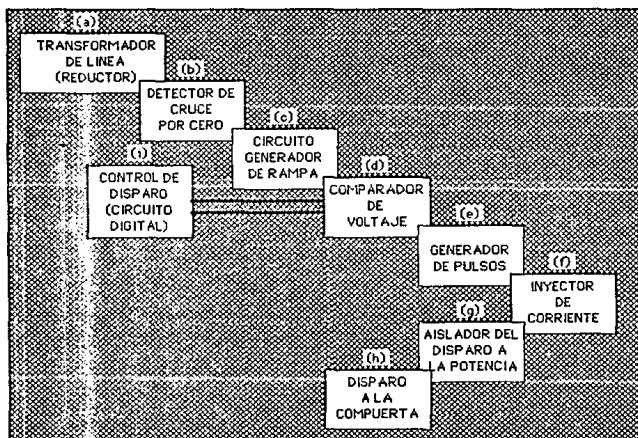


FIGURA 2.4.2

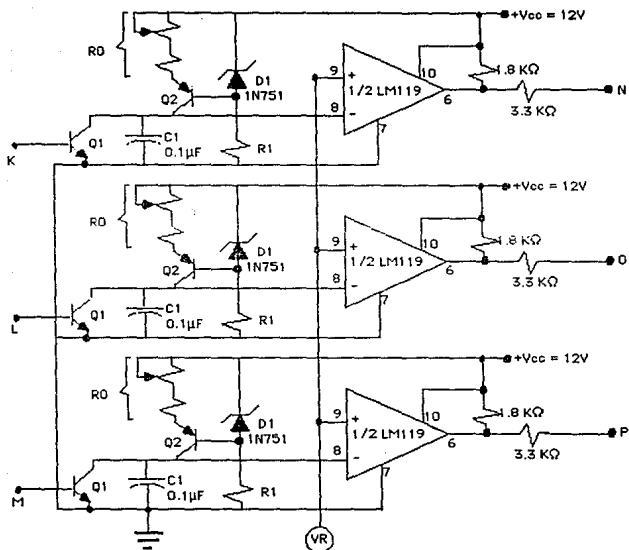


FIGURA 2.4.3

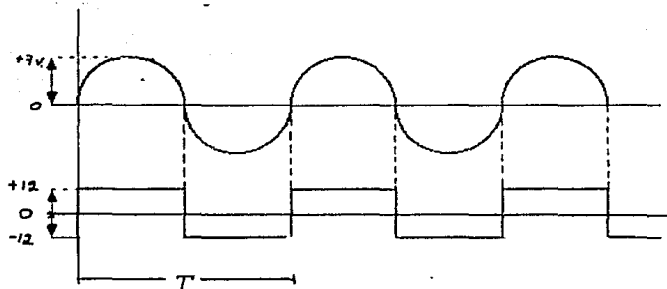


FIGURA 2.4.4

La anchura del pulso cuadrado coincide con los cruces por cero de la --- señal alterna, esto es, tienen el mismo periodo $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.01666$ seg. donde f es la frecuencia.

Sin embargo, lo que se requiere es una señal que varíe entre 0 y +12 V. Para ello se coloca un diodo con ánodo a tierra y cátodo hacia la salida del comparador. Para limitar la corriente sobre el diodo a aproximadamente 3.5 mA, se coloca en serie una resistencia de 3.3 K Ω .

La señal que dan los puntos K, L y M son similares, salvo por el corri--- miento de 120° eléctricos y es mostrada en la figura 2.4.5

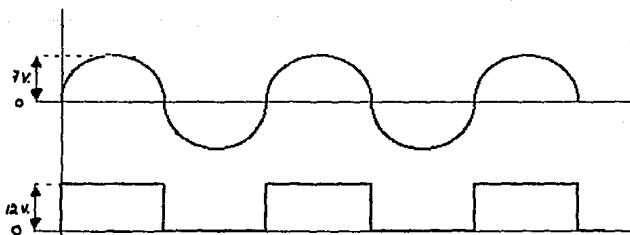


FIGURA 2.4.5

Nótese que, en rigor, el voltaje bajo la señal cuadrado no es cero Volts, sino $-V_D = -0.5$ V, que es el voltaje de caída del diodo y es negativo por la forma de conexión.

Bloque C).- Circuito generador de rampa. Teniendo como referencia la ---- señal cuadrada del bloque anterior, la necesidad es obtener una rampa de acuerdo a la figura 2.4.6

La señal cuadrada actuará sobre el switch S cerrándolo cuando el valor sea alto (+12 V) y abriéndolo cuando sea bajo (0V).

La fuente proporciona una corriente constante que cuando el switch está cerrado circula por él y el voltaje en el capacitor VC es igual a cero. Cuando el switch se abre, la corriente I circula por el capacitor C, produciendo un voltaje VC el cual tiene forma de rampa por ser producido por una corriente constante.

Eligiendo un capacitor de $0.1 \mu\text{f}$ y considerando que el voltaje máximo al cual debe cargarse en T/2 segundos es 5 Volts, tenemos:

$$VC(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt$$

como la corriente $i(t)$ es constante e igual a I:

$$VC(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} I dt = \frac{I}{C} \left[\frac{t^2}{2} \right]_{t_1}^{t_2}$$

Si $t_1 = 0$, $T_2 = 0.00833 \text{ seg.}$, $VC(t_2) = 5 \text{ V}$

$$5\text{V} = \frac{I}{0.1 \times 10^{-6}} (0.00833 \text{ S})$$

$$I = 0.06 \text{ mA}$$

que es la corriente que deberá dar la fuente de corriente y cuya configuración se observa en la figura 2.4.8

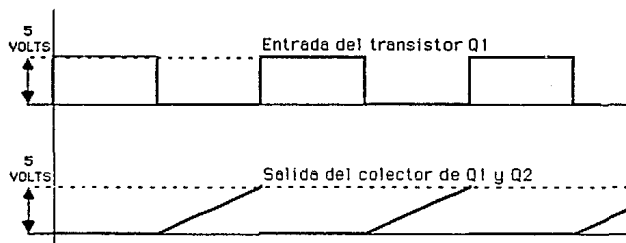


FIGURA 2.4.6

El esquema básico desarrollado es el siguiente:

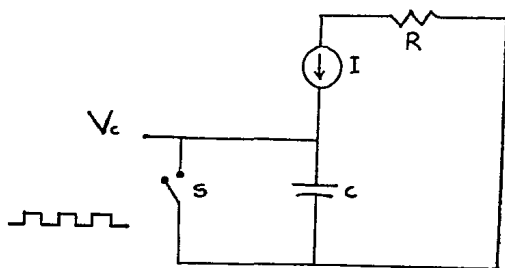


FIGURA 2.4.7

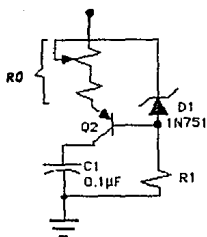


FIGURA 2.4.8

Consiste de un transistor Q_2 PNP al que se le aplica en la base un voltaje estabilizado por un diodo zener que elegimos de 5.1 V. La configuración seguidor emisor usado obliga que en el emisor de Q_2 haya también un voltaje fijo. La diferencia de potencial entre el voltaje de alimentación, +12V y el voltaje de emisor VE_{Q_2} sobre una resistencia R_0 da una corriente constante I_E .

El voltaje V_B esta dado por:

$$V_B = 12 - V_z = 12 - 5.1 = 6.9 \text{ V}$$

La resistencia R_1 limita la corriente sobre el diodo zener, la cual se desea en 2 mA para que opere en los límites de potencia.

$$\text{Por lo tanto: } R_1 = \frac{6.9 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 3.45 \text{ K}\Omega$$

Para calcular R_o :

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\text{pero } I_C = I = 0.06 \text{ mA}, \quad I_B = \frac{I_C}{\beta}, \quad \beta = 100$$

$$I_E = \frac{I_C (\beta + 1)}{\beta} = \frac{0.06 (101)}{100} = 0.0606 \text{ mA}$$

Por otro lado tenemos que:

$$V_{R_o} + V_{EBQ_2} + V_B = +V$$

$$V_{R_o} = +V - V_{EBQ_2} - V_B; \quad \text{Si } V_{EBQ_2} = 0.3 \text{ V}$$

$$V_{R_o} = 12 - 0.3 - 6.9 = 4.8 \text{ V}$$

$$\text{Luego entonces: } R_o = \frac{V_{R_o}}{I_E} = \frac{4.8 \text{ V}}{0.0606} = 79.2 \text{ K}\Omega$$

El switch S representado en el esquema básico es implementado por un transistor de switcheo Q_1 NPN. Su función será cortocircuitar el capacitor cuando reciba un voltaje alto en la base, manteniendo $V_C = 0\text{V}$.

Se eligen:

Q_1 , transistor de switcheo, 2N 2222, $I_{CQ} = 800 \text{ mA}$

$$\beta = 50$$

Q_2 , transistor de señal potencia media, 2N 2907A

$$I_{CQ} = 600 \text{ mA} \quad \beta = 100$$

El bloque D).- es el encargado de generar el pulso que posteriormente se aplicará al SCR. Es un comparador de voltaje en el cual la entrada positiva es la rampa que se obtuvo en la etapa anterior.

La entrada negativa es un voltaje de referencia V_r cuyo valor depende de la velocidad que se quiere obtener en el motor. V_r varía entre 0 volts equivalente a máxima velocidad, y 5 volts que es igual a velocidad 0. Nótese que la rampa tiene igual rango.

El comparador dará siempre una salida de 0 volts cuando el voltaje de la entrada negativa sea mayor que el de la entrada positiva y dará salida de 12 volts cuando el voltaje en la entrada positiva sea mayor que el de la negativa.

Cuando el voltaje de referencia V_r sea 5 volts sólo podrá ser igualado por la rampa justo cuando termina esta, por lo que el comparador dará salida 0 volts. Si V_r va disminuyendo, el comparador dará salida alta todo el tiempo que la rampa sea mayor que aquel. De esta forma obtenemos un pulso de anchura controlable por V_r y posicionado bajo el semiciclo positivo de la señal de corriente alterna de la fase que proviene.

En la figura 2.4.9 se muestran los bloques C) y D). Se pueden observar las resistencias de 1.8 K Ω necesarias en el comparador de colector abierto.

La resistencia de 3.3 K Ω limita la corriente de salida del comparador a un máximo de 3.5 mA.

La figura 2.4.10 muestra las formas de onda que se obtienen.

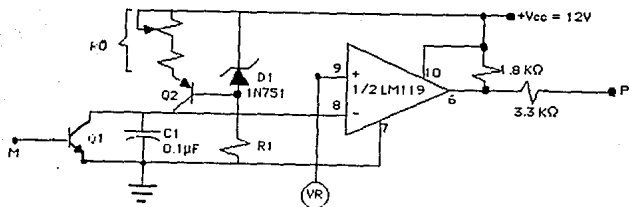


FIGURA 2.4.9

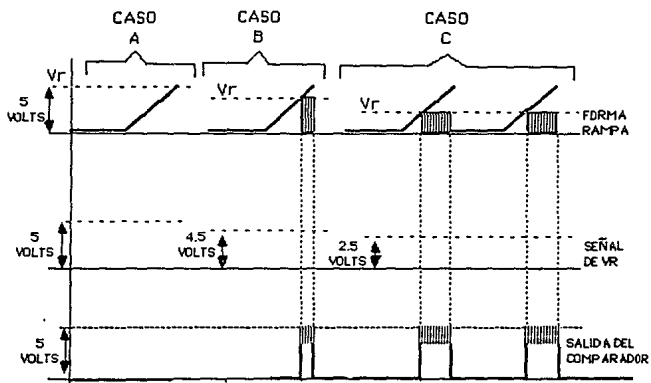
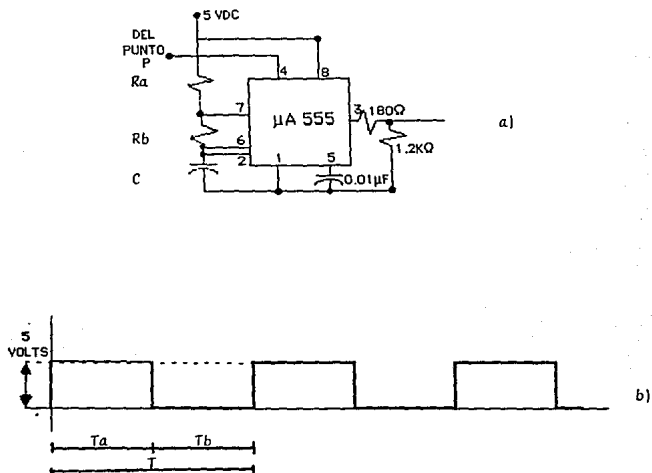


FIGURA 2.4.10

El bloque E) que hemos llamado generador de pulsos, es un oscilador de onda cuadrada con frecuencia constante de 25 KHZ efectuado con circuito 555. La salida del bloque D) es aplicada a la pata 4 del 555, cuando es cero se bloquea el oscilador. Cuando el valor es alto se habilita al oscilador y permanece así todo el tiempo que el voltaje de la pata 4 es alto.

Según el manual del fabricante, el esquema básico es el siguiente y el cálculo de los elementos como sigue:



P = Reset

FIGURA 2.4.11

El fabricante especifica que $T_a > T_b$

como $f = 25 \text{ KHz}$

$$t = \frac{1}{25} \times 10^{-3} = 40 \mu \text{ seg.}$$

Se propone entonces $T_a = 21 \text{ m seg. y}$

$$t_b = 19 \mu \text{ seg.}$$

Se propone un capacitor $C = 0.0047 \mu \text{f}$

entonces:

$$T_b = (0.693 R_b) (C)$$

$$R_b = \frac{19 \times 10^{-6}}{(0.693) (0.0047 \times 10^{-6})} = 5.833 \text{ K}\Omega$$

para calcular R_a

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

$$R_a = \frac{T_a}{0.693 C} - R_b = \frac{21 \times 10^{-6}}{(0.693) (0.0047) (10^{-6})} - 5833.4$$

$$R_a = 6447.45 - 5833.4 = 614.04 \Omega$$

Por lo tanto, los elementos quedan con los siguientes valores comerciales:

$$R_a = 680 \Omega$$

$$R_b = 5.9 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0.0047 \mu \text{f}$$

El valor de C_f es de $0.01 \mu \text{f}$ por indicación del fabricante y es para dar estabilidad al sistema.

Los bloques F), G) y H) están íntimamente relacionados. La figura 2.4.12 los muestra.

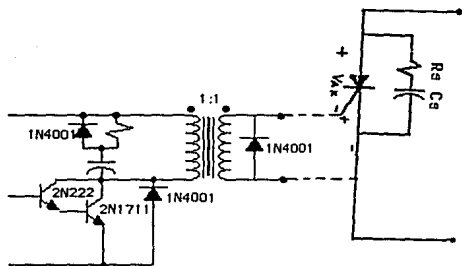


FIGURA 2.4.12

Los transistores Q_1 y Q_2 forman el bloque F), inyector de corriente. Su configuración es un par Darlington por requerirse en el transformador T una corriente relativamente alta, comandada por una corriente mínima. El bloque G) queda constituido por el transformador T. Se le llama comúnmente transformador de pulsos porque las señales que maneja son cuadradas.

Se le ha llamado también aislador de disparo a la potencia porque realmente se separa eléctricamente el circuito de control de la etapa de potencia.

El bloque H; lo forma la conexión del secundario del transformador T con la compuerta del SCR. Los elementos D, D_L , R, C y L se explicarán y calcularán más adelante.

Al inicio de este tema se mencionó la corriente y potencia que se aplica a la compuerta del SCR: 250 mA y 5 V. Esa corriente es una I promedio I_o .

Considerando una eficiencia de 90% en el transformador, la corriente en el primario de T será:

$$I_{op} = \frac{I_o}{0.9} = \frac{250}{0.9} = 277 \text{ mA.}$$

La función del par Darlington será conectar y desconectar de tierra un extremo del primario del transformador según la forma de los pulsos que recibe en la base Q_1 . El circuito elemental y las formas de onda que resultan se muestran a continuación:

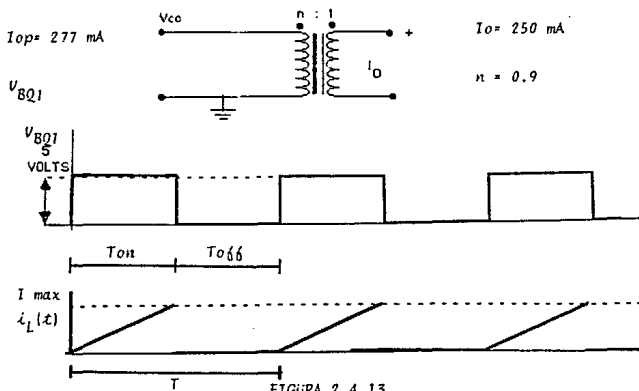


FIGURA 2.4.13

V_{BQ_1} es la señal proveniente del generador de pulsos, a 25 KHZ, por lo tanto, $T = 40$ seg, $T_{on} = T_{off} = 20$ seg.

$i_L(t)$ es la corriente que aparece en la inductancia L del transformador. Necesitamos conocer el valor de esa inductancia para seleccionar el transformador. En los extremos de la bobina tenemos:

$$a) \quad V_L = L \frac{di_L(t)}{dt} = L \frac{I}{\Delta t} = L \frac{I_{MAX}}{T_{on}} = 5 \text{ V}$$

Para conocer I_{max} :

De la forma de onda de la corriente

$$i_L(t) = \frac{I_{MAX}}{T_{on}} t$$

$$I_{op} = \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} i_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} \frac{I_{MAX}}{T_{on}} t dt = \frac{I_{MAX}}{4 T_{on}^2} T^2$$

$$I_{op} = \frac{I_{MAX} T_{on}^2}{4 T_{on}^2} = 277 \text{ mA}$$

$$I_{op} = \frac{I_{MAX}}{4} = 277 \text{ mA}$$

$$I_{MAX} = (4) (277) = 1.108 \text{ A}$$

sustituyendo en A)

$$L = \frac{(5) (T_{on})}{I_{MAX}} = \frac{(5) (20 \times 10^{-6})}{1.108} = 90.25 \mu\text{H}$$

Al colocar únicamente el transformador de pulsos, la forma de onda del voltaje que se obtuvo fue:

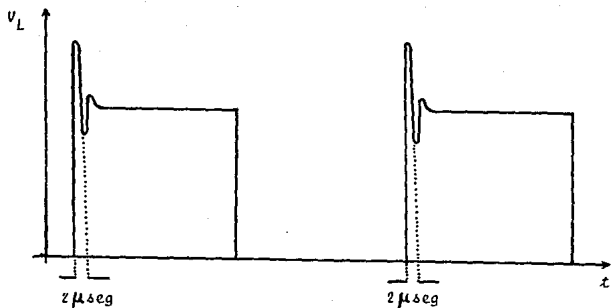


FIGURA 2.4.14

El tiro que se observa es normal al switchear una bobina. Para reducirlo al máximo se coloca en paralelo un circuito RC cuya constante de tiempo sea $2 \mu\text{seg}$.

$$\tau = RC = 2 \mu\text{seg} \quad \text{--- b)}$$

De la forma de onda de la corriente $i_L(t)$ se quiere que la caída de i sea casi instantánea cuando se desconecta de tierra la bobina, T_{off} . Esto sugiere eliminar R durante ese tiempo. La forma de hacerlo es colocar en paralelo con R un diodo D, para que circule la corriente almacenada en L. De esta forma, el circuito que queda en T_{off} es el siguiente.

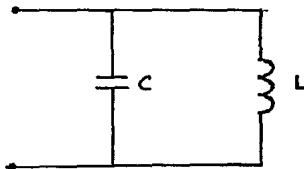


FIGURA 2.4.15

Como el circuito podría entrar en resonancia si la frecuencia de operación fuera igual a la frecuencia de resonancia del sistema, entonces:

ω resonancia \neq ω operación

$$\frac{1}{LC} \neq 2\pi f$$

La capacitancia de resonancia C_r es:

$$C_r = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = 0.45 \mu f$$

haciendo $C = 0.1 \mu f \neq C_r$

De la ecuación b)

$$R = \frac{Z}{C} = \frac{2 \times 10^{-6} S}{0.1 \times 10^{-6} S^{-1}} = 20 \Omega$$

Por último, cuando se desconecta la inductancia el voltaje que aparece en ese extremo tiende a ∞ . Para proteger los transistores se coloca en paralelo con ellos el diodo V_2 , que elimina ese transiente.

El circuito completo se muestra a continuación:

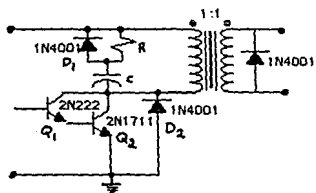


FIGURA 2.4.16

$R = 20 \Omega$
 $C = 0.14 \mu\text{f}$
 $L = 90.25 \mu\text{H}$
 $D_1 = 1\text{N}4001$
 $D_2 = 1\text{N}4001$
 $Q_1 = 2\text{N}2222$
 $Q_2 = 2\text{N}1711$

2.5 CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR.

A continuación mencionaremos las características de los componentes que se utilizan en el diseño de la etapa de potencia y en el control de la etapa de potencia.

Los componentes utilizados son los siguientes:

Etapa de potencia.

Se utilizan tres tiristores y tres diodos.

Los tiristores utilizados tienen las siguientes características eléctricas:

Tiristor ECG 5591 (3).

VDRM (voltaje en sentido inverso máximo del ánodo).	600 Volts
ITRMS (corriente máxima en ángulo de conducción total)	470 Ampers
IGT mín. (mA)	150
VGT máx. (V)	3
VF encendido máximo (V)	1.5
IH mín. (mA)	300
VGFH (V)	5
VGRM (V)	5
PG Av (W)	3
dV/dT máx. (Volts/microseg.)	300
dI/dT máx. (Ampers/microseg.)	800

Diodo rectificador S50440 [3].

BIV	Máx. corriente D.C. promedio en reversa	Corriente de fuga	Ancho de pulso	Temp. máx.
400 V	300 A	5 KA	8.3 m seg	190°C

En la etapa de control en los tiristores (potencia) se utilizan los siguientes componentes:

I.- 3 transformadores convencionales:

Transformador reductor de 220 Vac. a 5 Vac., con una corriente en el secundario de 250 mA.

II.- 3 comparadores (circuitos integrados) LM 119 H que constan de:

- 2 comparadores individuales.
- Voltaje de alimentación hasta 36 Vdc.
- Operación para 5 Vdc.
- Respuesta típica de tiempo de 80 seg. a +/-15 Vdc.
- Máxima corriente de entrada de 1 micro A.

III.- 6 transistores 2N2222.

Rangos absolutos máximos a 25°C.

Pot.	Hz	B Vcbo	B Vceo	ic	icb máx. a Vcb máx.	ie	hfe
400 mw	250 m	60 V	30 V	800 mA	10 V	1 ma	50

IV.- 3 transistores 2n 2907 A.

Pot.	Hz	B Vcbo	B Vceo	ic	icb máx. a Vcb máx.	ie	hfe
400 mw	200 m	60 V	60 V	600 mA	0.01 μ A	1 mA	100

V.- 3 diodo zener 1N751.

voltaje de referencia	disipación máxima a 25°C	corriente de prueba	impedancia máxima
volts	mW	mA	ohm
5.1	400	20	17

VI.- 3 circuitos integrados ua 555.

El funcionamiento de este circuito consta de:

- Tiempo desde microsegundos hasta horas.
- Operación estable y monoestable.
- Ciclo de trabajo ajustable.
- Salida compatible con TTL con una fuente de 200 mA.
- Alimentación desde 4.5 volts hasta 18 volts y entrada de voltaje de Vcc.

VII.- 3 transistores 2N1711.

frecuencia MHz	B Vcbo Volt	B Vceo Volt	ic A	Bias mA	ic mA	Vcb Volt	icb máx. nA	a Vcb máx.	hfe
28	70	75	70	1	150	10	2		50

VIII.- 3 transformadores de pulsos.

Las características que tienen estos transformadores, son las siguientes:

- Relación 1:1
- Corriente en el secundario de 350 mA.
- El laminado altamente magnetizante.
- Frecuencia de trabajo de 30 KHz.

3.- DISEÑO DEL CONTROL ELECTRONICO DIGITAL.

En este capítulo se hablará sobre el diseño de control digital del motor de D.C., tanto el hardware (conexión de circuitos), como el software (programación), así como las características principales de los elementos.

Con el software se discutirá en diagramas de bloques las características de cada una de las instrucciones, con el hardware se hablará de por qué se usaron cada uno de los circuitos y el funcionamiento de estos.

3.1 CONFIGURACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA EMPLEADA.

La arquitectura del sistema desarrollado parte de los siguientes circuitos.

- A) 1 Unidad de microprocesamiento (MPU) 6802.
- B) 1 Memoria solamente para leer programable y borrrable (EPROM) 2716.
- C) 3 Adaptadores de interfaces periféricos (PIA) 6821.
- D) 1 Timer programable 6840.
- E) 3 Decodificadores.
- F) 2 Convertidores analógicos digitales (CAD) con sus circuitos auxiliares.
- G) 1 Convertidor digital analógico (CDA) con sus circuitos auxiliares.

De cada uno de los circuitos anotados anteriormente se da su descripción en forma breve.

- A) El MPU tiene una RAM interna que nos ayudará para:
 - a) Almacenar datos.
 - b) Guardar resultados (datos temporales).

Para el almacenamiento de datos del programa, no es indispensable ocupar otra RAM externa, ya que los 7FH registros de la RAM interna del MPU son suficientes para el programa.

- B) La EPROM utilizada para el programa es de 2 K bytes.

En la memoria se guardan los programas de monitor y control. Como se explicó anteriormente es borrrable y programable a su vez, con esto nos da cierta facilidad de cambiar el programa.

- C) Cada una de estas PIA'S cuenta con 2 buses bidireccionales de 8 bits cada uno para las interfaces periféricos, el primer bus que es el puerto A es no inversor y el segundo bus llamado puerto B, sus bits están invertidos.

La primera PIA se utiliza para sensar corriente y velocidad.

La segunda PIA se utilizará para introducir los datos por medio del teclado y además para sacarlos por display.

La tercera PIA es usada para controlar los disparos a los SCR's, además servirá para aplicar el tipo de frenado que se tenga y servirá también para sensar el tipo de parámetro que se introduzca por el teclado (7 parámetros).

D) El timer nos indicará el tiempo transcurrido de las mallas de control; tanto de la velocidad máxima como la velocidad mínima.

El tiempo que durarán estos controles se indicará con el tercer y cuarto parámetro introducido por medio del teclado. El tiempo máximo que se podrá introducir en estos parámetros es de 999 segundos.

E) Se utilizan tres tipos de decodificadores.

Uno es para direccionar los 6 circuitos externos de sistema digital.

Otro es para introducir los datos de un teclado matricial a un código BCD (Binary Code Decimal).

El tercer decodificador se utiliza para decodificar el código BCD al código de 7 segmentos (Display).

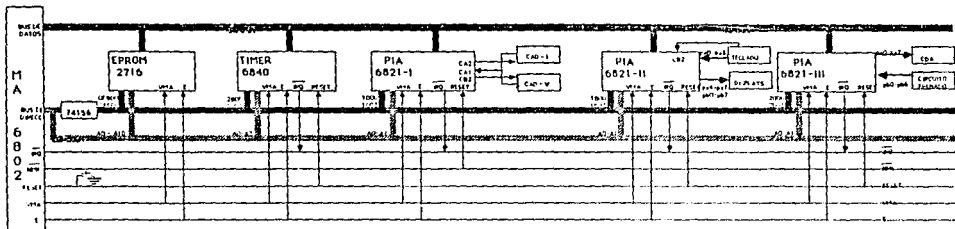
F) Los CAD's (Convertidores Analógicos Digitales) sirven para convertir corriente y velocidad, de señal analógica a señal digital.

G) El CDA (Convertidor Digital Analógico) se utiliza para convertir la señal digital de 8 bits en señal analógica para obtener diferentes grados de disparo de los SCR's.

CTO. EXT.	DIR	E	R/W	VMA	DIRECCIONES																		
					15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
RAM (MPU)	00 7F	1	X	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	
EPROM	0F00 0FFF	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
PIA I	1000 1003	1	X	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	
PIA II	1800 1803	1	X	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	
PIA III	2000 2003	1	X	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	
TIMER	2800 2807	1	X	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X

TABLA 3.1.1

La tabla 3.1.1 muestra el direccionamiento de los circuitos externos y la figura 3.1.1 muestra la arquitectura en diagrama de bloques de los elementos que componen al control digital.



ARQUITECTURA DEL SISTEMA

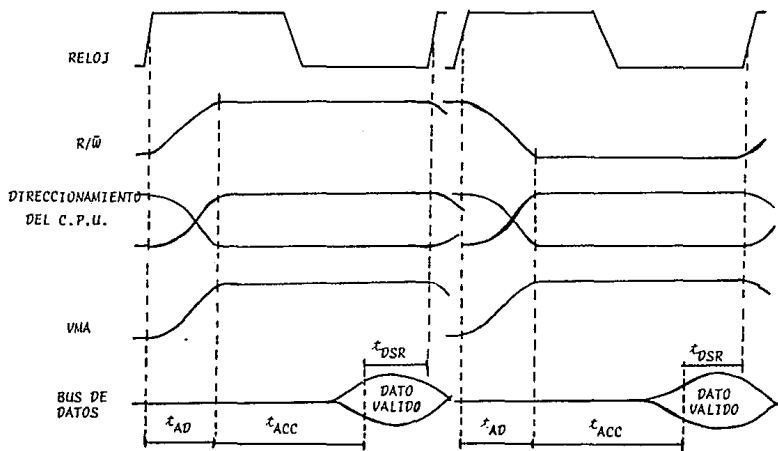
FIGURA 3.1.1

DIAGRAMA DE TIEMPO

En el diagrama de tiempo hay 3 tipos básicos de ciclo de máquina, lectura, escritura y operación interna. Durante la operación interna los buses no están siendo usados. Así desde el punto de vista de la señal, solamente los ciclos de lectura y escritura son los interesantes. Las siguientes figuras muestran los ciclos de lectura y escritura.

CICLO DE LECTURA

CICLO DE ESCRITURA



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Ciclo de lectura:

Dentro del retrasamiento de la dirección (S.I. t_{AD}) desde el blanco positivo del reloj, el CPU envía a su salida una señal de lectura, una dirección y un VMA. La memoria tiene un tiempo de acceso (S.I. t_{ACC}) para responder con el dato válido y deberá mantener el dato estable para un tiempo de subida de los datos (S.I. t_{DSR}).

Ciclo de escritura:

El CPU pone una señal de escritura, una dirección y una señal de VMA. Cuando el CPU recibe una señal Bus de Habilitación del Dato (S.I. DBE), los datos de salida están en el bus de datos.

t_{AD} = Retraso de la dirección.

t_{ACC} = Tiempo de acceso de lectura al periférico.

t_{DSR} = Tiempo de subida de los datos .

3.2 CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR DEL CIRCUITO DIGITAL.

A continuación mencionaremos las características de los componentes que se utilizan en el diseño de la etapa digital.

- 1 Microprocesador.
- 3 Adaptadores periféricos de interfase.
- 1 Memoria (EPROM).
- 4 Conversores: 2 CAD, 1 CDA y 1 CFV.
- 5 Decodificadores: 3 para el display, 1 para el teclado y 1 para direccionar puertos.
- 5 Circuitos TTL: 2 compuertas AND, 2 inversores y 1 compuerta OR.
- 1 Circuito multivibrador monoestable.
- 2 Temporizadores: 1 programable y 1 monoestable.
- 2 Amplificadores operacionales.

MICROPROCESADOR MC6802 [1].

Vcc = -0.3 a 7 Vdc.

Vent = -0.3 a 7 Vdc.

Enable (Habilitador), reloj interno de 1 a 4 Mhz.

Capacidad de RAM interna: 128 X 8 Bits.

32 Bytes de RAM.

Expandible a 64 K palabras.

Compatibles en entradas y salidas para TTL.

Medida de palabra: 8 Bits.

Direccionamiento de memoria: 16 Bits.

Capacidad de interrupción.

Circuito integrado de 40 patas, tecnología MOS.

ADAPTADOR DE INTERFASE PERIFERICO MC6821 (PIA) [3].

Vcc = -0.3 a 7 Vdc.

Vin = -0.3 a 7 Vdc.

Bus de datos bidireccionales de 8 bits, para comunicación con el microprocesador.

2 Bus de bidireccionales para la interfase hacia los periféricos.

2 Registros de control programable.

2 Registros de dirección de datos programables.

4 Entradas de líneas de interrupción controladas individualmente; 2 son usadas como salidas del control periférico.

Control periférico de handshake para la operación de entradas y salidas.

Interrupción controlado por programa y capacidad de interrupción deseable.

Capacidad de manejo con tecnología CMOS en las líneas del periférico del puerto A.

Capacidad de manejo de 2 TTL en los dos puertos A y B.

Salida del puerto B complementada.

Circuito integrado de 40 patas, tecnología MOS.

MEMORIA PROGRAMABLE Y BORRABLE SOLAMENTE PARA LEER (EPROM) (1) CI 2716.

$V_{cc} = 5 \text{ Vdc.}$

Tiempo de acceso rápido 450 nanoseg.

Requerimiento para la programación simple; programas con un pulso de 50 mseg. programando una localidad.

Entrada y salida compatible con TTL durante la lectura y el programa.

Completamente estático.

Tiempo de programación total 16384 bits en sólo 100 seg.

Circuito integrado de 24 patas.

CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL ADC0800 (1).

$V_{DD} - V_{SS} = 22 \text{ Volts.}$

$V_{GG} - V_{SS} = 22 \text{ Volts.}$

Salidas TRI-STATE.

Resolución 8 bits.

Linealidad ± 1 bit menos significativo.

$t_C = 50 \text{ seg.}$

Rápida conversión 40 ciclos de reloj.

Rango del reloj de 50a=800 KHz.

CONVERTIDOR DIGITAL-ANALOGICO MC1408 (1).

$V_{cc} = 5.5 \text{ Vdc}, -5\text{Vdc}.$

$V_{ee} = 16.5 \text{ Vdc}.$

Voltaje de entrada digital 5.5 Vdc.

CONVERTIDOR FRECUENCIA-VOLTAJE LM2907 (1).

$V_{cc} = 0-28 \text{ Vdc}.$

La interfase de entrada del tacómetro esta referida a tierra, directamente con las pérdidas que genera el optocaptor.

La salida del A.O./ comparador con un transistor flotante a su salida.

Duplica la frecuencia para bajo rizo.

El tacómetro tiene una histéresis en cualquier entrada diferencial, o entrada referida a tierra.

Tiene una linealidad del $\pm 0.3\%$.

El tacómetro referido a tierra está protegido del daño de 2 swing arriba de V_{cc} y abajo de tierra.

DECODIFICADOR DE BCD A 7 SEGMENTOS 7446 (3).

$V_{cc} = 4.5 \text{ a } 5.5 \text{ Vdc}.$

Voltaje de salida de un estado de apagado (off) (V_o (off) es de 30 volts).

Voltaje de entrada de nivel alto V_{ih} mínimo es 2 Vdc.

Voltaje de entrada de nivel bajo V_{il} máximo es 0.8 Vdc.

Voltaje de salida de nivel alto V_{oh} mínimo es 2.4 Vdc y típico es 3.7 Vdc.

Voltaje de salida de nivel bajo V_{ol} típico es 0.27 Vdc y máximo 0.4 Vdc.

Dispositivo de colector abierto, activo bajo.

DECODIFICADOR DE 16 TECLAS MM74922 (1).

$V_{cc} = 3 \text{ a } 15 \text{ Vdc}.$

Voltaje en cualquiera de sus patas $V_{cc} \pm 0.3 \text{ Vdc}.$

Máxima resistencia de switcheo 50 K
Eliminación de rebote con un capacitor.
Dispositivo de pull-up en renglones.
Compatible a su salida con TTL.

DECODIFICADOR DOBLE DE 2 A 4 LINEAS 74156 (1).

$V_{cc} = 4.5$ a 5.5 Vdc.

$V_{oh} = 5.5$ Vdc.

$V_{ol} = 0.2$ a 0.4 Vdc.

$V_{ih} = 2$ Vdc.

$V_{il} = 0.8$ Vdc.

Diseño de un sistema simplificado de entrada con diodos clamping.
Salidas de colector abierto.

COMPUERTAS AND 7400 (2).

4 Compuertas.

$V_{cc} = 4.5$ a 5.5 Vdc.

$V_{oh} = 2.5$ a 3.4 Vdc.

$V_{ol} = 0.2$ a 0.4 Vdc.

$V_{il} = 0.8$ Vdc.

$V_{ih} = 2$ Vdc.

Lógica positiva.

INVERSOR CD4009 (1).

6 Inversores.

$V_{cc} = 3$ a 15 Vdc.

Inmune al alto ruido del 0.45 Vdd (típico).

Tecnología MOS.

Compatible con DTL y TTL.

INVERSOR 7404 (1).

6 Inversores.

$V_{cc} = 4.5$ a 5.5 Vdc.

$V_{oh} = 2.5$ a 3.4 Vdc.

$V_{ol} = 0.2$ a 0.4 Vdc.

$V_{il} = 0.8$ Vdc.

$V_{ih} = 2$ Vdc.

Lógica positiva.

COMPUERTA OR 7432 (1).

4 Compuertas.

$V_{cc} = 4.5$ a 5.5 Vdc.

$V_{oh} = 2.5$ a 3.4 Vdc.

$V_{ol} = 0.2$ a 0.4 Vdc.

$V_{il} = 0.8$ Vdc.

$V_{ih} = 2$ Vdc.

Lógica positiva, con salidas totem pole.

MULTIVIBRADOR MONOESTABLE 74121 (1).

$V_{cc} = 4.5$ a 5.5 Vdc.

$V_{oh} = 2.5$ a 3.4 Vdc.

$V_{ol} = 0.2$ a 0.4 Vdc.

$V_{il} = 0.8$ Vdc.

$V_{ih} = 2$ Vdc.

Con entradas de schmitt trigger.

MC 6840 MODULO DE TIMER PROGRAMABLE (1).

Contador binario de 16 bits (3).

Opera con una fuente de 5 volts.

Compatible con TTL.

Sistema simple con reloj (Enable).

Selector en prescaler en el Timer 3 capaz de manejar entradas de 4 Mhz.

Interrupciones programables (IRQ), salidas para CPU.

Entrada de Reset.

3 Relojes externos asíncronos y entradas de puerta por disparo internamente sincronizadas.

3 Salidas mascarables.

Circuito integrado de 28 patas.

TIMER 555 (1).

El funcionamiento de este circuito consta de:

Tiempo desde microsegundos hasta horas.

Operación estable y monoestable.

Ciclo de trabajo ajustable.

Sálida compatible con TTL con una fuente de 200 mA.

Alimentación desde 4.5 volts hasta 18 volts y entrada de voltaje de Vcc.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL LF351 (1).

Vcc = \pm 18 Vdc.

Entrada baja de corriente de bias I_{bias} 50 pA.

Entrada de voltaje de ruido 16 nanovolts/(hz)^{1/2}.

Entrada baja corriente de ruido 0.01 pA/(hz)^{1/2}.

Amplia ganancia de ancho de banda 4 Mhz.

Alto slew rate 13 V/microseg.

I_{cc} baja de 1.8 mA.

Entrada JFET impedancia de 1 x E12 ohms.

Baja distorsión de armónicas Av=10, "0.02%" con R_f = 10 K, Vo = 20 Vpp,

BW = 20 hz a 20 Khz.

Paquete con un amplificador operacional.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL DOBLE MC1458 (1).

Vcc = \pm 18 volts.

Vdif \pm 30 volts.

Entrada \pm 15 volts.

No requiere compensación en frecuencia.

Protección contra corto circuito.

Rango de modo común y voltaje diferencial amplio.

Bajo consumo de energía.

3.3 PROGRAMACION PARA EL CONTROL DEL SISTEMA.

Las etapas de control que el sistema requiere así como las características del parámetro a controlar, se muestran en el siguiente diagrama:

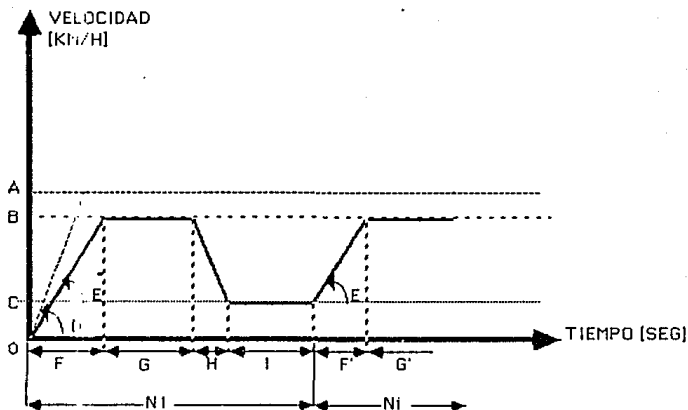


FIGURA 3.3.1

Donde:

A: Velocidad máxima permitida, la cual es igual a 80 Km/h.

B: Velocidad máxima programada. El valor que se le puede dar es de 0 a 80 Km/h.

- C: *Velocidad mínima programada, la cual debe ser menor que la máxima programada.*
- D: *Aceleración máxima permitida. Es la máxima rapidez con la que el sistema puede pasar de una velocidad menor (que podría ser cero) a una velocidad mayor.*
- E: *Aceleración programada. Es la rapidez, que se programa, con la que el sistema pasa de una velocidad menor (que puede ser cero) a una velocidad mayor. Es menor o igual que D.*

En el tiempo, las etapas son las siguientes:

- F: *Etapas de arranque inicial. Tiempo que transcurre para que el sistema pase de la condición "velocidad igual a cero" hasta la velocidad máxima programada. Este tiempo depende de la aceleración (E).*
- G: *Etapas de mantenimiento de la velocidad máxima programada. Es el tiempo programable entre 1 y 999 segundos, durante el cual el sistema es sostenido con la velocidad máxima programada constante.*
- H: *Etapas de frenado. En esta etapa, al sistema se le aplica un frenado para disminuir desde la velocidad máxima programada a la velocidad mínima programada. La rapidez con que cambia de una velocidad a otra depende del grado de frenado. Este grado de frenado es programable. Su rango es de 1 a 7. El 1 se asocia con el frenado más suave y el 7 con el frenado de urgencia. Únicamente un grado de frenado es aplicable en un determinado número de ciclos de operación.*
- I: *Etapas de mantenimiento de la velocidad mínima programada. Es el tiempo programable entre 1 y 999 segundos, durante el cual el sistema es sostenido con la velocidad mínima constante.*
- F': *Etapas de arranque. Tiempo durante el cual el sistema pasa de la velocidad mínima programada a la velocidad máxima programada. Depende de la aceleración E.*

A la ejecución secuencial de las etapas F-G-H-I se le ha llamado ciclo inicial N_1 . Es efectuada exclusivamente durante el primer ciclo. Los ciclos siguientes son repeticiones de la secuencia F'-G-H-I, la cual corresponde al parámetro N_1 en el diagrama de la figura 3.3.1.

El número total de ciclos (que incluye el inicial) es programable. Toma un valor máximo de 999.

Nótese la diferencia entre las etapas F y F': La primera, por corresponder al ciclo inicial, necesariamente parte de una velocidad igual a cero hasta la velocidad programada máxima. La segunda es llevada a cabo del segundo ciclo en adelante; la velocidad del sistema cambia de la mínima programada (que podría ser cero, pero no necesariamente) a la máxima programada.

La programación del sistema consiste en cumplir con las necesidades que se requieren en cada etapa, las cuales se describen a continuación:

Etapas de arranque F y F'.

Esta etapa requiere disminuir gradualmente el voltaje V_n que se aplica al circuito generador de los disparos de los SCR'S en el comparador cuyas entradas son: rampa en la entrada no inversora y V_n en la inversora, de tal manera que para $V_n = 5$ volts se tiene inicio de disparo (ángulo de conducción $\phi = 180^\circ$) y para $V_n = 0$ volts se tiene el máximo ángulo de conducción (60° para el sistema que aquí se trata).

Para que el motor aumente su velocidad V_n tienen que variar de 5 volts a cero.

El diagrama esquemático de la figura 3.3.2. muestra el enlace que hay desde el microprocesador MC6802 hasta las compuertas de disparo de los SCR'S.

El microprocesador efectúa un conteo ascendente que comienza en 00H (hexa decimal) y tiene como máximo OFFH. Por medio de la pía 3 puerto A, dicho conteo sale al convertidor digital/analógico de lógica complementada para una cuenta de entrada digital igual a 00H, el convertidor da como salida el máximo valor analógico de voltaje que, para nuestro sistema, es de 5 volts. En el otro extremo, para una entrada digital máxima, OFFH, el convertidor da como salida analógica 0 volts.

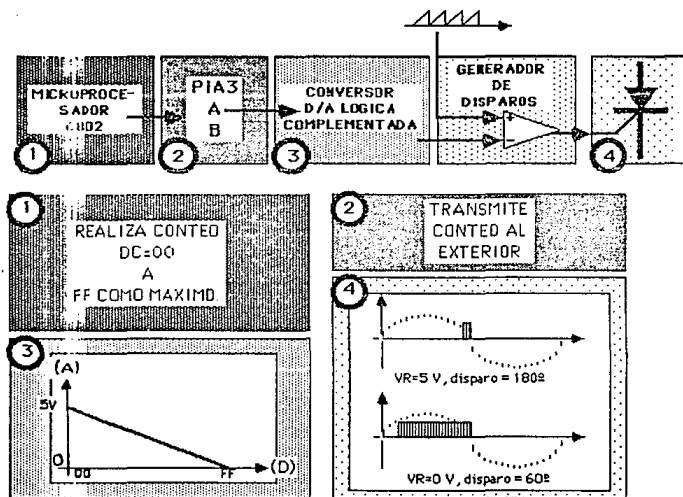


FIGURA 3.3.2

En este diagrama no se muestra la retroalimentación del sistema.

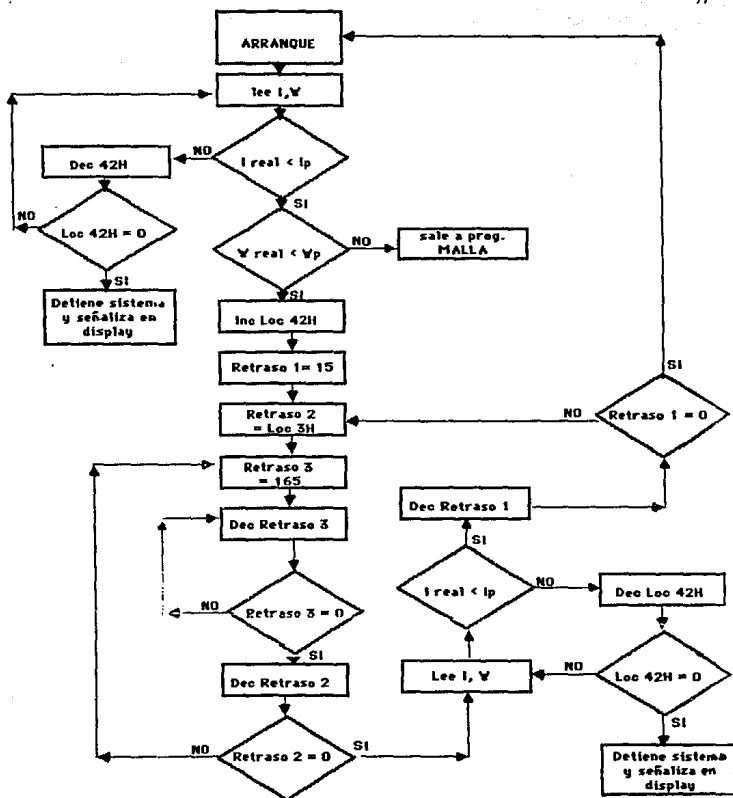


FIGURA 3.3.3
MALLA DE ARRANQUE

El voltaje analógico que proporciona el conversor, resulta ser el voltaje de referencia V_n necesario para controlar el circuito generador de disparos.

Una vez que se tiene la velocidad programada a controlar, el microprocesador debe disminuir V_n lentamente para que el voltaje aplicado al motor aumente de la misma manera con el fin de evitar altas corrientes de arranque, por lo que es necesario intercalar mallas de retardo para alargar el tiempo entre una cuenta y otra que el microprocesador envía al conversor D/A y que por lo mismo, implica un retardo entre una disminución de V_n y la siguiente. De lo contrario y dado que el microprocesador es demasiado rápido, el voltaje V_n tendería a cero muy rápidamente provocando ángulos de conducción máximos y altas corrientes de arranque. Por lo tanto, cuando se efectúa algún incremento en la cuenta, se checa la magnitud de la corriente para que no rebase un cierto valor programado; en caso contrario, se activan las protecciones que se describirán más adelante.

De manera simplificada, estos retardos se muestran en el siguiente diagrama de flujos (figura 3.3.3.).

En diagrama de tiempos, lo anterior se puede mostrar de la siguiente manera:

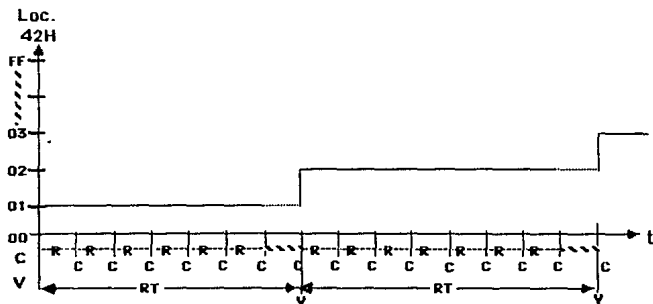


FIGURA 3.3.4

Estando la cuenta de la localidad 42H en 00H, que es la que da origen a V_n y habiendo efectuado el microprocesador una lectura de corriente y velocidad real, realiza primeramente la comparación C de la corriente real I_n con la programada I_p . Al encontrar a aquella menor, efectúa entonces la comparación V de velocidades real W_n y programada W_p . Si la primera es menor, como es de esperarse en el arranque, incrementa la cuenta de la localidad 42 H en un nivel.

Como se requiere cambios lentos y graduales en V_n para evitar las altas corrientes en el motor, el incremento dado a la localidad 42H se mantiene constante durante el tiempo RT.

Con el fin de mantener una supervisión constante del valor de la corriente cada intervalo R, el microprocesador lee el valor de la corriente y velocidad real y hace la comparación C de las corrientes real y programada para asegurar que aquella se mantenga abajo de la programada en todo momento.

Una vez transcurrido el tiempo RT, se lee corriente y velocidad reales nuevamente, se hace la comparación C de corrientes y V de velocidades. En esta última, si la real es menor que la programada se da otro incremento a la cuenta de la localidad 42H, manteniéndose constante durante otro intervalo RT y monitoreándose la corriente C cada lapso de tiempo R.

La secuencia descrita anteriormente se vuelve a repetir, incrementando así la cuenta de la localidad 42H hasta que en la comparación V se halle a la velocidad real mayor o igual que la programada.

Usando la nomenclatura del diagrama de flujos de la figura 3.3.3, la duración de los tiempos R y RT se establece como:

$$R = (\text{Retraso 2}) (\text{Retraso 3}) \text{ seg.}$$

$$RT = R (\text{Retraso 1}) \text{ Seg.}$$

Por lo que:

$$RT = (\text{Retraso 2}) (\text{Retraso 3}) (\text{Retraso 1}) \text{ Seg.}$$

Del mismo diagrama podemos observar que los parámetros Retraso 1 y Retraso 3 son fijos y con valores de 15 y 165 decimal respectivamente. El valor del parámetro Retraso 2 es programable en el rango de 1 a 9 decimal, lo que proporciona la capacidad de variar la aceleración del sistema en la etapa del arranque.

En la figura 3.3.5 se muestra la relación entre la aceleración y el valor del parámetro Retraso 2.

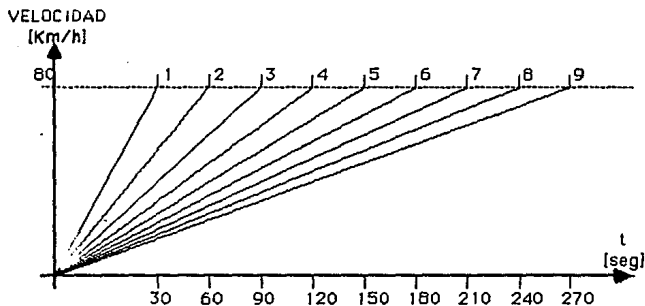


FIGURA 3.3.5

En la parte superior aparecen los números 1 a 9, que son los valores que toma el parámetro Retraso 2.

En virtud de ser variable Retraso 2, los intervalos R y RT lo son también.

En el caso que: Retraso 2 = 1 cuentas

$$R = 7.8 \text{ mSeg y}$$

$$RT = 117 \text{ mSeg}$$

y cuando: Retraso 2 = 9 cuentas
 $R = 70.2 \text{ mSeg}$ y
 $RT = 1.05 \text{ Seg}$

Para el primer caso en que Retraso 2 = 1 cuentas, los valores se obtuvieron de la siguiente forma.

La velocidad máxima de 80 km/h deberá de corresponder a la máxima cuenta que se pueda almacenar en la localidad 42H que es OFFH (hexadecimal) e igual a 256 niveles en decimal.

Si queremos que los 80 km/h se alcancen en 30 segundos implica que la cuenta de 256 niveles se efectúen en 30 segundos también, por lo que cada cuenta deberá de tener una duración de:

$$\frac{30 \text{ Seg}}{256} = 117 \text{ mSeg}$$

Esto es que: $RT = 117 \text{ mSeg}$

Por otro lado, para asegurar que la corriente real se mantiene abajo del valor programado, es necesario checar este valor al menos cada 1/2 ciclo de la señal de alimentación de C.A., esto es, a más tardar cada 8.33 mseg lo cual obliga a muestrear el valor de la corriente al menos:

$$R = \frac{117 \text{ mSeg}}{8.33 \text{ mSeg}} = 14.05 \text{ veces}$$

durante el tiempo en que cada uno de los 256 niveles permanezca constante. En nuestro programa se muestrea 15 veces la corriente en el intervalo mencionado; de ahí el valor que toma el parámetro Retraso 1. Consecuentemente, el parámetro R se obtiene de:

$$R = \frac{117 \text{ mSeg}}{15 \text{ muestras}} = 7.8 \text{ mSeg}$$

Una vez que los tiempos RT y R quedaron definidos, el microprocesador

cumple con ellos quedándose encerrado en una malla, "contando" decrecientemente un número el cual se obtuvo, primeramente, calculando el tiempo que tarda el microprocesador en ejecutar las instrucciones que comprende la malla. (Las más usuales tardan 4 microsegundos).

Posteriormente, se hicieron ajustes para finalmente obtener que Retraso 3 = 165 cuentas.

Recuérdese que Retraso 2 es programable entre 1 y 9 y Retraso 1 = 15 cuentas que es el número de veces que se muestrea en el intervalo RT.

Refiriéndonos al diagrama de tiempos, figura 3.3.4, se menciona que en cada punto C se efectúa una comparación de corriente real contra la programada y hemos hasta aquí supuesto que siempre la encuentra menor que la programada. Ahora bien, ¿qué pasa si la encuentra mayor?. Vemos en el diagrama de flujos de la figura 3.3.3 que cuando la corriente real es igual o mayor que la programada, el microprocesador se sale de la malla en que esta operando para disminuir en uno la cuenta que en la localidad 42H tenga guardada [que es V_n]. Una vez que la disminuyó, investiga si el valor que quedó no es cero. Si esto ocurre, toma nuevamente otra lectura del valor de la corriente real y la compara con la programada. Si ya la encontrase menor, vuelve de nuevo a la malla en que se encontraba. Si no fuera así, decrementaría nuevamente el contenido de la localidad 42H. Supongamos que el valor de la corriente se mantiene alto y el contenido de la localidad 42H ya es cero. Eléctricamente esto implica una anomalía de sistema ya que los SCR'S estarían en su ángulo de conducción cero y la corriente en el sistema debería ser cero o casi cero. Por ello, siempre que esto llegara a ocurrir, el microprocesador detendrá la secuencia de programa y presentará en el display los caracteres "00X", siendo X un número que dependerá del lazo en el cual esté el microprocesador cuando ocurra el problema.

En la figura 3.3.6, se muestra el diagrama de flujos real que da origen a la subrutina de arranque.

En la figura 3.3.7, se presenta la subrutina "Arranque". En el programa

general está etiquetada como "ARR" y comienza en la dirección OFD80H (línea 616) y termina en la dirección OFE17H (línea 685).

Etapa de mantenimiento de la velocidad máxima programada.

Refiriéndonos al diagrama de la figura 3.3.1, esta etapa señalada como G, requiere que el sistema mantenga constante la velocidad máxima programada B durante un tiempo programable entre 1.0 y 999 segundos, al que designaremos como T_1 .

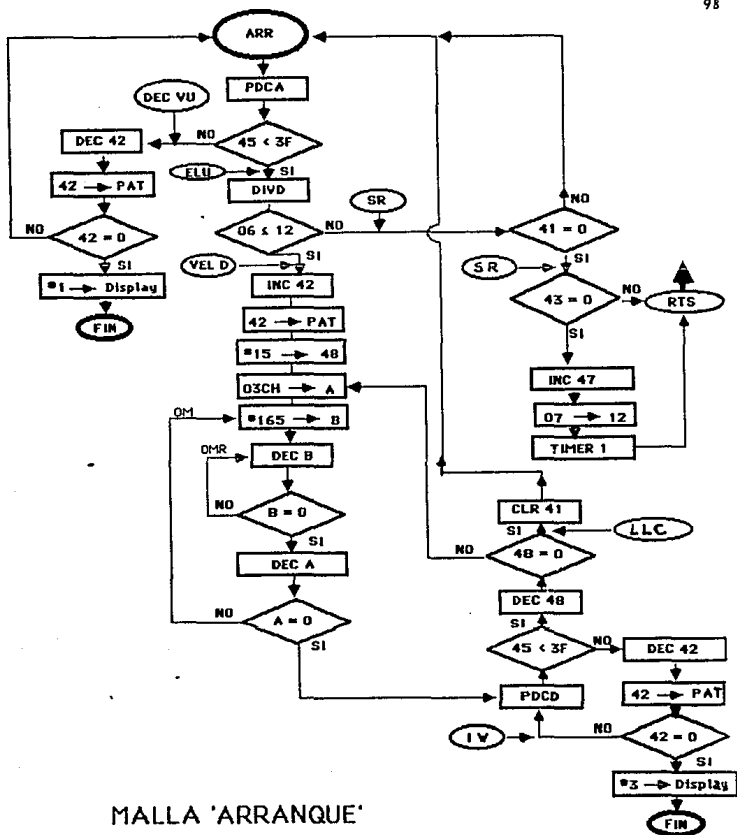


FIGURA 3.3.6

```

-PR      JSP      PDCD      ;LEE 1-2 M.
        LDA      3FH      ;COMPARA 1 CON 1A.
        CMA      4FH      ;1-1P.
        BHI      DECVU
        JSR      010D
        LDA      12H
        CMA      06H      ;Nº2 - MPº2.
        BLE      SP
        INC      42H      ;INCREMENTA Ur.
        LDA      42H
        STA      PAT
        LDA      #1F
        STA      48H
OHS      LDA      03CH      ;MALLA RETARDO 8ms.
OH       LDA      #10F
OH       DEC      01F
        BNE      01H
IU       JSP      PDCD
        LDA      3FH      ;COMPARA 1-1P EN
        CMA      4FH      ;MALLA DE 8ms.
        BHI      DECVU
        DEC      48H      ;DECREM. CONTADOR HR Y
        BNE      01E      ;CONF. CANCELO MALLA 120 ms.
        BR      ARR
DECVU    DEC      42H      ;DECREM. Ur EN MALLA
        LDA      42H      ;DE 8ms. Y SACH X
        STA      PAT      ;PAT, CUANDO Ur=0
        BNE      ARR
        STA      PAD
        LDA      #0FCH
        STA      PBD
        JMP      FIN
DECVU    DEC      42H      ;DECREM. Ur, SACHO
        LDA      42H      ;POP PAT CUANDO Ur=0.
        STA      PAT      ;PARA Y PRESENTA EN
        BNE      IU
        STA      PAD
        LDA      #0FCH
        STA      PBD
        JMP      FIN
SP       LDA      43H
        BNE      TUN
        INC      42H      ;PARA 2-1.
        JSP      010D
        LDA      07H
        STA      12H
        LDA      #01H
        STA      2801H
        LDA      #0E0H
        STA      2802H
        LDA      2803H
        LDA      25H
        STA      2804H
        LDA      24H
        STA      2805H
        STA      PTE
TUN

```

FIGURA 3.3.7
PROGRAMA "ARRANQUE"

De la misma figura 3.3.1 podemos observar que la etapa I, mantenimiento de la velocidad mínima programada, es básicamente igual a la etapa G. También requiere que el sistema mantenga constante la velocidad mínima programada C, durante un tiempo también programable entre 1.0 y 999 segundos, al cual se designa como T_2 . Considerando lo anterior, se diseña el programa "MALLA" que efectúa el control de la velocidad tanto máxima como mínima programada, según sea el estado de los parámetros indicativos, como por ejemplo, la localidad de memoria 43H, que toma el valor de 0 decimal cuando la velocidad a controlar es la máxima y de 1 decimal cuando la velocidad es la mínima.

La secuencia que sigue es:

a) Cuando en la subrutina de arranque "ARR" se detecta que la velocidad del motor es igual o mayor que la máxima programada, se abandona "ARR" después de poner en funcionamiento al temporizador número 1. Este temporizador tiene como misión contabilizar el tiempo programable T_1 , durante el cual la velocidad máxima programada es mantenida constante. Transcurrido este, el temporizador envía una interrupción IRQ al microprocesador para indicarle que debe continuar en la etapa siguiente.

b) En la localidad de memoria OEH se almacena el valor que en este momento tiene la cuenta de la localidad 42H [que es donde se tiene guardado el complemento del voltaje de control V_h], llamándose, para efecto de identificación C_p , "cuenta promedio". (Ver figura 3.3.8.b).

A la "cuenta promedio" C_p corresponde un "Voltaje de control promedio" V_{hp} . (Ver figura 3.3.8.c).

c) Se leen velocidad y corriente. Se compara la corriente real con la programada. En caso de hallarla mayor el microprocesador entra a un lazo de decremento a la localidad 42H, como ya se explicó anteriormente. Si la corriente real es menor, como se espera, se realiza entonces la comparación de la velocidad real y programada. En este punto puede ocurrir que:

- 1) La velocidad programada es menor que la velocidad real, lo que implica tener que decrementar el valor de la cuenta de la localidad 42H.
- 11) La velocidad programada es mayor o igual que la velocidad real, lo que hace necesario incrementar el valor de la cuenta de la localidad 42H. Obsérvese la figura 3.3.8.

Con relación al caso 1):

Con el fin de conocer el comportamiento y tiempos de respuesta de la malla de control, se decrementó el V_n sin establecer límites en la localidad 42H, con ello la cuenta se fue hasta cero sin que el motor cambiara apreciablemente su velocidad. Cuando al fin la velocidad bajaba mas que la programada la cuenta se iba hasta OFFH. La inestabilidad de este sistema de control es obvio, sin embargo, se recomienda utilizar este tipo de control como inicio para estimar los incrementos y decrementos de velocidad a tolerar alrededor de la velocidad programada, así como los tiempos de respuesta para corregir el error $w_n - w_p$.

Primero: Definir un valor de la cuenta promedio C_p que es igual al valor que tiene la localidad 42H cuando se alcanza la velocidad máxima programada.

Segundo: Definir un límite inferior LI abajo de C_p hasta donde se permita disminuir la cuenta de la localidad 42H. Ver figura 3.3.8.b.

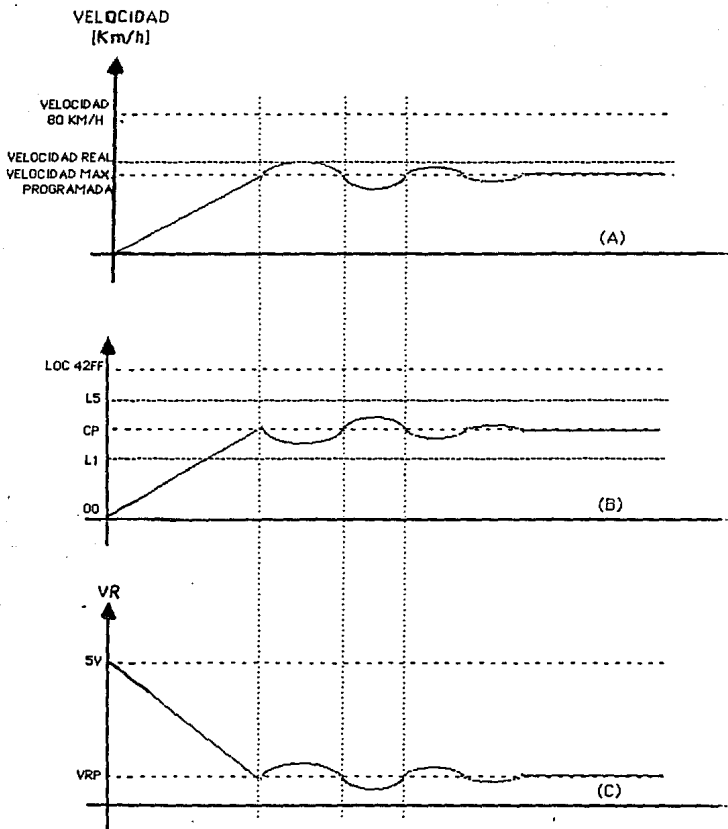
Tercero: La separación entre C_p y LI sería igual a la diferencia que haya entre la velocidad real y la programada. Esto puede hacerse por la relación lineal que hay entre el rango de la cuenta de la localidad 42H y el rango de la velocidad. El límite inferior LI queda situado entre C_p y 0, esto es:

$$C_p \gg LI \gg 0$$

En el programa "MALLA" se cumple con el método anterior de la siguiente forma:

1.- Se lee velocidad y corriente real. Se efectúa la diferencia de w_n con

FIGURA 3.3.8



w_p y se guarda en la localidad OCH:

$$w_p - w_p \rightarrow OCH$$

2.- Se obtiene el límite inferior LI restando a C_p la cantidad obtenida en el paso anterior. Como C_p se ha mantenido guardada en OEH:

$$LI = OEH - OCH \rightarrow ODH$$

Como el límite no puede ser menor que cero, después de efectuarse la operación se checa el bit de carry en las banderas del microprocesador. Si dicho bit es cero indica que el resultado es positivo, si es igual a uno la diferencia es entonces negativa, en cuyo caso LI queda con valor cero y la localidad ODH también.

3.- Se compara el valor de la cuenta de la localidad 42H con el límite inferior LI. Si aquella resulta mayor se procede a decrementarla. Con esto la velocidad del motor debe tender a bajar.

4.- Se lee la velocidad y corriente reales. Se compara la velocidad real con la programada. Si ahora la velocidad real resultara menor, el microprocesador se irá al inicio del programa "MALLA", para posteriormente pasar al caso II).

Pero si la velocidad real es todavía mayor se repetirán los pasos 3 y 4 hasta que el valor de la localidad 42H se haga igual al límite inferior. Cuando esto ocurre:

5.- El valor de la localidad 42H se mantiene igual a LI mientras se checa la condición del parámetro de la localidad 40H. Este parámetro es controlado por el temporizador número 1: Si es igual a cero indica que el tiempo T1 aún no ha concluido y el microprocesador deberá ir al inicio de programa "MALLA" y ejecutar nuevamente los pasos hasta aquí descritos.

Si en la localidad 40H encuentra un 1 indica que el tiempo T1 ya ha concluido, y por lo tanto, deberá continuarse con la etapa siguiente que es el frenado, señalado como H en la figura 3.3.1.

Para el caso II), al salir de la subrutina de arranque, se verifica si la

velocidad real es menor o igual que la programada.

El método usado para el control de la velocidad en este caso es similar al que se usó en 1):

Primero: Definir el valor de la cuenta promedio C_p , las cuales son iguales para ambos casos.

Segundo: Se define un límite superior LS arriba de C_p hasta donde se le permite aumentar a la cuenta de localidad 42H. Ver figura 3.3.8.b.

Tercero: La separación entre C_p y LS será igual a la diferencia que haya entre la velocidad programada y la real. El LS queda entre C_p y OFFH, o sea:

$$\text{OFFH} \quad \text{LS} \quad C_p$$

En el programa "MALLA" el método queda desarrollado como sigue:

1.- Se lee velocidad y corriente real. Se realiza la diferencia entre w_p y w_r y se guarda en la localidad OBH. Esto es:

$$w_p - w_r \quad \text{OBH}$$

2.- Se obtiene el límite superior sumando a C_p la cantidad obtenida en el paso anterior. El resultado se guarda en OFFH:

$$\text{OEH} + \text{OBH} \quad \text{OFFH}$$

Como este resultado no debe ser mayor que el número OFFH, inmediatamente después que se efectúa la operación se chequea el estado de Bit de Carry en las banderas del microprocesador. Si es cero, la suma es menor que el número OFFH. Si es 1 implica que la suma si es mayor, por lo tanto, en la localidad OFFH se coloca el máximo permitido que es OFFH.

3.- Se compara el valor de la cuenta de la localidad 42H con el límite superior. Si es menor, se procede a incrementarlo, con ello la velocidad del motor debe tender a subir.

4.- Se lee velocidad y corriente real. Se hace la comparación de la velocidad real con la programada. Si ahora la velocidad real fuera mayor, el microprocesador debe irse al inicio del programa "MALLA" para posteriormente pasar al caso 1).

Pero si la velocidad real aún es menor o igual que la programada se repetirán los pasos 3 y 4 hasta que el valor de la localidad 42H, por los incrementos sucesivos, se iguale al límite superior. Cuando esto sucede:

5.- El valor de la localidad 42H se mantiene igual al límite superior LS en tanto se checa el estado del parámetro de la localidad 40H. Si es 0, el microprocesador regresa al inicio de "MALLA"; si es 1 pasa a la etapa siguiente que es frenado, señalado como H en la figura 3.3.1.

En la figura 3.3.9 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al programa "MALLA".

La descripción que hasta aquí se ha hecho, se inicia después de la subrutina "ARR". Anterior a ella hay unos pequeños lazos que a continuación describiremos:

El programa "MALLA" comienza chequeando el estado del parámetro de la localidad 40H que, como ya se indicó, si es 1 implica entrar a la malla de frenado "FREN" y si es 0, se va entonces a chequear el estado del parámetro de la localidad 47H. Si en esa hay un 1 quiere decir que el programa "MALLA" va a controlar una velocidad máxima. Si hay un 0 se investiga el número de ciclos efectuados. Si ya se cumplieron los programados el programa se detiene y en el display se presentan los caracteres CCC. Si aún no se cumplen, se coloca en la localidad 12H la cual hemos llamado de transición, el valor de la velocidad máxima programada. Después de esto se pasa a la subrutina de arranque "ARR".

Las velocidades máxima y mínima programada se guardan, debidamente procesadas, en las localidades 07H y 08H respectivamente.

A la localidad 12H se le ha llamado de transición porque por medio de ella se introduce al programa "MALLA" la velocidad máxima o mínima que

deba de controlarse, dependiendo de la etapa en que se encuentre el sistema.

Aunque en el capítulo "descripción de las etapas de programación" se ve con detalle, se hará incipie en las condiciones específicas que el microprocesador 6802 requiere para ejecutar las instrucciones de comparación.

Aun cuando cada localidad de memoria es capaz de manejar 256 niveles (OFFH en hexadecimal) las comparaciones no las efectúa el microprocesador en ese rango sino en el de -128 a +127 ya que el bit 7, b_7 de la palabra es interpretado como el signo de la cantidad aritmética. Si b_7 es cero, el signo es positivo, si es uno, el signo será negativo. En base a lo anterior, el número 7F hexadecimal será igual a 01111111 binario e igual a +127 decimal. Sin embargo, el número hexadecimal OFFH que es igual a 1111 1111 binario no es igual a 256 sino a -127 decimal.

Por esta razón, en el programa "MALLA", al efectuar las comparaciones, siempre se realiza primero una división entre dos de las cantidades a comparar para que siempre la comparación sea en el rango de los números positivos.

El microprocesador considera, para la mayoría de las comparaciones, el valor del bit de sobreflujo V de sus banderas: este toma el valor de 1 cuando se rebasan los límites de -128 a +127. Veamos el siguiente ejemplo:

Si comparamos el número 136 decimal con cero obvio es que el primero es mayor que el segundo. Sin embargo, para el microprocesador 136 es igual a 10001000 binario y por tener un 1 en el bit b_7 es tomado realmente como -8 para efectos de comparación, con lo que el resultado para el microprocesador es que el cero es mayor que el 136. Todo por haber rebasado el rango de +127.

La subrutina "DIVD" que aparece varias veces a lo largo del programa ejecuta la operación de dividir entre dos las velocidades reales que se leen. Las programadas que se guardan en las localidades 07H y 08H también están divididas entre dos.

MALLA	LDAA	40H	
	BNE	AYUDA	IA=0 SI X NO.
	LDAA	47H	
	BNE	LIW	;COMPARA INDICADOR Z=0.
	LDAA	39H	
	CPMA	0AH	
	BLS	COMPX	
COMFN	BRA	ECMA	
	LDAA	38H	
	CPMA	9H	
	BLS	ALTON	
	BRA	ECMA	
ALTON	LDAA	#00H	
	STAA	PAT	
	LDAA	#0A05H	
	STAA	PAD	
	LDAA	#55H	
	STAA	PBD	
	JMP	FIN	
AYUDA	JMP	FREN	
ECMA	CLR	012H	
	LDAA	07H	
	STAA	12H	
	JSR	ARR	;BRINCA A ARRANQUE.
NALLA1	LDAA	42H	
	STAA	0EH	
LIW	JSR	PDCD	
	LDAA	45H	
	CPMA	3FH	
	BMI	VEL	
	DEC	42H	
	LDAA	42H	
	CPMA	#00H	
	BEQ	STOPC	
	STAA	PAT	
	JMP	MALLA	
STOPC	LDAA	#00H	
	STAA	PAT	
	LDAA	#0FFH	
	STAA	PBD	
	JMP	FIN	
VEL	JSR	DIWD	
	LDAA	12H	
	CPMA	06H	
	BMI	DECRE	;IMP-W
	LDAA	12H	
	LDAB	06H	
	SBA		
	CLC		
	ROLA		
	STAA	0BH	
	LDAB	0EH	
	ABA		
	STAA	0FH	
	BCC	ACII	
	CLC		
	LDAA	0FH	
	RORA		
	STAA	4BH	
	CPMA	#7FH	
	BMI	INCRE	

FIGURA 3.3.10
PROGRAMA "MALLA"

HC1	LDAA	#0FFH
	STAA	0FH
INCFE	LDAA	42H
	CLC	
	ROPA	
	CMPA	4BH
	BHI	INCUP
	LDAA	0FH
	STAA	42H
	STAA	PAT
VIC1	JMP	MALLA
INCUR	INC	42H
	LDAA	42H
	STAA	PAT
	JSR	RETRU
	JSR	PDCD
	JSR	DIUD
	LDAA	12H
	CMPA	06H
	BHI	VIC1
	JMP	INCUP
DECRE	LDAA	6H
	LDAB	12H
	SBA	
	CLC	
	ROLA	
	STAA	0CH
	LDAA	0EH
	LDAB	0CH
	SBA	
	BCS	ACB
	STAA	0DH
	CLC	
	ROPA	
	STAA	4AH
	CMPA	#00H
	BHI	ACB
DECUP	LDAA	42H
	CLC	
	RORA	
	CMPA	4AH
	BHI	DECUR1
	LDAA	0DH
	STAA	42H
	STAA	PAT
	JMP	MALLA
ACB	LDAA	#00H
	STAA	0DH
	STAA	4AH
	JMP	DECUP
DECUR1	DEC	42H
	LDAA	42H
	STAA	PAT
	JSR	RETRU
	JSR	PDCD
	JSR	DIUD
	LDAA	12H
	CMPA	6H
	BHI	VIC1
	JMP	DECUP

Por la misma razón, para obtener el valor real de los límites inferior y superior (LI Y LS) se procede a la inversa: a la diferencia de las velocidades real y programada se le multiplica por 2.

El programa "MALLA" comienza en la dirección OF926H (línea 153) y termina en la dirección OFA25H (línea 273), tal como se muestra en la figura número 3.3.10.

ETAPA DE FRENADO H

Refiriéndonos al diagrama de la figura 3.3.1:

Una vez que ha transcurrido la etapa G el microprocesador debe pasar a la etapa de frenado H.

En esta etapa el sistema requiere que los SCR's se manden a cero conducción ($\alpha^\circ = 180^\circ$) que se apliquen las zapatas de frenado de acuerdo al grado de frenado programado hasta que la velocidad del sistema descienda hasta la mínima programada; en ese momento se deben retirar las zapatas.

El paso a la subrutina "FREN" se realiza de la siguiente manera:

Cuando el temporizador número 1 termina el conteo de su tiempo programado T_1 , manda una interrupción IRQ al microprocesador. Este pasa entonces a un programa de discriminación que lo lleva a colocar un 1 en las localidades 40H, 41H y 43H. Regresa al programa "MALLA" y chequea el estado del parámetro de la localidad 40H y al hallarla en 1 abandona "MALLA" para entrar a "FREN". En "FREN" la secuencia es la siguiente:

- 1.- En la localidad 42H se ponen "ceros" con el fin de mandar a los SCR's a cero conducción. También en C_p , localidad 0EH se colocan ceros.
- 2.- El dato guardado en la localidad 3AH, que es el grado de frenado programado, es aplicado a la válvula electro neumática por medio del puerto B de la PIA 3. Las zapatas son accionadas para frenar el sistema.
- 3.- Se lee velocidad y corriente real. Se compara esta última con la

corriente programada. Si la encuentra mayor entra a una malla de retardo de aproximadamente 2 mseg para dar tiempo a que se establezca la corriente. Vuelve a tomar otra lectura, efectúa otra comparación y si la vuelve a encontrar alta detendría el programa, presentando en el display el número 004.

4.- Si no hay ningún problema con la corriente, procede a comparar la velocidad real con la mínima programada. Si aquella es mayor todavía entra a la malla de retardo para dar tiempo a que el sistema baje la velocidad.

5.- Vuelve a leer velocidad y corriente y si no hay problema, compara las velocidades como se señala en el paso 4. El microprocesador estará en los pasos 4 y 5 hasta que la velocidad real sea menor o igual que la mínima programada. Cuando esto suceda:

6.- El frenado es retirado.

7.- Se toma lectura de la velocidad y corriente real con el fin de guardar en la localidad 42H el valor de la velocidad real (recuérdese la linealidad entre la cuenta de la localidad 42H y la velocidad) para que los SCR's reciban un voltaje de control próximo a lo que va a ser su punto de operación en la condición de velocidad mínima programada.

8.- La localidad 40H se hace igual a cero y en la localidad de transición 12H se guarda el valor de la velocidad mínima programada.

9.- Se pone en operación al temporizador número 2 el cual tiene programado el valor de T2.

10.- Si por alguna razón la velocidad del sistema se fuera demasiado abajo y se pasara a controlarlo por el programa "MALLA" el ajuste a la velocidad programada mínima sería muy brusco y la corriente demasiado elevada. Por ello el microprocesador es llevado primero a la subrutina de arranque "ARR" para que ajuste la velocidad del sistema suavemente hasta la mínima programada. Obtenida esta, abandona la subrutina "ARR" y ahora si entra a "MALLA" hasta que el temporizador número 2 envíe su interrupción, que --- hace que las localidades 41H, 43H y 47H tomen valor de cero y el número de ciclos realizados se incremente en uno.

11.- Con los parámetros ajustados a los valores del punto anterior, el programa "MALLA" hace la comparación de los ciclos efectuados con los programados. Si son menores cambia en la localidad de transición 12H el valor de la velocidad, colocando ahora el de la velocidad máxima programada y entra de nuevo a la subrutina de arranque F', según la figura 3.3.1. En este punto se tiene el inicio de un nuevo ciclo.

El diagrama de flujos para esta subrutina se muestra en la figura 3.3.11.

La subrutina de frenado "FREN" inicia en la dirección OFA28H (línea 274) y termina en la dirección OFAAA H (línea 328). Esta se muestra en la figura 3.3.12.

MALLA 'FREN'

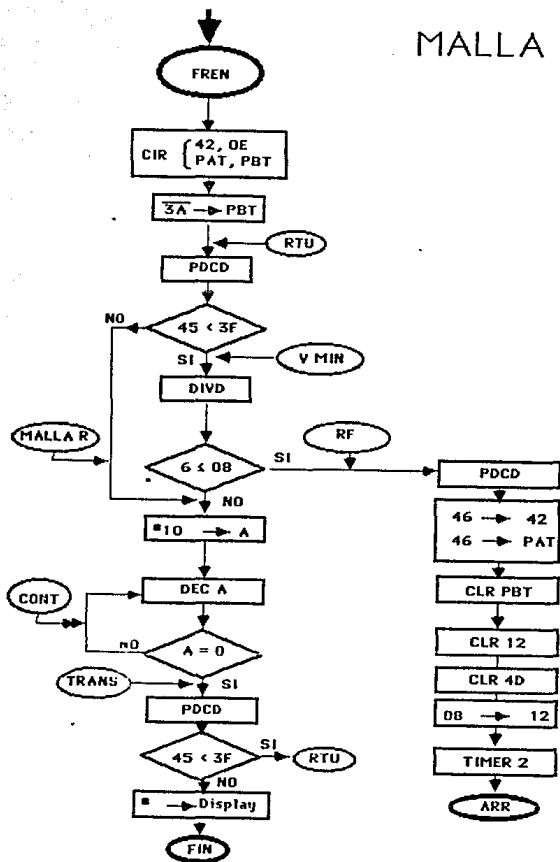


FIGURA 3.3.11

FREN	CLR	42H
	CLP	0EH
	CLR	PAT
	LDA	#0FFH
	STAA	PBT
	JSR	SPGF
	COMA	
	STAA	PBT
RTU	JSR	PDCD
	LDA	45H
	MPA	3FH
	BMI	UMIN
MALLAR CONTD	LDA	#10H
	DECA	
	BNE	CONTD
	JSR	PDCD
	LDA	45H
	MPA	3FH
	BMI	RTU
	LDA	#00H
	STAA	PAT
	STAA	PAD
	LDA	#0FBH
	STAA	PBD
	JMP	FIN
UMIN	JSR	DIUD
	JSR	RETWU
	LDA	6H
	MPA	8H
	BLS	UPU
	BRA	MALLAR
UPU	JSR	PDCD
	LDA	#0FFH
	STAA	PBT
	CLRA	
	LDA	46H
URF	INC	42H
	LDAB	42H
	STAB	PAT
	MPA	42H
	BNE	URF
	CLR	12H
	CLP	46H
	LDA	8H
	STAA	12H
	LDA	#0E1H
	STAA	2801H
	LDA	37H
	STAA	2804H
	LDA	36H
	STAA	2805H
	LDA	#00H
	STAA	2800H
	JSR	ARR

FIGURA 3.3.12

PROGRAMA "FRENADO"

3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE PROGRAMACION.

En esta parte se explicará el direccionamiento de los circuitos periféricos.

En las líneas del 1 al 13 del programa en el anexo 1, se da a cada dirección del hardware un nombre para utilizarlo en toda la programación en lugar de la dirección.

Con la instrucción `ORG 0F800H`, se coloca al programa monitor en la dirección `0F800H`.

La instrucción `LDS número 70H`, pone al apuntador de pila (`STACK POINTER`) en el registro `70H`.

De las líneas 17 hasta 34 del programa en el anexo 1, se limpian los registros y los periféricos. Los periféricos con las palabras de control limpias se programan como salidas.

Las líneas de la 35 hasta 38 del programa en el anexo 1, se manda el número binario `1111 1111` hacia los puertos B del periférico 2 y, A y B del periférico 3. Los puertos B tienen tanto entradas como salidas complementarias, entonces, con el número binario anterior, limpiamos estos puertos y su salida será `0000 0000`. Ahora, en el puerto A, tanto las entradas como las salidas son normales, entonces, el número binario `1111 1111` será para mantener el voltaje de salida en 5 volts, y con este puerto se controla V_h , parámetro que se explica con más detalle en la sección 3.3.

Las líneas 39 y 40 del programa en el anexo 1, se manda el número `1111 0000` a la salida del puerto A del periférico 2, se señala que este puerto se utilizarán `sys 4` primeros bits como entradas y los 4 últimos bits como salidas.

Las líneas 41 y 42 del programa en el anexo 1, se manda el número binario `0000 0000` en la salida del puerto A del periférico. Con este número se programa el puerto A como salida.

Las líneas 43 hasta 46 del programa en el anexo 1, se manda una palabra de control número 37H a los puertos A y B del periférico 1 y del puerto A del periférico 2.

Esta palabra de control corresponde al número binario $\begin{matrix} 7654 & 3210 \\ 0011 & 0111 \end{matrix}$, el bit 2 es el bit de dirección de datos, como se tiene el bit 2 = 1, implica que los tres puertos son entradas. (Para mayor información véase las instrucciones para programar, hojas de datos del C.I.MC 6821).

En el registro 3FH se introduce una cuenta de 7FH, o sea, 125 cuentas en decimal que va a ser el parámetro de una corriente máxima que se permitirá y esta va a ser de 395 amper.

LDX número 0000H.

Esta instrucción es sólo para limpiar el registro de índice.

Las líneas 50 a 53 del programa están en el anexo 1.

En esta parte se iniciarán 2 contadores. El primer contador estará en el registro 10H, en este se introduce el número 7 hexadecimal. Por medio de este contador se introducirá el programa 7 parámetros a controlar por medio del microprocesador (1 velocidad máxima, 2 velocidad mínima, 3 tiempo de velocidad máxima, 4 tiempo de velocidad mínima, 5 número de ciclos, 6 grado de frenado y 7 pendiente de rampa de control).

En el segundo contador estará en el registro 11H, en este se introduce el número 3. Este es para la entrada máxima de dígitos por parámetro, para este caso la entrada será 999 decimal.

Las líneas 54 a 56 del programa están en el anexo 1.

Con estas instrucciones se pide solicitud de interrupción de IRQ, para poder introducir por teclado los 7 parámetros, y los 3 dígitos de cada parámetro. Al pedir esta interrupción el programa se ira a la dirección 0F800H, esta dirección se explicará mas adelante.

Las líneas 57 a 62 del programa están en el anexo 1.

Con esto se compara la localidad 11H con el número 3, (el registro 11H es donde se encuentra el número máximo de dígitos de cada parámetro), si esta es menor que el número comparado, implicará que se va a hacer otra comparación pero ahora con la localidad 5H, (Ésta es donde se guarda el número en unidad, decena o centena en decimal), y el número 0AH, si al compararse es igual, entonces implicará que se introdujo un parámetro en la memoria, pero si esta es diferente, entonces se pedirá nuevamente una interrupción IRQ para introducir otro dígito (decena o centena según sea el caso). Si la comparación anterior es igual proseguirá el siguiente bloque.

Las líneas 63 a 71 del programa están en el anexo 1.

Aquí se almacenarán los parámetros en forma decimal a partir del registro 20H y en hexadecimal a partir del registro 30H, y se hará como sigue:

Lo que tenga el registro 15H se almacenará en la localidad $20H+X$ (X = registro de índice), como se limpia el registro de índice ($X=0$), entonces el registro $20H+X$ será igual a 20H y lo que tenga el registro 17H se almacena en $30H+X$ y será igual a 30H.

Se incrementa el registro de índice ($X=1$), y lo que tenga el registro 16H se almacenará en el registro 21H, y lo que tenga el registro 18H se almacena en 31H.

Nuevamente se incrementa el registro de índice ($X=2$).

Al decrementar el registro 10H, se compara este con el número 00H, si esta comparación no es igual, implicará que todavía no se han introducido los 7 parámetros requeridos para que empiece a trabajar el sistema.

Las líneas 92 a 101 del programa están en el anexo 1.

Estas instrucciones consisten en igualar la velocidad máxima 80 km/hr a las 256 cuentas que se tienen en la programación, esta información se guardará en 2 bytes.

Para tener esta conversión, se multiplicará la velocidad máxima por tres

[$80 \times 3 = 240$ cuentas], tendremos 16 cuentas de tolerancia para que el sistema pueda variar entre la velocidad máxima y un poco más.

El procedimiento será el siguiente:

Almacenamos lo que tenga el registro 30H en el acumulador A, se limpia el acarreo, rotamos hacia la izquierda lo que tenga el registro 30H, (cuando se rota a la izquierda, se multiplica por dos), y se guarda en el acumulador A, sumamos el contenido del registro 30H y el contenido del acumulador A, (se multiplica por tres) y se guarda en 30H.

Lo mismo hacemos con el registro 32H, en este registro se almacena la velocidad mínima.

Las líneas 103 a 126 del programa están en el anexo 1.

Con este grupo de instrucciones empieza con limpiar el registro de índice "X" los registros 34H, 35H, 36H y 37H, se multiplica cada contenido de los registros por 65 decimal al multiplicarlos se guardan en sus registros correspondientes, al terminar esto se empieza a controlar al sistema por "MALLA".

Las líneas 330 a 606 del programa están en el anexo 1.

Con este grupo de instrucciones se pone como prioritario el puerto "1", éste se encuentra en la dirección 1800H. Para interrumpir el puerto se toma la dirección 1801H, en esta dirección se almacena la palabra de control para interrumpir el puerto, ahora se compara con el número 80H, este número tiene un "UNO" en el bit 7, si este bit es igual al bit 7 de la palabra de control, el puerto estará pidiendo una interrupción. El puerto "1" manejará el teclado y el display (introducción de datos).

La dirección 2801H estará dada la dirección del timer programable, cuando este interrumpe manda en la palabra de control un "UNO" en el bit 0, ó en el bit 1, según cualquiera de los dos timers este pidiendo la interrupción.

Las líneas 334 a 337 del programa están en el anexo 1.

Si la palabra de control manda un "UNO" en el bit 0, éste se aísla y después se compara con el número 1 para saber si este fue el que tiene la prioridad de interrupción. (Este timer "1" se utiliza para mantener la velocidad máxima, el tiempo programado).

Las líneas 338 a 341 del programa están en el anexo 1.

Pero si esta palabra de control manda un "UNO" en el bit 1 se aísla y se compara con el número 2 (el timer "2" se utiliza para mantener la velocidad mínima el tiempo programado).

La línea 342 del programa está en el anexo 1.

El JMP PROGC del programa en el anexo 1, es la cuarta y última interrupción del programa. Esta interrumpirá cuando se solicite una interrupción externa y servirá para seguir chequeando los datos de todo el programa, tanto los almacenados como los programados.

En la primera prioridad de interrupción nos manda en el programa a la etiqueta PROGU.

Las líneas 345 a 425 del programa están en el anexo 1.

En esta parte del programa el registro 5H se guarda el dato que entra por teclado y se compara con el número 0AH, si esta comparación es igual, se saldrá de esta interrupción y regresa a la parte de la solicitud de interrupción, y si no es igual, entonces se compara con los números 1, 2 ó 3 para saber qué número fue procesado (este número puede ser de 1, 2 ó 3 dígitos).

Cuando se introduce por teclado el primer dígito, éste se almacena para su transición y sale al display.

Al introducir el segundo dígito, el primer dígito se multiplica por 10 y se suma al segundo dígito, después se rota el primer dígito 4 veces, se almacenan estos en un byte y se saca por display.

Si es introducido un tercer dígito, los dos dígitos anteriores se multi-

plican por 10 y se almacenan, después se rotan a la derecha estos dos dígitos 4 veces, se suman al tercer dígito para obtener unidades, decenas y centenas el tercer dígito se rota para ocupar el lugar más significativo en la salida del display.

Las líneas 426 a 433 del programa están en el anexo 1.

Con la segunda prioridad de interrupción (timer 1) se va el programa a la etiqueta PROGD.

En esta parte del programa se cambian parámetros para pasar de la malla de "MALLA" a la malla de "FRENADO", para apagar este timer se manda un reset.

Las líneas 434 a 446 del programa están en el anexo 1.

En la tercera prioridad de interrupción (timer 2) se va el programa a la etiqueta PROGT.

En esta parte del programa se cambian parámetros para pasar de la malla de "FRENADO" a la malla de "MALLA" y en esta parte se cuentan los números de ciclos que se llevan y se manda un reset para apagar este timer.

Las líneas 447 a 606 del programa están en el anexo 1.

```
PROGD  LDAA  PAD
        ANDA # 0FH
```

Con estas dos instrucciones se aísla la tecla que se oprime por el puerto A2 (Los datos se meten en este puerto por los 4 bits más significativos).

```
CMPA # 01H
```

La tecla oprimida se compara con los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se manda a una subrutina según el número comparado para después almacenarlo y mandarlo hacia el display.

Los números anteriormente comparados se identifican con los siguientes parámetros:

1) Número de Ciclos Programados	NPROG
2) Número de Ciclos Realizados	NREAL
3) Velocidad Máxima Programada	VMAXP
4) Velocidad Mínima Programada	VMINP
5) Velocidad Real del Motor	VREAL
6) Tiempo de Velocidad Máxima	TUP
7) Tiempo de Velocidad Mínima	TDP
8) Tipo de Frenado	FRENP

Para la subrutina NPROG, se almacena el dato del display en la localidad 29H en el acumulador A, después se recorrerá el número almacenado en el acumulador A 4 veces y se manda al puerto B2.

Para la subrutina NREAL convierte un número binario (ciclos reales) a un número BCD.

El algoritmo que se toma para hacer este cambio de base es:

Se basa en la evaluación de un número binario en una nueva base que está dada por la expresión:

$$= b_7 2^7 + b_6 2^6 + \dots + b_0 2^0$$

Donde b_0 a b_7 son los dígitos en número binario. Esta expresión se puede dar de la siguiente forma:

$$= (b_7 * 2 + b_6) * 2 + b_5) * 2 + b_4) * 2 + b_3) * \dots * 2 + b_0)$$

Esta última expresión nos dará el algoritmo de conversión.

Hecha esta conversión se almacena en el acumulador A y B, se saca por el puerto A2 (por los bits más significativos) y por el puerto B2, éstos 2 puertos son los que controlan el display.

Para la subrutina VMAXP, lo almacenado en la localidad 21H se almacena en el acumulador A y se rota 4 veces, entonces se manda por los puertos correspondientes para el display el número almacenado en el acumulador A.

Para las subrutinas VMINP, TUP y TDP se hará el mismo procedimiento para VMAX.

En la subrutina FRENp, se almacena en el acumulador A el dato de la localidad 2AH y se manda por los puertos correspondientes al display.

Con estas subrutinas se termina la acción de la interrupción IRQ.

Para llamar a la interrupción NMI, se llama a la subrutina PDCD en las líneas 686 a 693.

La subrutina PDCD ayudará para mandar un pulso de flanco negativo que habilitará la interrupción de NMI del microprocesador, éste servirá para introducir los parámetros necesarios para controlar al sistema, estos parámetros serán velocidad y corriente reales.

Al interrumpir al programa va a la dirección OFF00H que es donde está la interrupción NMI.

Las líneas 607 a 614 del programa están en el anexo 1.

En la interrupción NMI, entra la información por el PIA "1", tanto en el puerto A como en el B. En el puerto A se introduce el dato de la velocidad real y se almacena en el registro 45H, después este valor se compara con la velocidad máxima y mínima programada (ver programa en ARRANQUE y MALLA).

En el puerto B se introduce el dato de la corriente real y se almacena en el registro 46H, para después compararlo con la corriente programada (ver programa en ARRANQUE y MALLA).

Empezaremos a hablar de las subrutinas de ayuda del programa, estas serán DIVD y SPGF.

La subrutina DIVD ayudará para dividir entre dos la velocidad máxima y mínima programadas.

La subrutina SPGF es para direccionar los 8 bits del puerto B3, esto se hará como sigue:

PARA EL NUMERO	SE DIRECCIONARA	TIPO DE FRENADO
1	b0	F1
2	b1	F2
3	b2	F3
4	b3	F4
5	b4	F5
6	b5	F6
7	b6	FU

4.- DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE CIRCUITOS AUXILIARES.

INTRODUCCION

En este capítulo se describirá el funcionamiento de aquellos circuitos auxiliares que fueron proporcionados por el S.T.C. y que por lo mismo están sujetos exclusivamente a aplicación, como es el caso del transductor de corriente y el control de servoválvulas para la aplicación del frenado.

Se explicará de manera general la construcción de las fuentes de alimentación, así como las protecciones incorporadas al sistema en el campo eléctrico A.C.

Se analizará en detalle el diseño del transductor de velocidad, así como las protecciones del sistema incorporados al software.

4.1 TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD.

El principio básico para controlar la velocidad del motor estará de acuerdo a lo siguiente:

- Acoplada directamente a la rueda del motor, está la "Rueda Fónica" que no es otra cosa que un disco metálico con 66 ranuras equiespaciadas en la periferia de la misma.
- Sobre un lado de la cara, sobre las ranuras, se instala un diodo emisor de luz. Sobre la cara opuesta se coloca un fototransistor.
- Al girar la rueda fónica junto con el motor, interfiere el haz de luz haciendo que el fototransistor corte y sature a un ritmo que depende de la velocidad con que gire la rueda.
- Por consideraciones mecánicas, se establece que el motor debe girar a 4055 rpm para que el convoy viaje a 80 km/h.
- Lo anterior define entonces que para una velocidad máxima de 80 km/h, o sea, el motor a 4055 rpm, el fotosensor cambia entre saturación y corte a una razón de:

$$(4055 \times 66) / 60 = (4460.5 \text{ veces}) / \text{seg.}$$

O sea, la señal que el fototransistor da en ese momento tiene una frecuencia de 4460.5 Hz.

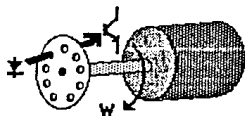


FIGURA 4.1.1

Como esta velocidad es producto de la saturación y corte propios de un transistor, tiene forma cuadrada. Hay, por lo tanto, una relación lineal entre la velocidad del motor y la frecuencia de la señal que da el foto-transistor.

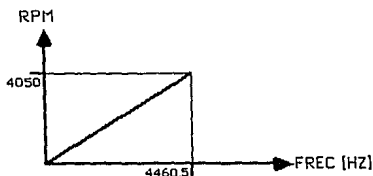


FIGURA 4.1.2

Como la frecuencia de la señal cuadrada difícilmente la podríamos relacionar con el sistema de control digital, es necesario transformar la frecuencia de esa señal a un nivel de voltaje, y además convertir el nivel de voltaje obtenido en una señal digital. Para realizar lo primero, se utiliza el convertidor de frecuencia a voltaje LM 2907 de National Semiconductor. El circuito que se implementa en nuestro proyecto está basado en la información que da el fabricante en su libro "Linear Applications Handbook", edición 1978.

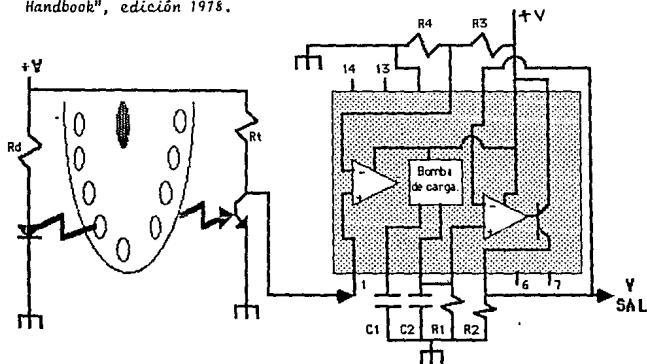


FIGURA 4.1.3

El circuito de la figura 4.1.3 es el que se utiliza en nuestro proyecto. El cálculo de cada elemento se describe a continuación:

El voltaje de salida del circuito integrado LM 2907 es por medio de un transistor en configuración de seguidor emisor.

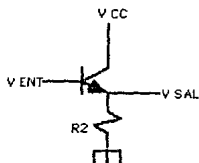


FIGURA 4.1.4

Del cual sabemos que:

$$V_{sal} = V_{ent}$$

Por lo que retrocediendo a la etapa anterior, la salida del amplificador operacional es:

$$V_{sal} = V_3$$

Por estar en configuración "Buffer" el Amplificador Operacional.

Lo anterior indica que el voltaje de salida del circuito integrado (pin 5) es prácticamente igual al voltaje que aparece en el pin 3 (V3).

Ahora bien, en el pin 3 la corriente es constante por provenir de una fuente de corriente constante, y es como mínimo 150 μ A, según hoja de datos.

Por lo tanto:

$$R1 \geq \frac{V_{3\max}}{I_{3\min}}$$

Por ser compatible con el nivel máximo de voltaje que utiliza el microprocesador, se fija $V_{3\max} = 5V$, lo que lleva a que:

$$R1 \geq \frac{5 V}{150 \mu A}$$

$$R1 \gg \frac{5 \text{ V}}{150 \text{ A}}$$

$$R1 \gg 33 \text{ K}\Omega$$

Por lo que, tomando el mínimo valor, queda $R1 = 33 \text{ K}$

Ahora bien, el valor de $C1$ queda establecido como:

$$C1 = \frac{VA \text{ max}}{RT Vcc Fmax}$$

$V3 \text{ máx}$ quedó establecido como 5V.

$R1$ se calculó como $33 \text{ K}\Omega$

Vcc es la alimentación del circuito.

En nuestro sistema tenemos voltajes de +5V, +12V y -12V. Como se muestra, el voltaje de salida máximo es 5V, la alimentación del circuito tiene que ser necesariamente mayor que ese valor para poder absorber las caídas de voltaje internas. Por ello se elige:

$$Vcc = +12V$$

$Fmáx$ es la frecuencia máxima para la cual el circuito dará el voltaje máximo.

$$Fmáx = 4400 \text{ Hz}$$

Por lo tanto:

$$C1 = 5 / (33K) (12) (4.4605K) = 0.28 \mu\text{F}$$

El valor de $C2$ está dado por:

$$C2 = (Vcc/2) (C1/Vripple) [1 - V3/2]$$

Donde $Vripple$ es la variación máxima que se va a permitir al voltaje de salida $Vsal$.

$$C2 = \{5/2\}\{0.28/1\}\{1/2\}$$

$$C2 = 0.35 \mu\text{F}$$

Como el transistor de salida puede manejar como máximo 50 mA y el voltaje sobre R2 debe ser 5V:

$$R2_{\text{min}} = 5\text{V}/50\text{mA} = 1\text{K}\Omega$$

Si el comparador de entrada del circuito tuviera el pin (-) conectado a tierra exigiría que la señal de entrada oscilara arriba y abajo de ese valor para que pudiera detectar los cambios de la señal ya que el circuito comparador posee una determinada histéresis. Por otro lado, la señal de entrada proviene de un fototransistor que satura y corta, por lo tanto, el valor mínimo de la señal será $V_{\text{ce sat}}$, la cual no oscila alrededor del cero.

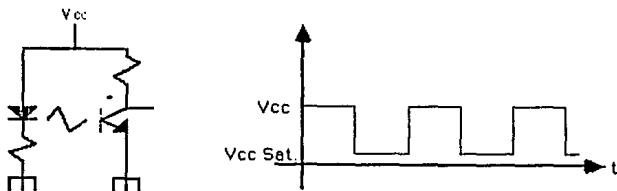


FIGURA 4.1.5

Para que el comparador pueda detectar los cambios de la señal, es necesario que el pin negativo tome como referencia un valor que esté aproximadamente entre V_{cc} y $V_{\text{ce sat}}$.

Como $V_{\text{cc}} = 12\text{V}$ y $V_{\text{ce sat}} = 0.2\text{V}$, tomamos como referencia $V_{\text{ref}} = 6\text{V}$ y las resistencias R3 y R4 deben dar ese voltaje. Por ello:

$$R3 = R4 = 10\text{K}\Omega$$

Para que la corriente que demanden sea mínima ($=0.6\text{mA}$).

Por último calculamos los valores de R_d y R_t .

Según hoja de datos, el diodo necesita 10mA para emitir la luz necesaria para activar al fototransistor y el máximo que puede manejar es de 50mA. Como la alimentación es también de 12V:

$$R_d = [V_{cc} - V_d] / I_{dmx}$$

$$[12 - 0.7] / 50 = 2.4 \text{ K}\Omega$$

Fijando una corriente máxima de 10 mA en el fototransistor.

$$R_t = [V_{cc} - V_{ce \text{ sat}}] / I_{cmx}$$

$$[12 - 0.2] / 10 = 1.2 \text{ K}\Omega$$

Resumiendo los valores encontrados tenemos:

$$R_1 = 33 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = R_4 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_d = 2.4 \text{ K}\Omega$$

$$R_t = 1.2 \text{ K}\Omega$$

$$C_1 = 0.26 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 0.35 \mu\text{F}$$

4.2 TRANSDUCTOR DE CORRIENTE.

El transductor de corriente empleado, funciona basado en el principio de efecto Hall y sus características son:

- Relación de salida con una carga externa de 50 ohms, 1 watt en las terminales M y E (M es el punto de medición y E es la referencia de tierra) 1 volt de corriente directa por cada 100 amperes.
- Aislamiento de 6 KV.
- Polarización en las terminales C(+), D(-) y E(tierra) de +18 y -18 volts de corriente directa, como se muestra en las figuras 4.2.1 y 4.2.2.
- Resistencia interna de 70
- Relación de corriente 1:5,000

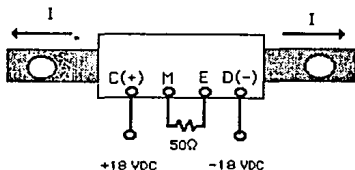


FIGURA 4.2.1

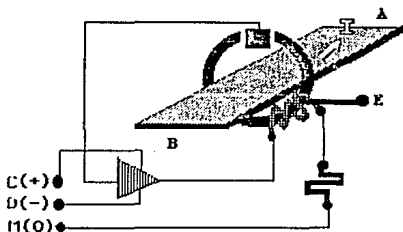


FIGURA 4.2.2

4.3 CONTROL DE SERVOVALVULA.

El frenado neumático en los trenes está controlado a través de la electroválvula moderable de desfrenado EMD la cual es regulada por la intensidad de corriente que pasa por su bobina. Esta intensidad de corriente es limitada por el grado de frenado comandado, el que a su vez determina la presión en bars, que aplica el sistema neumático sobre las zapatas de frenado, como se indica en la table 4.3

CONTROL DE LA SERVOVALVULA		
GRADOS DE FRENADO	PRESION APLICADA EN BARS	CORRIENTE NECESARIA EN LA LA BOBINA DEL E.M.D. (Amperes)
1	0.50	0.187
2	1.10	0.173
3	1.50	0.162
4	2.18	0.140
5	2.60	0.127
6	3.20	0.103
U	4.50	0.000

TABLA 4.3

En la figura 4.3.1 se da la curva característica presión de frenado vs corriente aplicada para determinar el grado de frenado.

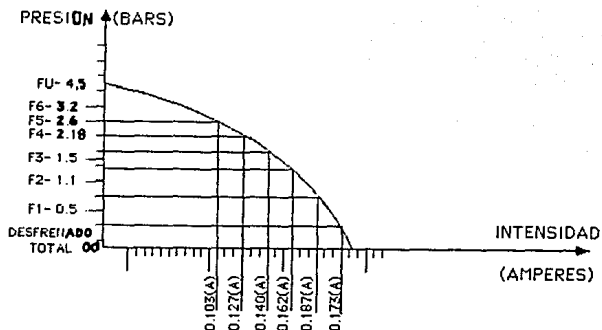
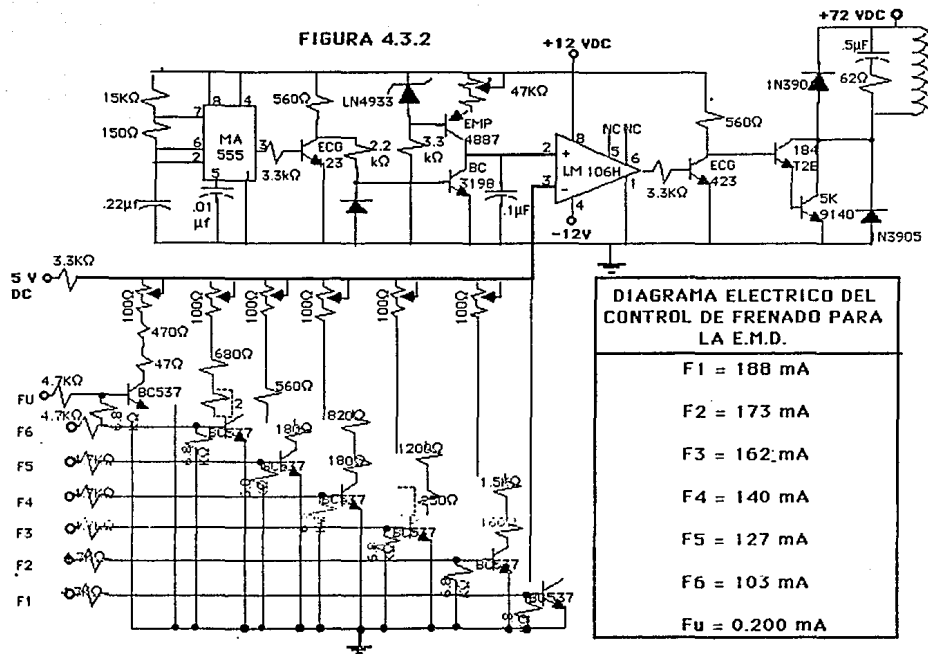


FIGURA 4.3.1

Como se observa en el diagrama de la tarjeta de frenado (fig. 4.3.2), se tienen 4 entradas lógicas para el comando del frenado cada una de las cuales será habilitada por el microprocesador. Al seleccionar una de ellas la conmuta a un voltaje alto, dejando a un nivel de voltaje cero a las 6 entradas restantes.

Al poner un 1 lógico con nivel de voltaje de 5 volts, el transistor correspondiente a la entrada habilitada se satura, teniéndose un nivel de voltaje en la pata inversora del LM 106H. Este nivel de voltaje depende del arreglo de resistencias en el transistor correspondiente, el cual se compara con una rampa de +12 volts generada por el LM555 y una fuente de corriente constante, obteniéndose la salida del LM106H un tren de pulsos con ciclo de trabajo y nivel de voltaje diferentes a los otros 6 tipos de frenado, este nivel de voltaje es el que regula el paso de corriente hacia la bobina de la EMD.

FIGURA 4.3.2



4.4 FUENTES DE ALIMENTACION.

Los voltajes de alimentación para el sistema de control del motor de CD (microprocesador, periféricos, convertidores, circuito de disparo de SCR's y transductores) son los siguientes voltajes y corrientes:

VOLTAJES	CORRIENTES
V _{δ1} + 5 VDC	5 Amp
V _{δ2} - 5 VDC	1 Amp
V _{δ3} + 12 VDC	1 Amp
V _{δ4} - 12 VDC	1 Amp
V _{δ5} + 18 VDC	1 Amp
V _{δ6} - 18 VDC	1 Amp

La fuente de alimentación se construyó de acuerdo a la configuración mostrada en la figura 4.4.1

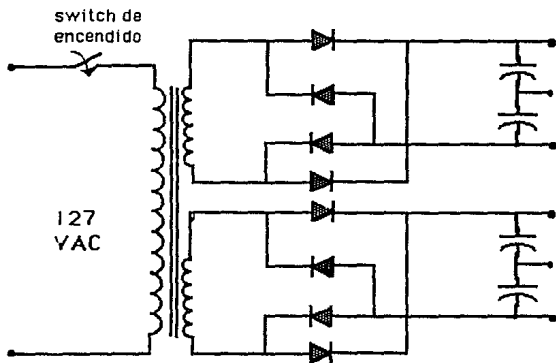


FIGURA 4.4.1

Este circuito tiene las siguientes características:

El voltaje de salida de CD, se deriva de una señal de CA por medio de transformadores reductores, puentes rectificadores y filtros con lo cual se obtiene un voltaje de rizo del 1%. El cambio de voltaje de corriente directa de salida sin carga (sin ninguna corriente drenada de la fuente de suministro) y con carga, es de considerable interés, este cambio de voltaje se describe por un factor denominado como regulación de voltaje y está dado por:

$$\text{Reg. de Voltaje} = \frac{\text{Voltaje sin carga} - \text{Voltaje a plena carga} \times 100}{\text{Voltaje a plena carga}}$$

$$\text{Voltaje sin carga} = 22 \text{ volts}$$

$$\text{Voltaje a plena carga} = 20 \text{ volts}$$

$$\text{Reg. de voltaje} = [(22-20)/22] \times 100 = 10\%$$

Por lo tanto, la fuente sin regular debe de tener las siguientes características para que los reguladores trabajen optimamente sin disipar mucha energía, deben tener un voltaje diferencial de entrada y salida mayor de 4 ó 5 volts en la rectificación y filtrado de la fuente, la caída de voltaje debido a pérdidas es de 3 a 5 volts en los elementos que componen la fuente como son: diodos, capacitores, etc. El transformador seleccionado debe de tener los siguientes voltajes en los secundarios.

$$\text{Voltaje en el secundario 1} = 44 \text{ volts A.C.} \quad 2 \text{ Amp. c/tap central.}$$

$$\text{Voltaje en el secundario 2} = 24 \text{ volts A.C.} \quad 5 \text{ Amp. c/tap central.}$$

Se calculan los filtros y se efectúan con los siguientes datos y fórmulas:

$$F = 120 \text{ Hz}$$

$$V_{\text{rizo}} = 0.01 \text{ volts}$$

La resistencia de carga esta dado por:

$$R_L = V_{\text{srms}} / I_{\text{L}} = 19.79 \text{ volts} / 2 \text{ Amp.} = 9.89 \Omega$$

De la fórmula de Vrizo = $\sqrt{2} / (2\pi f R_L C)$

Despejando C:

$$C = \sqrt{2} / (2\pi f R L V_{rizo})$$

$$C = 18900 \mu F, \text{ para las fuentes de } \pm 22 \text{ volts}$$

Ahora para las fuentes de ± 12 volts se calculan los siguientes parámetros:

$$R_L = V_{rms} / I_{s2} = 10.6 \text{ volts} / 5 \text{ Amp} = 2.12 \Omega$$

$$C = \sqrt{2} / (2\pi f R L V_{rizo})$$

$$C = 88470 \mu F$$

Los diagramas eléctricos de los reguladores de voltaje son los siguientes:

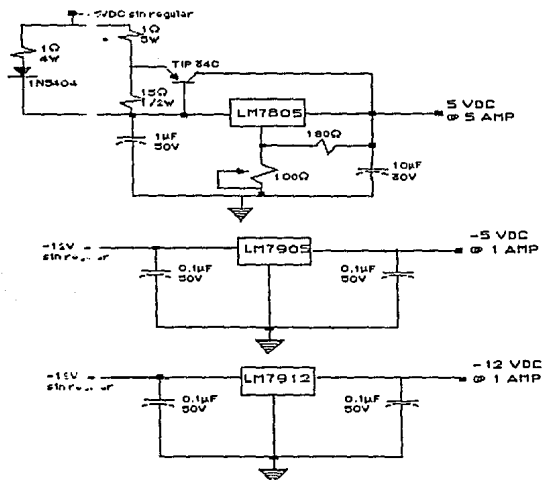


FIGURA 4.4.2

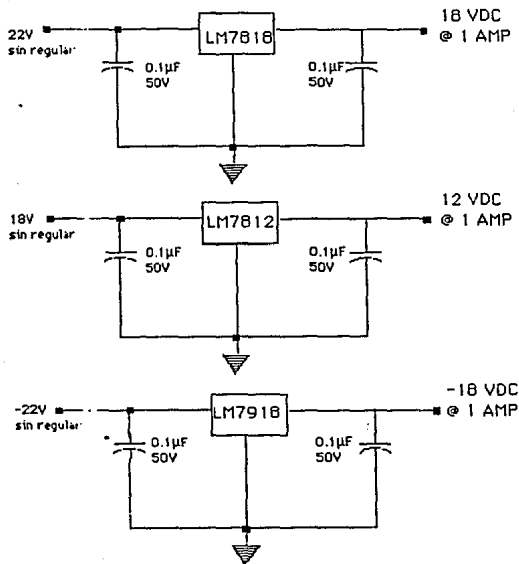


FIGURA 4.4.3

Donde los reguladores de voltaje son del tipo regulador integrado de tres patas, valor de voltaje fijo, siendo los 79xx de polaridad negativa y los 78xx positiva. Las características de estos reguladores se encuentran en el manual "National Semiconductors".

RECOMENDACIONES

OPERACION:

El sistema es autónomo una vez que se le ha programado. Sin embargo, es pertinente que las personas que tengan acceso a la operación del mismo tengan conocimientos básicos de electricidad y electrónica así como buen criterio en aspectos mecánicos para que en un momento dado puedan tomar decisiones que tiendan a proteger vidas humanas, instalaciones y equipos. Estas decisiones podrían ser desde lubricar al compresor, aplicar grasa a rodamientos hasta dejar fuera de operación el sistema por alguna potencial anomalía eléctrica, mecánica, neumática o electrónica.

A continuación se dan los pasos para operar el sistema.

Se deben seleccionar e introducir los parámetros siguientes:

- 1.- Velocidad máxima: entre 0 y 80 km/h.
- 2.- Velocidad mínima: entre 0 y 80 km/h y menor que la velocidad máxima.
- 3.- Tiempo de velocidad máxima: entre 1 y 999 segundos.
- 4.- Tiempo de velocidad mínima: entre 1 y 999 segundos.
- 5.- Número de ciclos: entre 1 y 999.
- 6.- Grado de frenado: entre 1 y 7.
- 7.- Aceleración: entre 1 y 9.

Para introducir estos parámetros se debe, por medio del teclado, teclear el número asignado al parámetro y posteriormente teclear "int".

Los parámetros deben seguir el orden especificado arriba y respetar las restricciones en los rangos. Si la velocidad máxima se selecciona mayor de 80 km/h se aborta el programa, apareciendo en el display [1]. Si la velocidad mínima se selecciona mayor que la máxima ocurre lo mismo apareciendo en el display [2].

Si el grado de frenado no está entre 1 y 7 también se aborta el programa y presenta en display [3].

Para restablecer la operación, es necesario oprimir la tecla "reset" y volver a introducir los parámetros cuidando corregir el error que causó el aborto.

S E G U R I D A D

Este es un aspecto bastante delicado con el cual deberá tenerse mucho cuidado.

Como el sistema simula un convoy cargado en movimiento por medio de las masas de inercia acopladas a los ejes de transmisión, el momentum en dichos volantes es elevado. Por lo mismo se sugiere:

- Colocar una malla protectora alrededor del sistema con el fin de mantener alejada a toda persona ajena a la operación.
- Colocar avisos de "Peligro, mantengase alejado" y "Prohibido el paso a personal no autorizado" en lugares visibles y estratégicos.
- Instalar guardas a todas las partes móviles. Actualmente los volantes de inercia las tiene pero los mecanismos para frenado no.
- Colocación de un seguro en el gabinete de potencia de tal manera que al abrir las puertas de cualquier sección de potencia el sistema se detenga saliendo los contactores de AC y DC.
- Si el sistema es programado para ejecutar un número alto de ciclos, es deseable que el personal responsable de la operación permanezca en el área al menos la primera media hora de funcionamiento para observar cualquier posible anomalía eléctrica (zumbido anormal en los SCR's, arrancadores, etc.); anomalía mecánica (vibraciones anormales, rechinos, golpeteos, etc.) o anomalía electrónica (comportamiento del sistema diferente al programado, etc.)
- Independientemente de la frecuencia de uso del sistema y de los programas de mantenimiento preventivo del S.T.C., al menos cada 3 meses debe inspeccionarse la tornillería de sujeción de los volantes de inercia y del anclaje del sistema al piso. Se sugiere un monitoreo del par de apriete de dichos tornillos.
- Para una operación más confiable sin vigilancia continua, se sugiere la colocación de al menos tres switches de vibración, uno en los extremos de cada eje y otro en el motor, en el extremo más alejado de la transmisión.

M A N T E N I M I E N T O

La parte mecánica del sistema así como lo referente al motor DC, consideramos no hay ningún cambio con relación a los programas de mantenimiento preventivo que tenga establecido el S.T.C.

El sistema electrónico digital por no tener partes móviles requiere únicamente limpieza con aire seco comprimido para remover partículas de polvo cada 6 meses. La misma recomendación vale para la parte electrónica analógica.

Para la parte eléctrica de potencia se recomienda cada 6 meses:

- Sopleteado con aire seco comprimido a todas las secciones del gabinete de potencia.
- Reapriete de conexiones eléctricas.
- Cambio de cables con señas de calentamiento.
- Inspección a los contactos de los arrancadores AC y DC efectuando limpieza o cambio de aquellos que lo requieran.

Consideramos que siguiendo estas sugerencias puede lograrse una operación duradera y segura del sistema. Cabe aclarar que dichas recomendaciones no son de ninguna manera rígidas y debe buscarse el punto óptimo de acuerdo a la experiencia que se vaya obteniendo con el sistema ya operando.

P R O T E C C I O N E S .

Del capítulo 2 "Diseño del circuito de potencia", se obtuvieron los siguientes valores en el lado de corriente rectificadora:

$$\text{Potencia nominal} = P_n = 112 \text{ kw.}$$

$$V_o \text{ (D.C.)} = 297.184 \text{ Volts.}$$

$$I_o \text{ (D.C.)} = 376.97 \text{ Amp.}$$

En el lado de corriente alterna tenemos conocidos los parámetros:

$$V_L = 220 \text{ V.}$$

$$P_n = 112 \text{ kw.}$$

y tomamos el factor de potencia $FP = 0.85$. Entonces, la corriente de línea en el lado de alterna es:

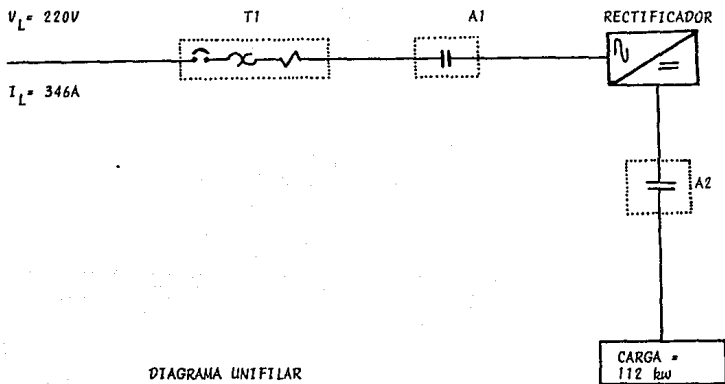
$$I_L = \frac{112\,000 \text{ W}}{\{ 3 \} \{ 220 \} \{ 0.85 \}} = 346.2 \text{ A.}$$

Considerando que en un momento dado la máxima corriente que demanda el sistema es la correspondiente a la potencia nominal ya que no hay transitorios de arranque, se seleccionan los elementos de protección y manejo de potencia de acuerdo a estos valores.

$$V_L = 220 \text{ V} \quad , \quad I_L = 460 \text{ A}$$

Cabe hacer notar que no se calcularán las protecciones ya que esto se sale del propósito de este proyecto; sólo se seleccionarán según recomendaciones del catálogo de Squared D México, Edición 1987.

El diagrama unifilar implementado es:



donde T1 es un interruptor termomagnético CA.

A1 es un arrancador magnético CA.

A2 es un arrancador magnético DC.

De acuerdo a los voltajes y corrientes indicados se selecciona:

T1: Interruptor termomagnético LAL 36400 con corriente nominal de 400 Amp. gama de disparo magnético de 2000 a 4000 Amp., 600 VAC máximos, 60 HZ.

A1: Arrancador magnético clase 8502, tamaño 6 tipo SHO-2, que maneja hasta 540 Amp., en rango de voltaje de 208 a 220 V.

A2: Contactador Jeumont Schneider, fab. 563956, No. 1.

CONCLUSIONES'

En el desarrollo del proyecto fue necesario ir efectuando pruebas las cuales por su riesgo natural, fueron realizadas en un prototipo del sistema real, que consistió en controlar un motor de 310 watts, 85 volts DC y 1450 rpm.

En el se determinó que el sistema desarrollado cumple con todos los requisitos básicos solicitados e incluso con algunos que los integrantes de este seminario consideraron pertinente se adicionaran:

Requisitos básicos:

- Velocidad máxima programable.
- Velocidad mínima programable.
- Tiempo T_1 programable.
- Tiempo T_2 programable.
- Grado de frenado programable.
- Número de ciclos programable.
- Supervisión constante de la corriente real del motor.

Condiciones adicionales:

- Aceleración programable.
- Cancelación del programa cuando la corriente real sea mayor que la programada, señalizando en display la etapa del programa en que ocurre eso.
- En la etapa de introducción de datos se incorpora señalización para identificar el parámetro que se está programando.
- Capacidad de leer valores de parámetros de interés durante la ejecución del programa, como son: valor de la velocidad real, el número de ciclos que se llevan ejecutados y por supuesto todos los datos programados.

Una vez efectuadas las pruebas en el sistema REAL, se verificó el cabal cumplimiento de todos y cada uno de los requisitos señalados anteriormente. Por esta razón CONCLUIMOS que:

El sistema desarrollado es confiable ya que ha sido puesto en operación.

ANEXO I

FILE: PRUEBA.STC

HEWLETT-PACKARD: 5800 Assembler

LOCATION OBJECT CODE LINE SOURCE LINE

147

		1	"6802"		
	.1000:	2	PAU	EQU	1000H
	<.1001>	3	CAU	EQU	1001H
	<.1002>	4	PBU	EQU	1002H
	<.1003>	5	CBU	EQU	1003H
	<.1800>	6	PAD	EQU	1800H
	<.1801>	7	CAD	EQU	1801H
	<.1802>	8	PBD	EQU	1802H
	<.1803>	9	CBT	EQU	1803H
	<.2000>	10	PAT	EQU	2000H
	<.2001>	11	CAT	EQU	2001H
	<.2002>	12	PBT	EQU	2002H
	<.2003>	13	CBT	EQU	2003H
		14	ORG	0F800H	
F800	0F	15	SET		
F801	9E0070	16	LDS	#70H	
F804	4F	17	CLRF		
F805	9720	18	STAA	20H	
F807	9721	19	STAA	21H	
F809	9722	20	STAA	22H	
F80B	9723	21	STAA	23H	
F80D	972A	22	STAA	2AH	
F80F	7C002A	23	INC	2AH	
F812	972B	24	STAA	2BH	
F814	B71001	25	STAA	CAU	;LIMPIAR PALABRAS DE
F817	B71003	26	STAA	CBU	;CONTROL.
F91A	B71801	27	STAA	CAD	
F91D	B71803	28	STAA	CBT	
F820	B72001	29	STAA	CAT	
F823	B72003	30	STAA	CBT	
F826	B71000	31	STAA	PAU	
F829	B71002	32	STAA	PBU	
F82C	B71800	33	STAA	PAD	
F82F	B71802	34	STAA	PBD	
F932	86FF	35	LDAA	#0FFH	
F934	B71802	36	STAA	PBD	;PTO. B2 SALIDA.
F937	B72000	37	STAA	PAT	;PTO. A2 SALIDA.
F634	B72002	38	STAA	PBT	;PTO. B3 SALIDA.
F83D	86F0	39	LDAA	#0F0H	
F93F	B71900	40	STAA	PAD	;PA2 HBB EN LABA SAL.
F842	8600	41	LDAA	#00H	
F844	B72000	42	STAA	PAT	
F847	8637	43	LDAA	#37H	;PROGRAM. CAD & CA1
F849	B71001	44	STAA	CAU	
F84C	B71003	45	STAA	CBU	
F94F	B71801	46	STAA	CAD	
F852	867F	47	LDAA	#7FH	
F654	873F	48	STAA	3FH	
F858	CE0000	49	LDX	#0000H	;LIMP. RES. INICIE
F859	8607	50	LDAA	#07H	
F85B	9710	51	STAA	10H	;INI. CONTADORES.
F85D	863F	52	JTFO	LDAA	#03H
F85F	9711	53	STAA	11H	
F861	0E	54	SINT	CLI	;SOLIC. INTERRUPT.
F862	3E	55		WAI	
F863	3F	56		SET	;ESPERA INTERRUPT IRO
F864	D011	57		LDAB	11H ;SI CONT2 SIGUE EN 3

LOCATION	OBJECT CODE	LINE	SOURCE LINE	
F866	C103	58	CMPB	#03H ;SOLICITA INTERRUPT.
F866	27F7	59	BEO	SINT
F86A	9605	60	LDAH	05H ;SI EL DATO ES UN EN-
F86C	810A	61	CMPA	#0AH ;TER ALMACENALO SI
F86E	26F1	62	BNE	SINT ;NO SOLIC. INTERRUPT.
F870	9c15	63	LDAH	15H ;ALMACENA DATOS A
F872	A720	64	STAA	20H,X ;PARTIR DE LA 20H
F874	9617	65	LDAH	17H ;EN FORMA DECIMAL &
F876	A730	66	STAA	30H,X ;A PARTIR DE LA 30H
F878	08	67	INX	;EN HEXADECIMAL .
F879	9616	68	LDAH	16H
F87B	A720	69	STAA	2CH,X
F87D	9618	70	LDAH	18H
F87F	A730	71	STAA	30H,;
F881	96c0	72	LDAH	20H
F883	0180	73	CMPA	#80H
F885	2257	74	BHI	UMXE
F887	9621	75	LDAH	21H
F889	2653	76	BNE	UMXE
F88B	9623	77	LDAH	23H
F88D	265C	78	BNE	VELEQ
F88F	9620	79	LDAH	20H
F891	9122	80	CMPA	22H
F893	2356	81	BLS	VELEQ
F895	962B	82	LDAH	2BH
F897	265F	83	BNE	FREQ
F899	962A	84	LDAH	2AH
F89B	8100	85	CMPA	#00H
F89D	2759	86	BEO	FREQ
F89F	8107	87	CMPA	#07H
F8A1	2255	88	BHI	FREQ
F8A3	08	89	INX	
F8A4	7A0010	90	DEC	10H
F8A7	26B4	91	BNE	OTRO
F8A9	9630	92	LDAH	30H
F8AB	0C	93	CLC	
F8AC	49	94	ROLA	
F8AD	9B30	95	ADDA	30H
F8AF	9730	96	STAA	30H
F8B1	963C	97	LDAH	32H
F8B3	JC	98	CLC	
F8B4	49	99	ROLA	
F8B5	9B3C	100	ADDA	32H
F8B7	9732	101	STAA	32H
F8B9	CE0000	102	LDX	#00H
F8BC	A674	103	LDAH	34H,X
F8BE	E635	104	LDAB	35H,X
F8C0	0C	105	CLC	
F8C1	49	106	ROLH	
F8C2	59	107	ROLB	
F8C3	49	108	ROLA	
F8C4	59	109	ROLB	
F8C5	49	110	ROLA	
F8C6	59	111	ROLB	
F8C7	49	112	ROLA	
F8C8	59	113	ROLB	
F8C9	49	114	ROLA	

LOCATION	OBJECT CODE	LINE	SOURCE LINE
F8CA	59	115	ROLB
F8CB	49	116	ROLA
F8CC	59	117	ROLB
F8CD	4334	118	ADDA 34H,X
F8CF	5935	119	ADCB 35H,X
F8D1	4734	120	STAA 34H,X
F8D3	5735	121	STAB 35H,X
F8D5	9C0002	122	CPX 002H
F8D6	2728	123	BEQ INIC
F8DA	09	124	INX
F8DE	08	125	INX
F8DC	20DE	126	BRA CONK
F8DE	86A0	127	LDAA #0A0H
F8E0	B71800	128	STAA PAD
F8E7	36E4	129	LDAA #0E4H
F8E5	B71802	130	STAA PBD
F8E6	7E0000	131	JMP FIN
F8EB	86A0	132	LDAA #0A0H
F8ED	B71800	133	STAA PAD
F8F0	86D4	134	LDAA #0D4H
F8F2	B71802	135	STAA PBD
F8F5	7E0000	136	JMP FIN
F8F8	86A0	137	LDAA #0A0H
F8FA	B71800	138	STAA PAD
F8FD	36C4	139	LDAA #0C4H
F8FF	B71802	140	STAA PBD
F902	7E0000	141	JMP FIN
F905	7F0007	142	CLR 07H ;LIMPIA TODAS LAS
F908	7F0009	143	CLR 09H
F90B	7F000A	144	CLR 0AH
F90E	7F0012	145	CLR 12H
F911	7F0040	146	CLR 40H ;LOC. DE LOS PARAMETROS.
F914	7F0041	147	CLR 41H
F917	7F0042	148	CLR 42H
F91A	7F0043	149	CLR 43H
F91D	7F0047	150	CLR 47H ;ZAL
F920	7F0046	151	CLR 46H ;MRAU
F923	8DFE05	152	JSR DIND
F926	9640	153	LDAA 40H
F928	2626	154	BNE AYUDA ;A=U SI NO.
F92A	9647	155	LDAA 47H
F92C	2637	156	BNE L1W ;COMPARA INDICADOR DE
F92E	9639	157	LDAA 39H
F930	910A	158	CMPL 0AH
F932	2302	159	BLS COMPN
F934	201B	160	BRA ECOM
F936	9638	161	LDAA 38H
F938	4107	162	CMPL 9H
F93A	2302	163	BLS ALTON
F93C	201B	164	BRA ECOM
F93E	8600	165	LDAA #00H
F940	B71800	166	STAA PAD
F947	86A0	167	LDAA #0A0H
F94F	B71800	168	STAA PAD
F950	8655	169	LDAA #55H
F951	B71802	170	STAA PBD
F952	7E0000	171	JMP FIN

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE	
F950	DEFA03		172	4YUDA	JMP	FREN
F953	DF0012		173	ECMA	CLR	012H
F956	9607		174		LDAA	07H
F958	9712		175		STAA	12H
F95A	BDFD30		176		JSR	ARR
F95D	9642		177	MALLAL	LDAA	42H
F95F	973E		178		STAA	0EH
F961	BDFE12		179	LIW	JSP	PDCC
F964	9645		180		LDAA	45H
F966	913F		181	CMFA	3FH	
F968	2B1C		182	BMI	VEL	
F96A	2A0042		183		DEC	42H
F96D	9642		184		LDAA	42H
F96F	8100		185	CMFA	#00H	
F971	0706		186		BEQ	STOPC
F973	E72000		187		STAA	PAT
F976	7EF926		188		JMP	MALLA
F979	8608		189	STOPC	LDAA	#00H
F97B	E72000		190		STAA	PAT
F97E	86FF		191		LDAA	#0FFH
F980	E71802		192		STAA	PBO
F983	7E0000		193		JMP	FIN
F986	BDFE05		194	VEL	JSR	DIUD
F989	9612		195		LDAA	12H
F98B	9106		196		CMFA	06H
F98D	2B4A		197		BMI	DECRE
F98F	9612		198		LDAA	12H
F991	0606		199		LDAB	06H
F993	10		200		SBA	
F994	0C		201		CLC	
F995	49		202		ROLA	
F996	970B		203		STAA	0BH
F998	060E		204		LDAB	0EH
F99A	18		205		ABA	
F99B	970F		206		STAA	0FH
F99D	290A		207		SCS	ACM
F99F	0C		208		CLC	
F9A0	960F		209		LDAA	0FH
F9A2	46		210		RORA	
F9A7	974B		211		STAA	4BH
F9A5	117F		212		CMFA	#7FH
F9A7	2B04		213		BMI	INCRC
F9A9	36FF		214	ACM	LDAA	#0FFH
F9AB	970F		215		STAA	0FH
F9AD	9642		216	INCRC	LDAA	42H
F9AF	0C		217		CLC	
F9B0	46		218		RORA	
F9B1	914B		219	CMFA	4BH	
F9B3	2B0A		220	BMI	INCRC	
F9B5	960F		221		LDAA	0FH
F9B7	9742		222		STAA	42H
F9B9	B72000		223		STAA	PAT
F9BC	7EF926		224	VIC1	JMP	MALLA
F9BF	7C0042		225	INCRC	INC	42H
F9C2	9642		226		LDAA	42H
F9C4	B72000		227		STAA	PAT
F9C7	BDFE26		228		JSR	RETWU

;BPINCA A APPANQUE

;WP-W

LOC-TION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE	
F9C4	BDFF19		229	JSP	PDCD	
F9C0	BDFF0F		230	JSR	DIUD	
F9D1	9612		231	LDAH	12H	
F9D2	4139		232	CMPL	06H	
F9D1	2B26		233	BMI	01C1	
F9D6	7EFAAC		234	JMP	INCR6	
F9D9	9606		235	DECRE	LDHH	6H
F9D3	9612		236	LDHH	12H	
F9DE	19		237	SBH		
F9DE	0C		238	CLC		
F9DF	49		239	ROLH		
F9E0	479C		240	STAA	00H	
F9E2	960E		241	LDAH	0EH	
F9E4	960C		242	LDHB	0CH	
F9E1	1C		243	SBH		
F9E7	251C		244	LCS	HCB	
F9E7	970D		245	STAA	0DH	
F9EB	0C		246	CLC		
F9EC	46		247	RORA		
F9ED	974A		248	STAA	4AH	
F9EF	8100		249	CMPL	#00H	
F9F1	2B12		250	BMI	HCB	
F9F7	9642		251	LDAA	42H	
F9FA	0C		252	CLC		
F9Fa	46		253	RORA		
F9F7	914A		254	CMPL	4AH	
F9F9	2213		255	BMI	DECP1	
F9FB	960D		256	LDAH	0DH	
F9FD	9742		257	STAA	42H	
F9FF	B72000		258	STAA	PAT	
FA02	7EFA26		259	JMP	NALLH	
FA05	9600		260	HCB	LDHH	#00H
FA07	970D		261	STAA	0DH	
FA09	974H		262	STAA	4AH	
FA0B	7EFAF3		263	JMP	DECP2	
FA0E	9A042		264	DECP1	DEC	42H
FA11	9642		265	LDAA	42H	
FA13	871000		266	STAA	PAT	
FA15	BDFF26		267	JSR	RETRH	
FA19	BDFF19		268	JSP	PDCD	
FA1C	BDFF0F		269	JSR	DIUD	
FA1F	9612		270	LDAH	12H	
FA21	4106		271	CMPL	0H	
FA27	1297		272	BMI	01C1	
FA2E	7EFAF7		273	JMP	DECP2	
FA29	7F0042		274	FREN	CLR	42H
FA2B	7F003E		275	CLR	0EH	
FA2E	7F0060		276	CLR	PAT	
FA31	85FF		277	LDAH	#0FFH	
FA25	871000		278	STAA	PAT	
FA26	BDFF26		279	JSR	SPGF	
FA29	43		280	CMPL		
FA2A	B72000		281	STAA	PAT	
FA2D	BDFF19		282	RTU	JSR	PDCD
FA21	9649		283	LDAH	49H	
FA42	413F		284	CMPL	3FH	
FA44	251E		285	BMI	01C1	

LOCATION	OBJECT CODE	LINE	SOURCE LINE
FA46	8610	286	MALLAP LDA# #10H
FA48	4A	287	DECF COMTD
FA49	26FD	288	BNE COMTD
FA4B	BDFE18	289	JSR PDCD
FA4E	964F	290	LDA# 45H
FA50	913F	291	CMP# 7FH
FA52	2BE9	292	BMI RTU
FA54	8630	293	LDA# #00H
FA56	B7C000	294	STAB PAT
FA59	B71930	295	STAB FAD
FA5C	04FB	296	LDAB #0FBH
FA5E	B71902	297	STAB FBD
FA61	7E0000	298	JMP TIN
FA64	BDFE0F	299	JSR D1UD
FA67	3DFE26	300	JSR RETUD
FA6A	960C	301	LDAB 0H
FA6C	9108	302	CMP# 8H
FA6E	2502	303	BLS UP#
FA70	20D4	304	BFA MALLAR
FA72	BDFE18	305	JSR PDCD
FA75	86FF	306	LDA# #0FFH
FA77	B72002	307	STAB PBT
FA7A	4F	308	CLRA
FA7B	9646	309	LDA# 46H
FA7D	7C0042	310	INC 42H
FA80	D442	311	LDAB 42H
FA82	572000	312	STAB PAT
FA85	9142	313	CMP# 42H
FA87	26F4	314	BNE URF
FA89	7F0012	315	CLR 12H
FA8C	7F0040	316	CLR 40H
FA8F	9608	317	LDA# 8H
FA91	9712	318	STAB 12H
FA93	86E1	319	LDA# #0E1H
FA95	B72801	320	STAB 2801H
FA98	9637	321	LDA# 37H
FA9A	B72804	322	STAB 2804H
FA9D	9636	323	LDAB 36H
FA9F	B7190F	324	STAB 280FH
FHA1	8600	325	LDA# #00H
FHA4	E72900	326	STAB 2800H
FHA7	BDFD30	327	JSR HRP
FHA9	7E990C	328	JMP MALLA1
		329	OR# 3FB00H
FB00	B61801	330	LDAB 1801H
FB03	8480	331	ANDA #080H
FB05	8180	332	CMP# #80H
FB07	2715	333	BEQ PRGSU
FB09	E62801	334	LDA# 2801H
FB0C	8401	335	AND# #01H
FB0E	9101	336	CMP# #01H
FB10	270C	337	BEQ PRD
FB12	B62301	338	LDAB 2801H
FB15	8402	339	ANDA #02H
FB17	8102	340	CMP# #02H
FB19	2706	341	BEQ PAT
FB1B	7E99F3	342	JMP PRFSC

:PRIORIDAD DE INTERU-
:PIA "1"

:TIMER "1".

:TIMER "2"

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE
FB1E	7EFB72	343	PPD	JMP	PROGD
FB21	7EFB83	344	PRT	JMP	PROGTT
FB24	8:1900	345	PROGU	LDA	PAD
FB27	340F	346		AND	#0FH
FB29	9706	347		STAA	05H
FB2B	910A	348		CHPA	#0AH
FB2D	270E	349		BEO	SALTA
FB2F	D611	350		LDAB	11H
FB31	C103	351		CHPB	#03H
FB33	2709	352		BEO	FD
FB35	C102	353		CHPB	#02H
FB37	271B	354		BEO	SD
FB39	C101	355		CHPB	#01H
FB3E	173A	356		BEO	TD
FB3D	3E	357	SALTA	RTI	
FB3E	9715	358	PD	STAA	15H
FB40	9717	359		STAA	17H
FB42	7F1900	360		CLR	PAD
FB45	43	361		COMA	
FB46	B71902	362		STAA	PBD
FB49	7F0016	363		CLR	16H
FB4C	7F0018	364		CLR	18H
FB4F	7A0011	365		DEC	11H
FB52	206D	366		BR	RETUR
FB54	D615	367	SD	LDAB	15H
FB56	0C	368		CLC	
FB57	59	369		ROLB	
FB58	D717	370		STAB	17H
FB5A	59	371		ROLB	
FB5B	59	372		ROLB	
FB5C	D718	373		STAB	18H
FB5E	DB17	374		ADDB	17H
FB60	1B	375		ABA	
FB61	9717	376		STAA	17H
FB63	D618	377		LDAB	18H
FB65	0C	378		CLC	
FB66	59	379		ROLB	
FB67	DB05	380		ADDB	05H
FB69	D715	381		STAB	15H
FB6D	57	382		CHPB	
FB6C	7F1902	383		STAB	PBD
FB6F	7A0111	384		DEC	11H
FB72	7F0018	385		CLR	18H
FB75	184A	386		BR	RETUR
FB77	9716	387	TD	STAA	16H
FB79	9617	388		LDA	17H
FB7B	55	389		CLPB	
FB7C	49	390		ROLA	
FB7D	59	391		ROLB	
FB7E	9717	392		STAA	17H
FB80	D718	393		STAB	18H
FB82	49	394		ROLA	
FB83	59	395		ROLB	
FB84	49	396		ROLA	
FB85	59	397		ROLB	
FB86	0C	398		CLC	
FB8D	6917	399		ADCA	17H

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE		
F889	D918		400	HDCB	18H	;X10.	
F88B	9717		401	STAA	17H	;Y ALMACENADO EN 17	
F88D	D718		402	STAB	18H	;Y 18H.	
F89F	7F0014		403	CLR	16F		
F892	790015		404	ROL	15H	;LOS 2 DIGIT. EN 15H.	
F895	790016		405	ROL	16H	;SE ROTAN 4 VECES	
F898	790015		406	ROL	15H	;HACIA 16H.	
F89B	790016		407	ROL	16H		
F89E	790015		408	ROL	15H		
FBA1	790016		409	ROL	16H		
FBA4	790015		410	ROL	15H		
FBA7	790016		411	ROL	16H		
FBAA	9615		412	LDA#	15H		
FBAC	9805		413	ADD#	05H	;SE SUMA 70. DIGITO	
FBAE	9715		414	STAA	15H	;P0B. UNIOS. Y DECENS.	
FBB0	D616		415	LDAB	16H	;EN B DEJA 30. DIG.	
FBB2	43		416	COM#			
FBB3	0C		417	CLC			
FBB4	59		418	ROLB			
FBB5	59		419	POLE		;EL 30. DIG. EN B SE	
FBB6	59		420	ROLB		;ROTA P/OCUPAR LUGAR	
FBB7	59		421	ROLB		;MAS SIGNIFICATIVO.	
FBB8	F71800		422	STAB	PAD	;SAL -4 DISPLAY H & D	
FBBB	B71802		423	STAA	PBD		
FBBE	7A0011		424	DEC	11H		
FBC1	3B		425	RETUR		;REGRESO DE INTERRUPT	
FBC2	8601		426	PROGD	LDAA	#01H	;CAMBIA PARAMETROS
FBC4	9740		427		STAA	40H	
FBC6	9743		428		STAA	43H	;A=1, J=1, T=1.
FBC8	8601		429		LDA#	#01H	;PASO DE "LOOP" A
FBCA	B72801		430		STAA	2801H	; " FRENADO "
FBCD	8601		431		LDAA	#01H	;RESET DE TIMER
FBCF	B72800		432		STAA	2800H	;NUM. 1.
FBD2	3B		433		RTI		
FBD3	7F0043		434	PROGT	CLP	43H	;CAMBIA PARAMETROS
FBD6	7F0047		435		CLR	47H	
FBD9	7C0009		436		INC	09H	
FBD1	3600		437		LDA#	#03H	
FBD5	9109		438		CP#	09H	
FBE0	2703		439		BEQ	UP	
FBE2	7EFEE5		440		JMP	TT	
FBE5	7C000A		441	UP	INC	0AH	
FBE8	8601		442	TT	LDA#	#01H	;PASO DE "FRENADO"
FBEA	B72801		443		STAA	2801H	;A " LOOP "
FBED	8601		444		LDA#	#01H	;RESET DE TIMER
FBEF	B72800		445		STAA	2800H	;NUM. 2.
FBF2	3B		446		RTI		
FBF3	B61800		447	PROGC	LDA#	PAD	;ES #1 LEE NPROGRAMA
FBF6	840F		448		ANDA	#0FH	;MADA.
FBF8	8101		449		CMP#	#01H	
FBFA	2732		450		BEQ	NPROG	
FBFC	9102		451		CMP#	#02H	;ES #2 LEE NREAL.
FBFE	2719		452		BEQ	NREA	
FC00	8103		453		CMP#	#03H	;ES #3 LEE VELOC.
FC02	2718		454		BEQ	BMAX	;MAX. PROGRAMADA.
FC04	8104		455		CMP#	#04H	;ES #4 LEE VELOC.
FC06	2717		456		BEQ	BMIN	;MIN. PROGRAMADA.

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE
FC08	8105	457		CMPA	#05H ;E5 #5 LEE VELOC.
FC0A	2716	459		BEO	UREA ;REAL PROGRAMADA.
FC0C	8106	459		CMPA	#06H ;E5 #06 LEE TIEMPO
FC0E	2717	460		BEO	TUPA ;#1 PROGRAMADO.
FC10	8107	461		CMPA	#07H ;E5 #7 LEE TIEMPO
FC12	2714	462		BEO	TOPA ;#2 PROGRAMADO.
FC14	8108	463		CMPA	#08H ;E5 #8 LEE GRADO DE
FC16	2713	464		BEO	FRENA ;FRENO APLICADO.
FC18	3B	465	SOP	PTI	;FRENO INTERRUPTO
FC19	7EFC3F	466	NREH	JMP	NREAL
FC1C	7EFC4C	467	BNAX	JMP	UNAXP
FC1F	7EFCBD	468	BMIN	JMP	UMINP
FC22	7EFCCE	469	UREA	JMP	UREAL
FC25	7EFCCE7	470	TUPA	JMP	TUP
FC28	7EFCF3	471	TOPA	JMP	TOP
FC2B	7EFD09	472	FRENA	JMP	FRENF
FC2E	9629	473	NPPDG	LDAA	29H
FC30	BDFCA7	474		JSR	CANBIO
FC33	67180C	475		STAA	PHD
FC36	9628	476		LDAA	28H
FC38	43	477		COMA	
FC39	B71802	478		STAA	PBC
FC3C	7EFC12	479		JMP	SOP
FC3F	7F0050	480	NREHL	CLP	50H
FC42	7F0051	481		CLR	51H
FC45	7F0052	482		CLR	52H
FC48	7F0053	483		CLR	53H
FC4B	7F0054	484		CLR	54H
FC4E	7F0055	485		CLR	55H
FC51	0C	486		CLC	
FC52	9609	487		LDAA	09H
FC54	9754	488		STAA	54H
FC56	960A	489		LDAA	0AH
FC59	9755	490		STAA	55H
FC5A	DE9010	491		LDX	#16
FC5D	4F	492	ENP	CLRA	
FC5E	730054	493		ASL	54H
FC61	79C055	494		ROL	55H
FC64	8950	495		ADCA	#00H
FC66	9850	496		ADDA	50H
FC68	19	497		DAA	
FC69	2892	498		JCS	TAC
FC6B	210C	499		BPA	REGRESO
FC6D	3782	500	THC	STAA	82H
FC6F	4F	501		CLRA	
FC70	0D	502		SEC	
FC71	3900	503		ADCA	#00H
FC73	9851	504		ADDA	51H
FC75	19	505		DAA	
FC76	9753	506		STAA	53H
FC78	965C	507		LDAA	52H
FC7A	9850	508	REGRESO	ADDA	50H
FC7C	19	509		DAA	
FC7D	9750	510		STAA	50H
FC7F	2802	511		BCC	LAC
FC81	2003	512		BPA	LUAR
FC83	4F	513	LAC	CLRA	

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE
FCB4	0D		514	SEC	
FCB5	8900		515	ADCA	#00H
FCB7	9B53		516	ADDA	53H
FCB9	9B51		517	ADDA	51H
FCBB	19		518	DAA	
FCBC	9751		519	STAA	51H
FCBE	09		520	LUAR	DEX
FCBF	8C0000		521	CPX	#00H
FC92	2702		522	BED	CAM
FC94	20C7		523	BRA	EMP
FC96	9650		524	CAM	LDAA
FC98	43		525	COMA	
FC99	B71802		526	STAA	PBD
FC9C	9651		527	LDAA	51H
FC9E	BDFCA7		528	JSR	CAMBIO
FCA1	B71800		529	STAA	PAD
FC44	7EFC18		530	JMP	SOP
FC47	48		531	CAMBIO	ASLA
FC48	49		532	ASLA	
FC49	48		533	ASLA	
FC4A	48		534	ASLA	
FC4B	39		535	RTS	
FC4C	9621		536	UNAXP	LDAA
FC4E	BDFCA7		537	JSR	CAMBIO
FCB1	B71800		538	STAA	PAD
FCB4	9620		539	LDAA	20H
FCB6	43		540	COMA	
FCB7	B71802		541	STAA	PBD
FCBA	7EFC18		542	JMP	SOP
FCBC	9623		543	UM:NP	LDAA
FCBF	BDFCA7		544	JSR	CAMBIO
FCC2	B71800		545	STAA	PAD
FCC5	9622		546	LDAA	22H
FCC7	43		547	COMA	
FCC8	B71802		548	STAA	PBD
FCCB	7EFC18		549	JMP	SOP
FCC2	7F002C		550	UREAL	CLP
FCDD	C693		551	LDAB	#03H
FCDF	964E		552	LDAA	46H
FC05	10		553	TRS	SBA
FC06	2709		554	BCS	RETTO
FC0E	8100		555	CMPL	#00H
FCDA	2705		556	BED	PETTO
FCDC	7C002C		557	INC	02CH
FDCF	20F4		558	BRA	TRS
FCE1	BDFD17		559	RETTO	JSP
FCE4	7EFC19		560	JMP	SOP
FCE7	9625		561	TUP	LDAA
FCE9	BDFCA7		562	JSR	CAMBIO
FCEC	B71800		563	STAA	PAD
FCEF	9624		564	LDAA	24H
FCF1	43		565	COMA	
FCF2	B71802		566	STAA	PBD
FCF5	7EFC18		567	JMP	SOP
FCF8	9627		568	TOP	LDAA
FCFA	BDFCA7		569	JSR	CAMBIO
FCFD	B71800		570	STAA	PAD

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE	
FD00	9626		571	LDA	26H	
FD02	43		572	COMA		
FD03	B71802		573	STAA	PBD	
FD06	7EFC18		574	JMP	GOP	
FD09	8600		575	FRENF	LDA	#00H
FD0B	B71800		576	STAA	PAD	
FD0E	962A		577	LDA	2AH	
FD10	43		578	COMA		
FD11	B71802		579	STAA	PBD	
FD14	7EFC18		580	JMP	30P	
FD17	7F002D		581	CHO	CLP	2DH
FD1A	7F002E		582		CLP	2EH
FD1D	962C		583	LDA	2CH	
FD1F	974F		584	STAA	4FH	
FD21	C606		585	LDA	#08H	
FD23	4F		586	RET	CLRA	
FD24	78004F		587	ASL	4FH	
FD27	8700		588	ADCH	#00H	
FD29	9B2E		589	ADDA	2EH	
FD2B	19		590	DAA		
FD2C	2505		591	BCS	PON	
FD2E	9B2E		592	ADDA	2EH	
FD30	19		593	DAA		
FD31	2004		594	BRA	SUM	
FD33	9B2E		595	PON	ADDA	2EH
FD35	19		596	DAA		
FD36	0D		597	SEC		
FD37	972E		598	SUM	STAA	2EH
FD39	5A		599	DECB		
FD3A	26E7		600	BNE	RET	
FD3C	962E		601	LDA	2EH	
FD3E	43		602	COMA		
FD3F	B71802		603	STAA	PBD	
FD42	8600		604	LDA	#00H	
FD44	B71800		605	STAA	PAD	
FD47	39		606	RTS		
			607	ORG	0FF00H	
FF30	B61003		608	PINI	LDA	PAU
FF03	47		609	COMA		
FF04	974B		610	STAA	45H	
FF05	B61002		611		LDA	PEU
FF09	47		612	COMA		
FF0A	9746		613	STAA	46H	
FF0C	3E		614	RTI		
			615	ORG	0FD80H	
FD80	BDFE18		616	ARP	JSR	PDCD
FD83	963F		617	LDA	3FH	
FD85	9145		618	CMPA	45H	
FD87	232F		619		EM1	DEJUV
FD89	BDFE35		620	JSR	DIVD	
FD8C	961C		621	LDA	12H	
FD8E	9106		622	CMPA	06H	
FD90	2350		623	BLS	SR	
FD92	7C0042		624	INC	42H	
FD95	9642		625	LDA	42H	
FD97	B72004		626	STAA	PAT	
FD9A	860F		627	LDA	#15	

:LEE ! 2 W.
:COMPARA : CON IP.
:1-1P.

:W/2 - WP/2.

:INCREMENTA U.

LOCATION	OBJECT CODE	LINE	SOURCE LINE	
FD9C	9748	628	STAA	48H
FD9E	963C	629	LDAA	03CH
FDA0	C6A5	630	OM	
FDA2	5A	631	OMR	
FDA3	26FD	632	BNE	OMR
FDA5	4A	633	DECA	
FDA6	26F8	634	BNE	OM
FDA9	BDFE18	635	JSR	PDCD
FDA8	963F	636	LDAA	3FH
FDA9	9145	637	CMPA	45H
FDAF	2B1C	638	SMI	DECUO
FDB1	7A0048	639	DEC	48H
FDB4	26E8	640	BNE	OM5
FDB6	20C8	641	BRA	ARR
FDB8	7A0042	642	DEC	42H
FDBB	9642	643	LDAA	42H
FDBD	B72000	644	STAA	PAT
FDC0	26BE	645	BNE	ARR
FDC2	B71800	646	STAA	PAD
FDC5	86FE	647	LDAA	00FEH
FDC7	B71802	648	STAA	PBD
FDCA	7E0000	649	JMP	FIN
FDCD	7A0042	650	DEC	42H
FDD0	9642	651	LDAA	42H
FDD2	B72000	652	STAA	PAT
FDD5	26D1	653	BNE	1W
FDD7	B71800	654	STAA	PAD
FDDA	86FC	655	LDAA	00FCH
FDDC	B71802	656	STAA	PBD
FDDF	7E0000	657	JMP	FIN
FDE2	9643	658	LDAA	43H
FDE4	261E	659	BNE	TUM
FDE6	7C0047	660	INC	47H
FDE9	BDFE05	661	JSR	DIUD
FDEC	9607	662	LDAA	07H
FDEE	971C	663	STAA	12H
FDF0	8601	664	LDAA	001H
FDF2	E72001	665	STAA	2801H
FDF5	86E0	666	LDAA	00E0H
FDF7	E72000	667	STAA	2800H
FDFH	9635	668	LDAA	35H
FDFC	B72802	669	STAA	2802H
FDFE	9634	670	LDAA	34H
FE01	B72803	671	STAA	2803H
FE04	39	672	TUM	
FE0F	9646	673	LDAA	46H
FE07	0C	674	CLC	
FE08	46	675	RORA	
FE09	9706	676	STAA	06H
FE0E	9630	677	LDAA	30H
FE0D	0C	678	CLC	
FE0E	46	679	RORA	
FE0F	9707	680	STAA	07H
FE11	9632	681	LDAA	32H
FE13	0C	682	CLC	
FE14	46	683	RORA	
FE15	9708	684	STAA	08H

;MALLA RETARDO 8ms.

;COMPARA 1-1P EN
;MALLA DE 8ms.;DECREM. CONTADOR MR
;COMP. C/"CERO",MALLA;DECREM. Ur EN MALLA
;DE 8ms. Y SACA X
;PAT, CUANDO Ur=0;DECREM. Ur, SACALO
;POR PAT CUANDO Ur=0.
;PARA Y PRESENTA EN

;HAZ Z=1.

;SUBRRUTINA DE DIV.
;ENTRE 2 DE VELOCI-
;DADES.

;REGRESA DE DONDE LO

LOCATION	OBJECT	CODE	LINE	SOURCE	LINE
FE17	39		685	PTS	
FE18	8e3f		686	PDCO	LDAA #3FH
FE19	E71091		687		STAA CAU
FE1E	8e3f		688		LDAA #17H
FE1F	E71091		689		STAA CAU
FE22	0E		690		CLI
FE23	7E		691		WAI
FE24	0F		692		SEI
FE2F	39		693		RTS
FE21	8e0f		694	FETHU	LDAA #15
FE29	C9H5		695	TH	LDAB #165 ;MALLA RETRASO 6 mseg.
FE2H	5H		696	THR	DECB
FE2B	2e70		697		BNE THR
FE2D	4A		698		DECA
FE2E	2eF9		699		BNE TH
FE30	79		700		RTS
FE31	9e3H		701	SPGF	LDAA 3AH
FE33	8101		702		CMPA #1H
FE3F	2718		703		BEQ RSGF1
FE37	3102		704		CMPA #2H
FE39	2714		705		BEQ RSGF1
FE3B	8107		706		CMPA #3H
FE3D	2711		707		BEQ RSGF2
FE3F	8104		708		CMPA #4H
FE41	2712		709		BEQ RSGF3
FE43	8105		710		CMPA #5H
FE45	2713		711		BEQ RSGF4
FE47	8106		712		CMPA #6H
FE49	2714		713		BEQ RSGF5
FE4B	3107		714		CMPA #7H
FE4D	2715		715		BEQ RSGF6
FE4F	39		716	PSGF1	RTS
FE50	8e04		717	RSGF2	LDAA #4H
FE52	7EFE4F		718		JMP RSGF1
FE5F	8e08		719	RSGF3	LDAA #8H
FE57	7EFE4F		720		JMP RSGF1
FE5A	3e19		721	RSGF4	LDAA #10H
FE5C	7EFE4F		722		JMP RSGF1
FE5F	8e20		723	PSGF5	LDAA #20H
FE61	7EFE4F		724		JMP RSGF1
FE64	8e40		725	PSGF6	LDAA #40H
FE66	7EFE4F		726		JMP RSGF1
FF53	FE00		727		ORG OFFFBH
			728	FDB	0FB00H ;VECTOR DE INT. IRO.
			729	ORG	OFFFCB
FFFC	FF00		730	FDB	0FF00H ;VECTOR DE INT. NMI.
			731	ORG	OFFFEH
FFFE	FE00		732	FDB	0F800H ;RESET.
0000	01		733	FIN	NOP
			734		END

ANEXO 2

En este anexo se muestran gráficas de las armónicas presentes en las terminales del motor en plena operación, así como también gráficas de las formas de onda de la fuente que alimenta al motor, en plena operación.

GRAFICA A.- Armónicas presentes a 15 km/h simulados.

GRAFICA B.- Formas de onda a 15 km/h simulados.

GRAFICA C.- Armónicas presentes a 30 km/h simulados.

GRAFICA D.- Formas de onda a 30 km/h simulados.

GRAFICA E.- Armónicas presentes en el arranque de 45 km/h simulados.

GRAFICA F.- Formas de onda en el arranque de 45 km/h simulados.

GRAFICA G.- Armónicas presentes a 45 km/h simulados.

GRAFICA H.- Formas de onda a 45 km/h simulados.

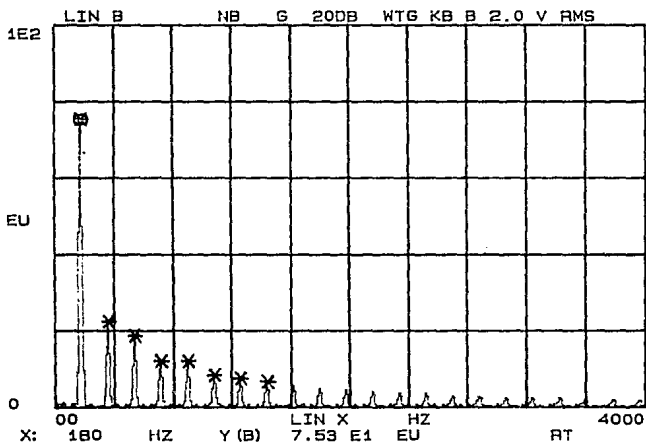
GRAFICA I.- Armónicas presentes a 60 km/h simulados.

GRAFICA J.- Formas de onda a 60 km/h simulados.



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

161



1. SPECT A & B

ID 00000

1 X:	180	HZ	Y (B)	7.53	E1	EU	RT
2 X:	360	HZ	Y (B)	2.23	E1	EU	RT
3 X:	540	HZ	Y (B)	1.88	E1	EU	RT
4 X:	720	HZ	Y (B)	1.22	E1	EU	RT
5 X:	900	HZ	Y (B)	1.19	E1	EU	RT
6 X:	1080	HZ	Y (B)	8.53		EU	RT
7 X:	1280	HZ	Y (B)	7.85		EU	RT
8 X:	1440	HZ	Y (B)	6.54		EU	RT

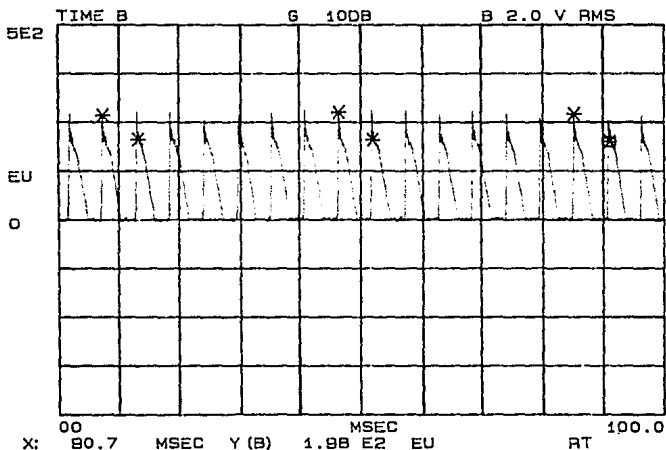
GRAFICA A

V=EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

162



1. TIME A & B

ID 00000

1 X:	7.3	MSEC	Y (B)	2.88	E2	EU	RT
2 X:	13.1	MSEC	Y (B)	2.08	E2	EU	RT
3 X:	46.2	MSEC	Y (B)	2.76	E2	EU	RT
4 X:	51.8	MSEC	Y (B)	2.08	E2	EU	RT
5 X:	85.0	MSEC	Y (B)	2.72	E2	EU	RT
6 X:	80.7	MSEC	Y (B)	1.88	E2	EU	RT
7							
8							

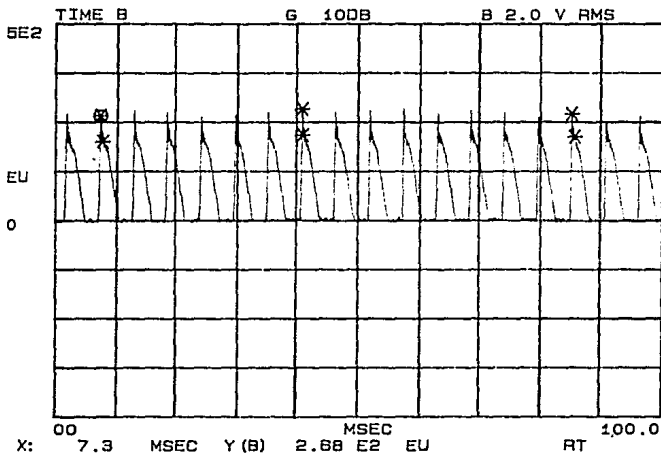
GRAFICA B

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

163



1. TIME A & B

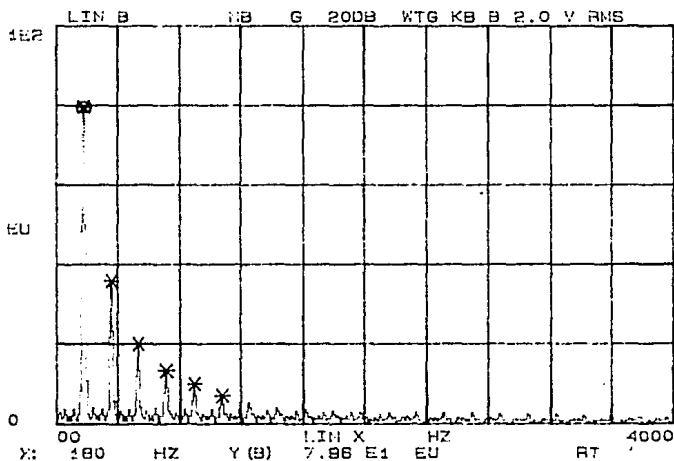
ID 00000

1 X:	7.3	MSEC	Y (B)	2.68	E2	EU	RT
2 X:	7.7	MSEC	Y (B)	1.88	E2	EU	RT
3 X:	40.6	MSEC	Y (B)	2.82	E2	EU	RT
4 X:	40.7	MSEC	Y (B)	2.18	E2	EU	RT
5 X:	85.0	MSEC	Y (B)	2.72	E2	EU	RT
6 X:	85.5	MSEC	Y (B)	2.10	E2	EU	RT
7							
8							

V = EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



1. SPECT A S B

ID 00000

1 X:	180	HZ	Y (B)	7.86 E1	EU	RT
2 X:	360	HZ	Y (B)	3.58 E1	EU	RT
3 X:	540	HZ	Y (B)	2.01 E1	EU	RT
4 X:	720	HZ	Y (B)	1.34 E1	EU	RT
5 X:	800	HZ	Y (B)	8.86	EU	RT
6 X:	1080	HZ	Y (B)	7.25	EU	RT
7						
8						

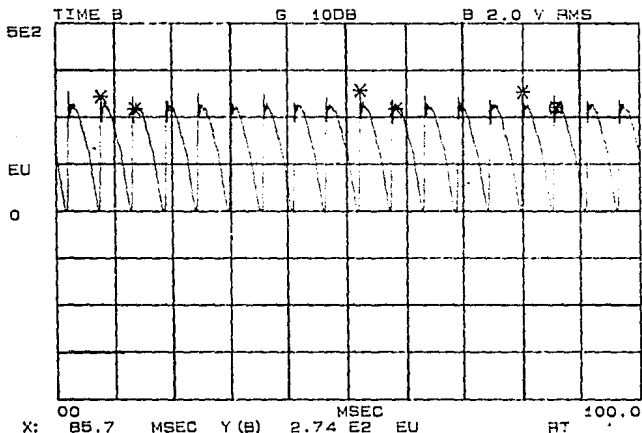
GRAFICA C

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

165



1. TIME A & B

ID C0000

1 X:	7.6	MSEC	Y (B)	3.05 E2	EU	RT
2 X:	13.5	MSEC	Y (B)	2.72 E2	EU	RT
3 X:	52.2	MSEC	Y (B)	3.18 E2	EU	RT
4 X:	58.2	MSEC	Y (B)	2.70 E2	EU	RT
5 X:	78.8	MSEC	Y (B)	3.18 E2	EU	RT
6 X:	85.7	MSEC	Y (B)	2.74 E2	EU	RT
7						
8						

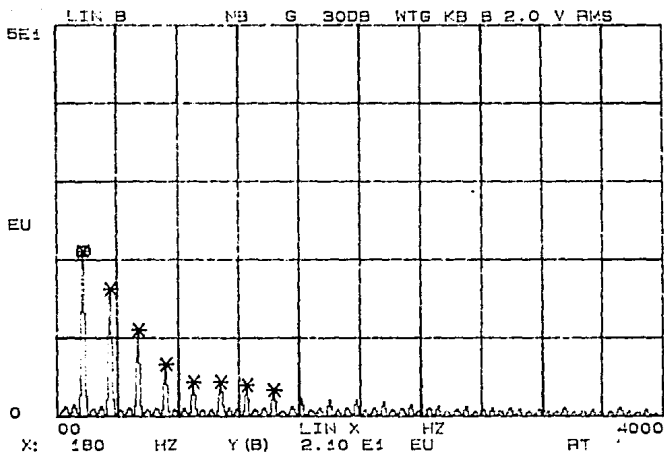
GRAFICA D

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

166



1. SPECT A & B

ID 00000

1 X:	180	HZ	Y (B)	2.10	E1	EU	RT
2 X:	360	HZ	Y (B)	1.83	E1	EU	RT
3 X:	540	HZ	Y (B)	1.10	E1	EU	RT
4 X:	720	HZ	Y (B)	6.68		EU	RT
5 X:	900	HZ	Y (B)	4.35		EU	RT
6 X:	1080	HZ	Y (B)	4.30		EU	RT
7 X:	1260	HZ	Y (B)	3.87		EU	RT
8 X:	1440	HZ	Y (B)	3.38		EU	RT

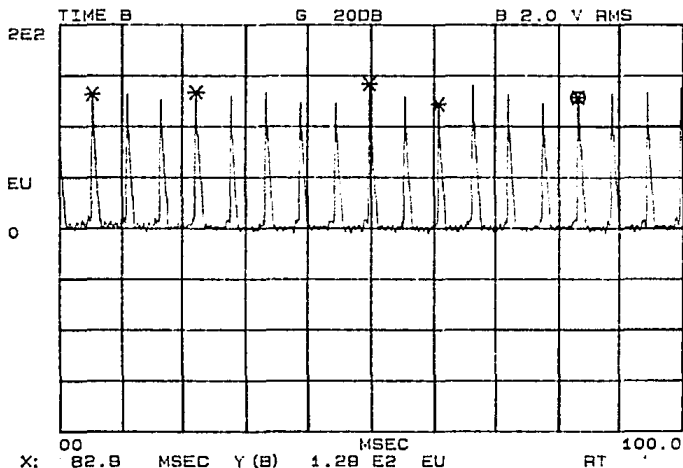
GRAFICA E

V- EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

167



1. TIME A & B

ID 00000

1 X:	5.2	MSEC	Y (B)	1.31	E2	EU	RT
2 X:	21.8	MSEC	Y (B)	1.34	E2	EU	RT
3 X:	48.5	MSEC	Y (B)	1.41	E2	EU	RT
4 X:	60.8	MSEC	Y (B)	1.21	E2	EU	RT
5 X:	82.8	MSEC	Y (B)	1.28	E2	EU	RT

6

7

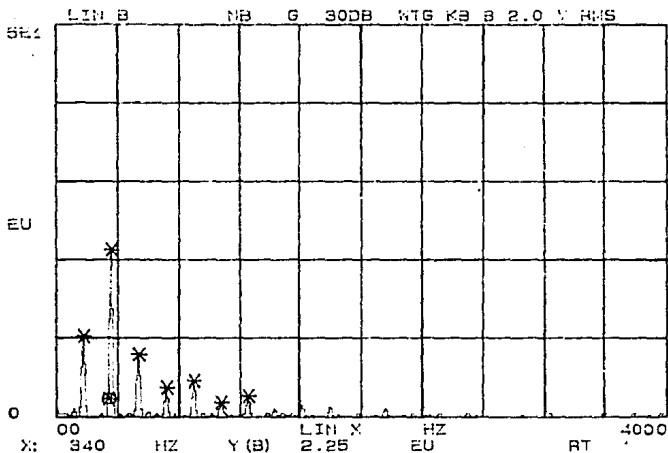
8

GRAFICA F

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



1. SPECT A & B

ID 00000

1 X:	180	HZ	Y (B)	1.03	E1	EU	RT
2 X:	360	HZ	Y (B)	2.11	E1	EU	RT
3 X:	540	HZ	Y (B)	7.79		EU	RT
4 X:	720	HZ	Y (B)	3.65		EU	RT
5 X:	800	HZ	Y (B)	4.60		EU	RT
6 X:	1080	HZ	Y (B)	1.80		EU	RT
7 X:	1260	HZ	Y (B)	2.63		EU	RT

B

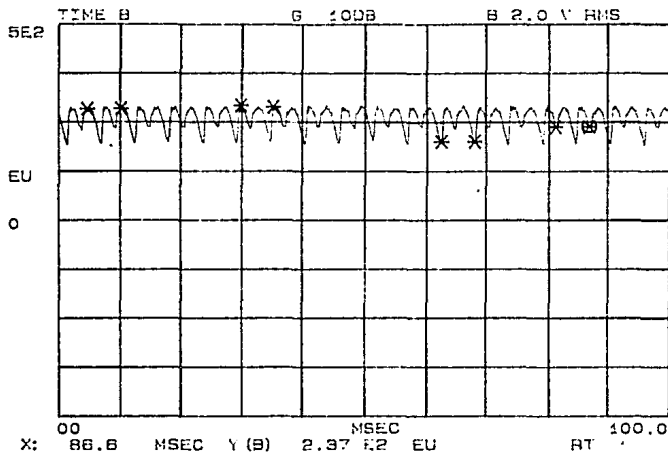
GRAFICA G

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

169



1. TIME A B B

ID 00000

1 X:	4.6	MSEC	Y (B)	2.82	E2	EU	RT
2 X:	10.2	MSEC	Y (B)	2.81	E2	EU	RT
3 X:	29.8	MSEC	Y (B)	2.88	E2	EU	RT
4 X:	35.1	MSEC	Y (B)	2.86	E2	EU	RT
5 X:	52.3	MSEC	Y (B)	1.98	E2	EU	RT
6 X:	67.8	MSEC	Y (B)	2.01	E2	EU	RT
7 X:	81.1	MSEC	Y (B)	2.37	E2	EU	RT
8 X:	86.6	MSEC	Y (B)	2.37	E2	EU	RT

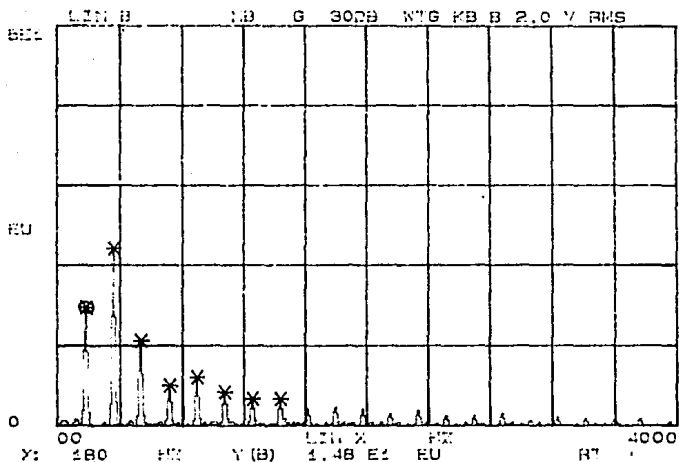
GRAFICA H

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

170



2. SPECT A & B

ID 00000

1 X:	180	Hz	Y (B)	1.48	E1	EU	RT
2 X:	360	Hz	Y (B)	2.20	E1	EU	RT
3 X:	540	Hz	Y (B)	1.07	E1	EU	RT
4 X:	720	Hz	Y (B)	1.80		EU	RT
5 X:	900	Hz	Y (B)	5.88		EU	RT
6 X:	1080	Hz	Y (B)	4.21		EU	RT
7 X:	1260	Hz	Y (B)	3.28		EU	RT
8 X:	1440	Hz	Y (B)	3.42		EU	RT

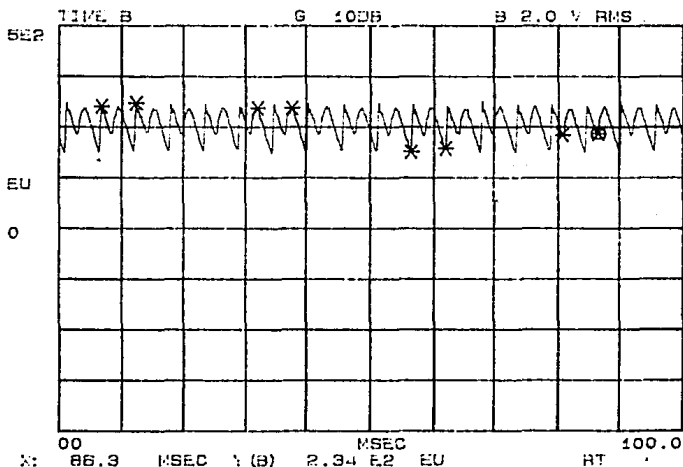
GRAFICA I

V= EU



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

171



1. TIME A & B

ID 00000

1 X:	6.8	MSEC	Y (B)	3.01	E2	EU	RT
2 X:	12.2	MSEC	Y (B)	3.07	E2	EU	RT
3 X:	31.9	MSEC	Y (B)	2.94	E2	EU	RT
4 X:	37.4	MSEC	Y (B)	2.94	E2	EU	RT
5 X:	56.5	MSEC	Y (B)	1.89	E2	EU	RT
6 X:	62.9	MSEC	Y (B)	1.94	E2	EU	RT
7 X:	80.6	MSEC	Y (B)	2.31	E2	EU	RT
8 X:	86.3	MSEC	Y (B)	2.34	E2	EU	RT

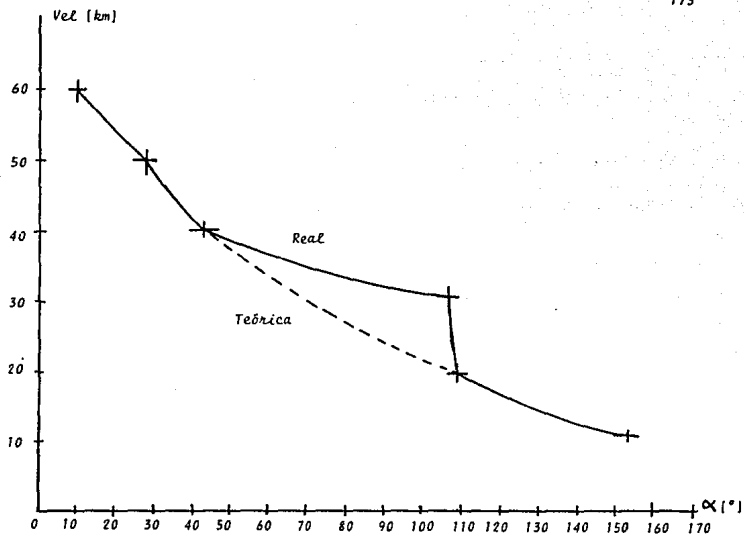
GRAFICA J

V= EU

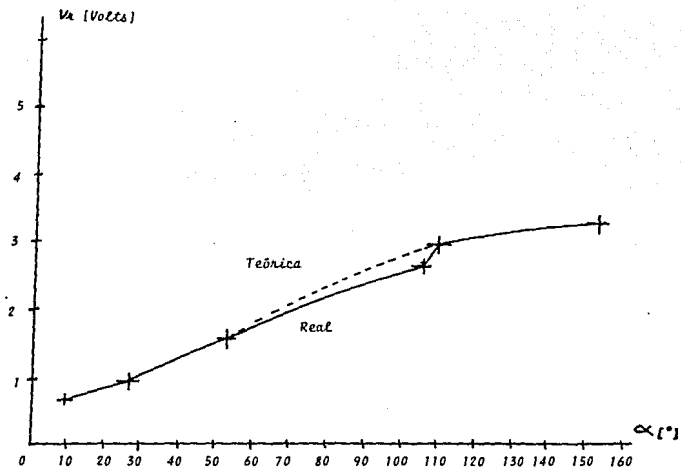
ANEXO 3

A continuación se observan las gráficas del ángulo de disparo con respecto a la velocidad y voltaje de referencia obtenidos con registros a diferentes velocidades periféricas del motor de corriente directa.

El ángulo de disparo se obtuvo tomando los disparos en los SCR's en las terminales Gate-Cátodo.

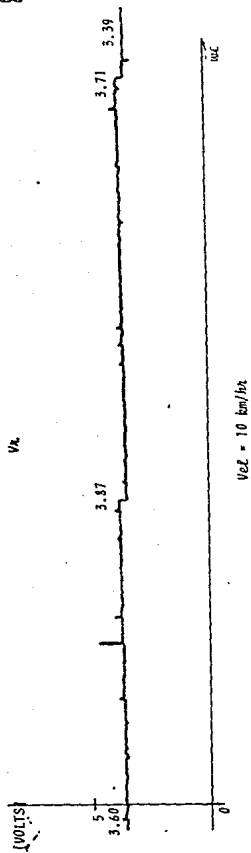
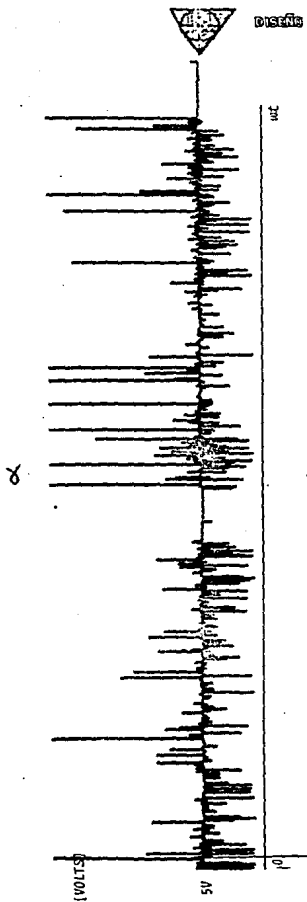


Vel	α
10	153
20	109
30	105
40	53
50	27
60	9



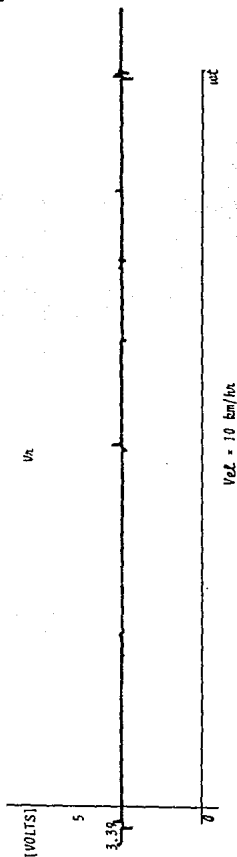
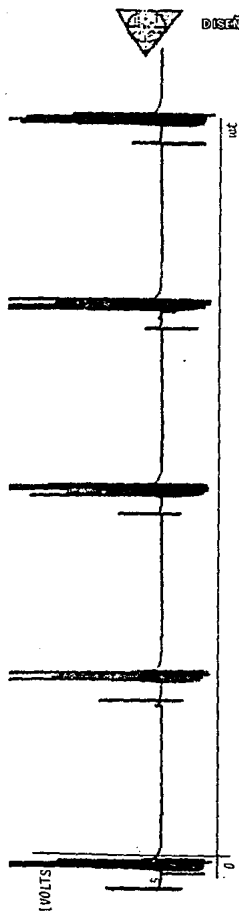
V_r	α
3.39	153
3.01	109
2.69	105
1.58	53
0.95	27
0.65	9

DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



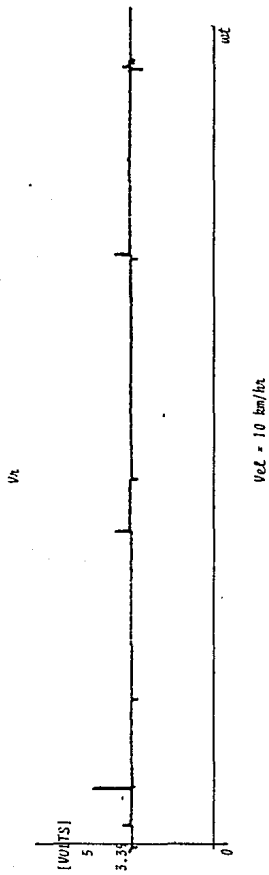
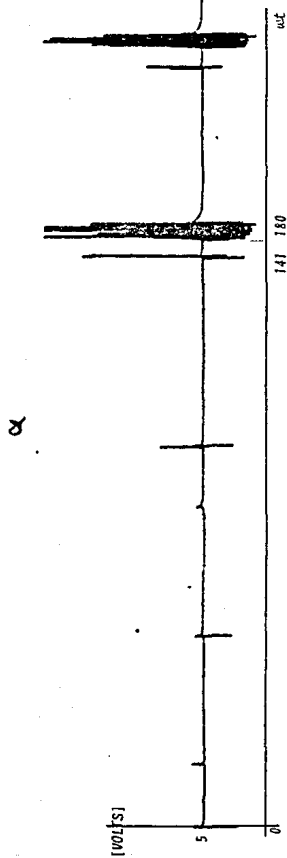
DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENO

$$\alpha = 15.3^\circ$$



Vel. = 10 km/hc

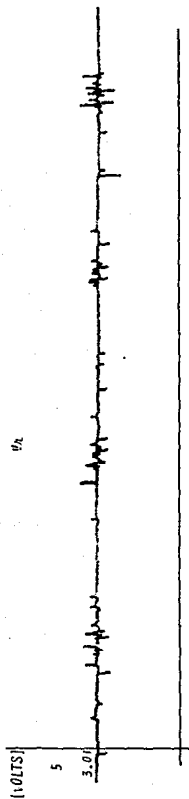
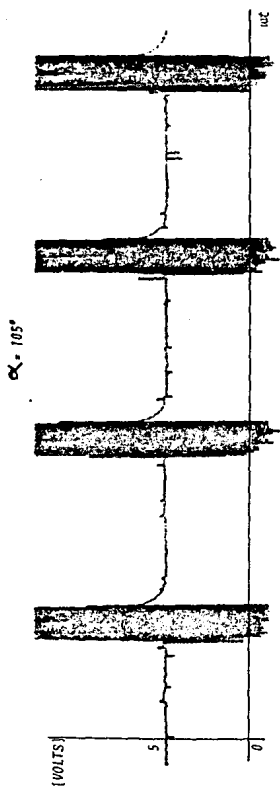
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE PUNTADE





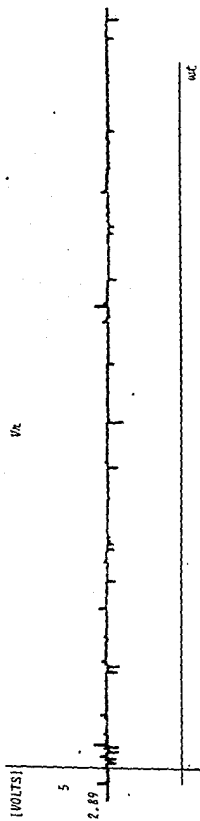
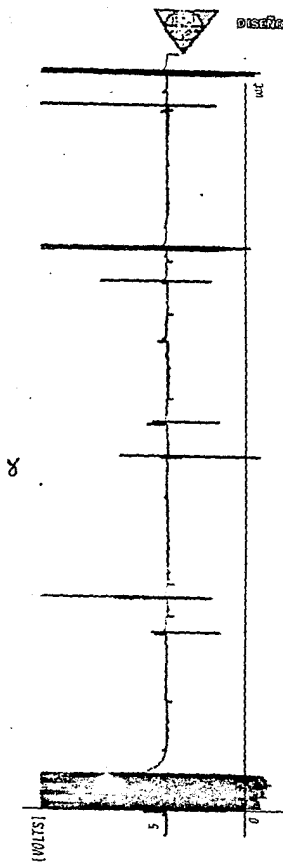
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PUMERAS DE FRENADO

178




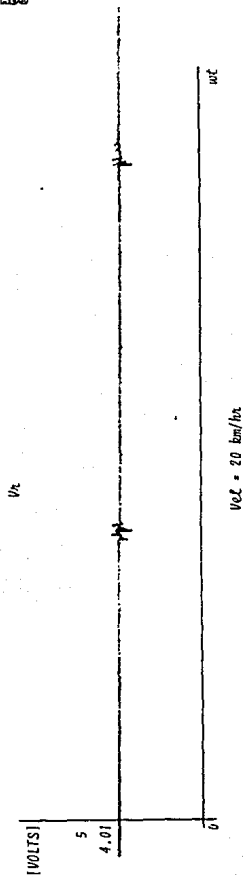
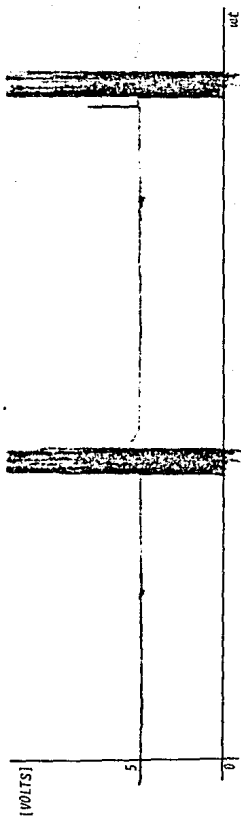
Vel = 20 km/h

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



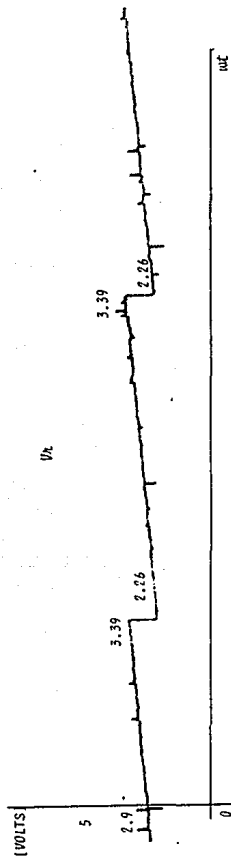
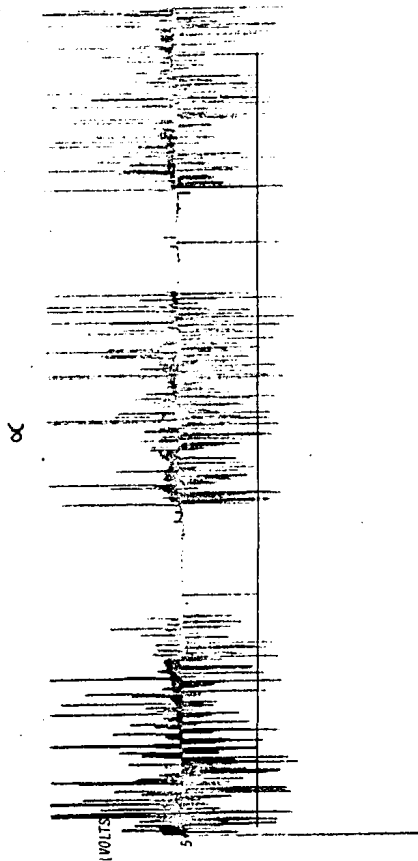
$V_{0.2} = 20 \text{ km/hr}$


**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO**

 $\alpha = 152^\circ$




DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



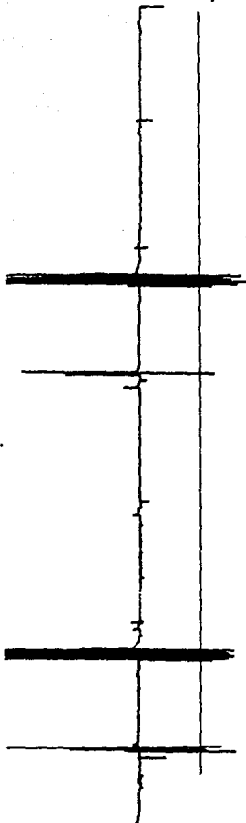
Vel = 20 km/h



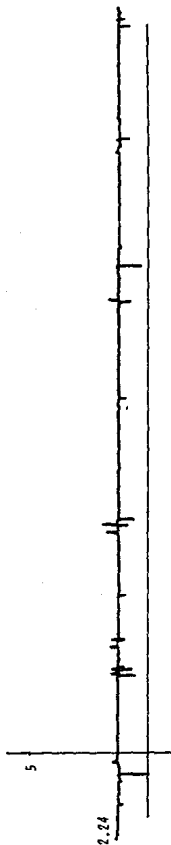
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENO

182


$\alpha = 166^\circ$

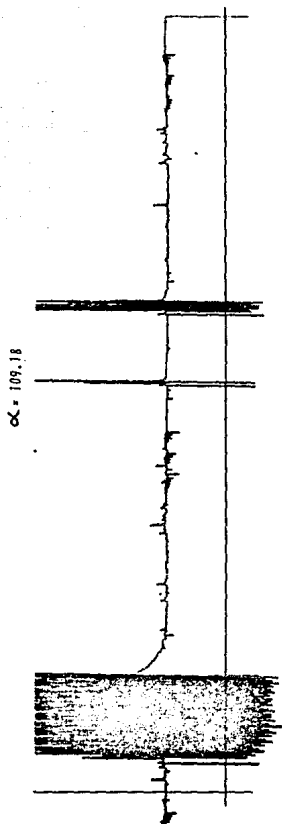


v/h

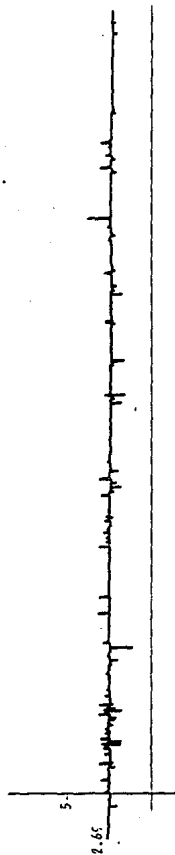


$v_e L = 30 \text{ km/h}$


**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
 PARA PRUEBAS DE FRENADO**



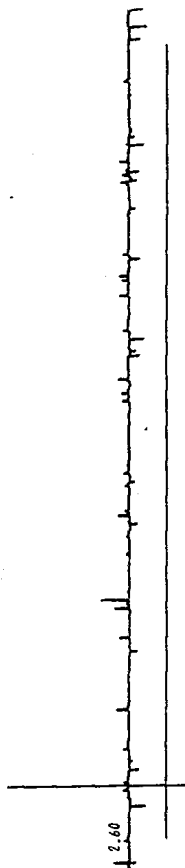
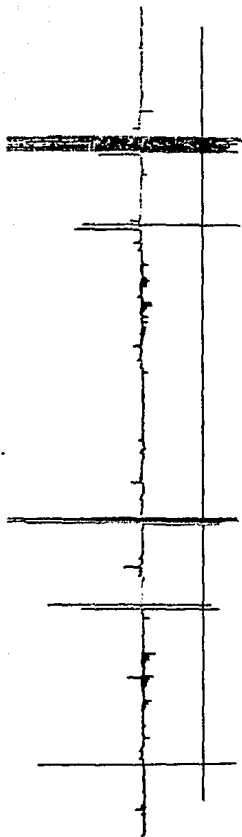
$1/4$





DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

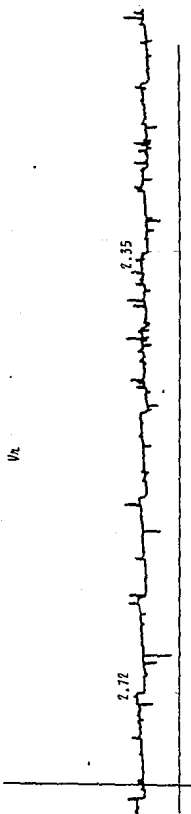
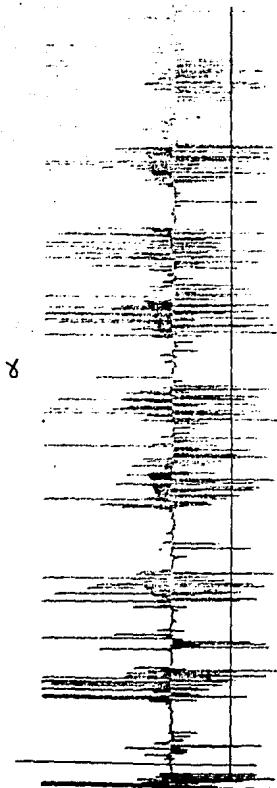
α



Vel. = 30 km/hr.



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

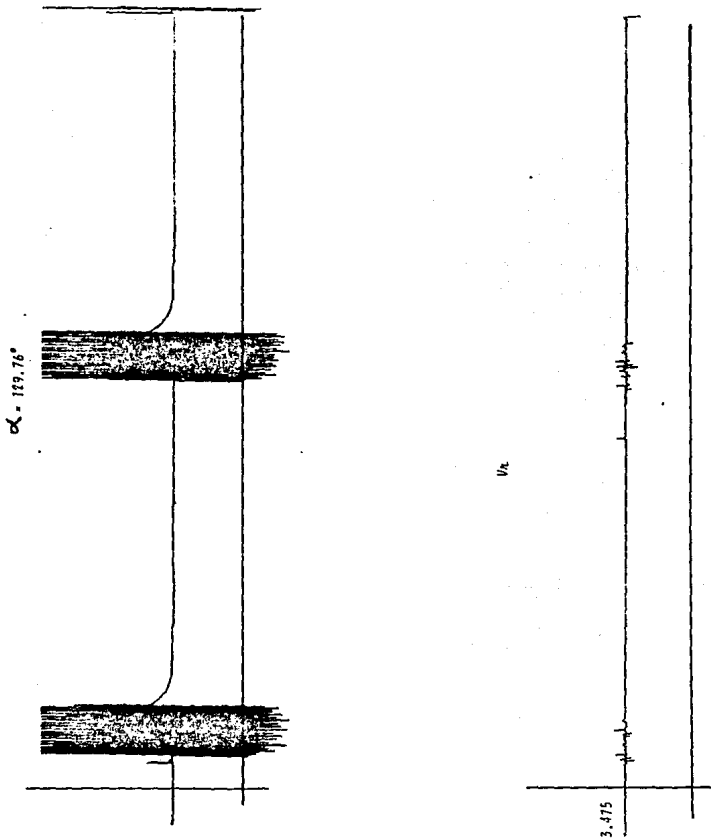



Vel = 30 km/h



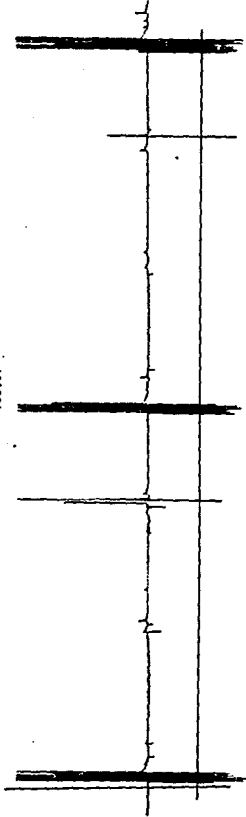
DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENO

186

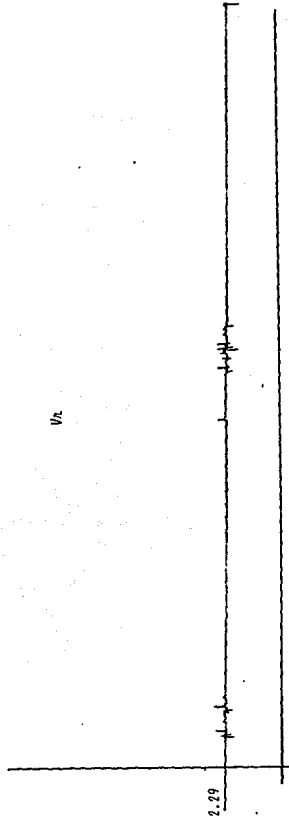



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO**

$\alpha = 166.81$



$V_{1/2}$

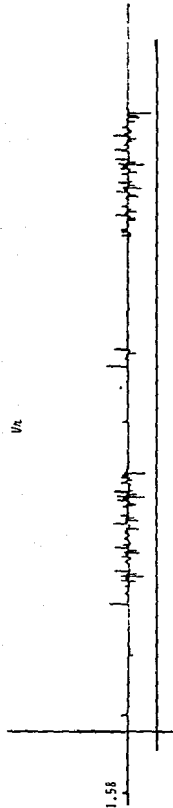
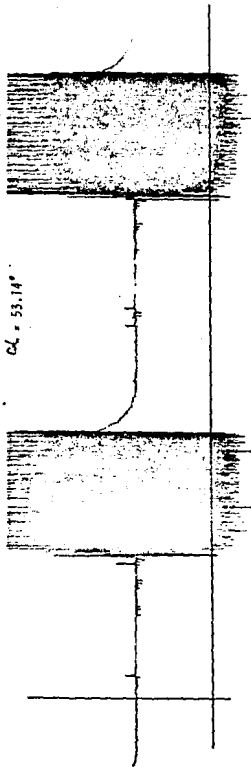


$V_{eL} = 40 \text{ km/h}$



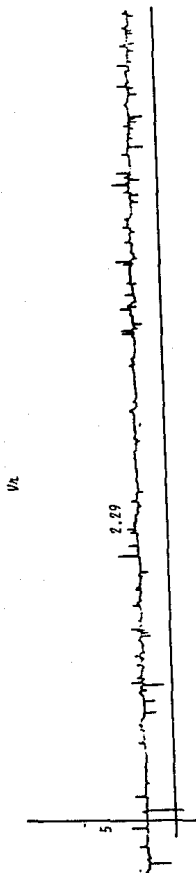
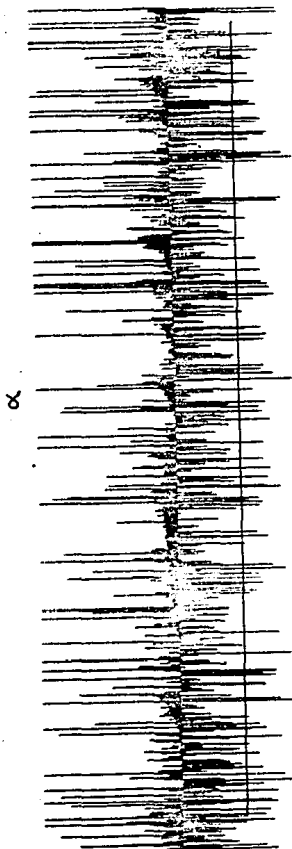
DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENO

188





DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO



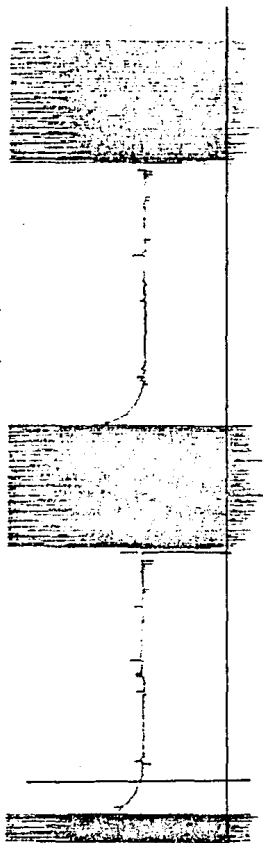
Vel = 40 km/hr.



DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

190

$\alpha = 61.110$



$1/2$

1.725

Vel. = 50 km/hr

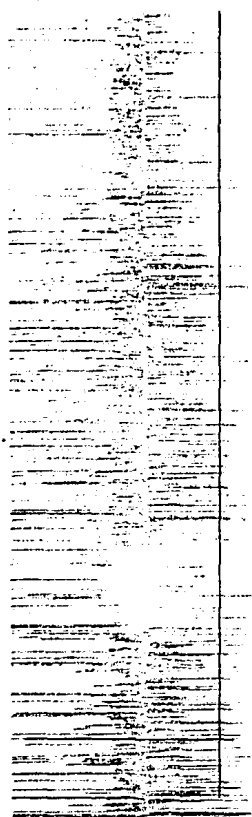


DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

191

1.57


α

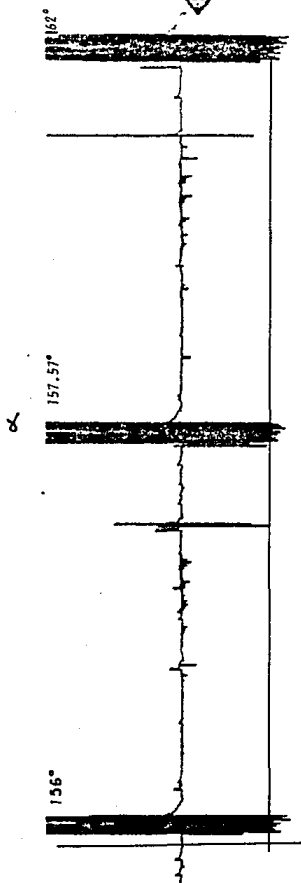


v_x

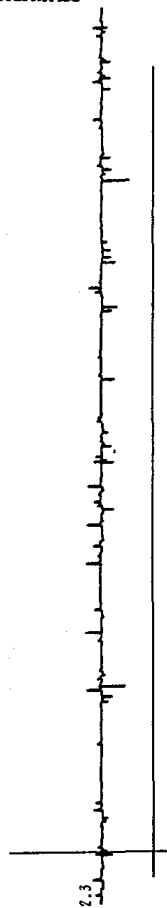
$v_{eL} = 50 \text{ km/hz}$

.445


**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO**



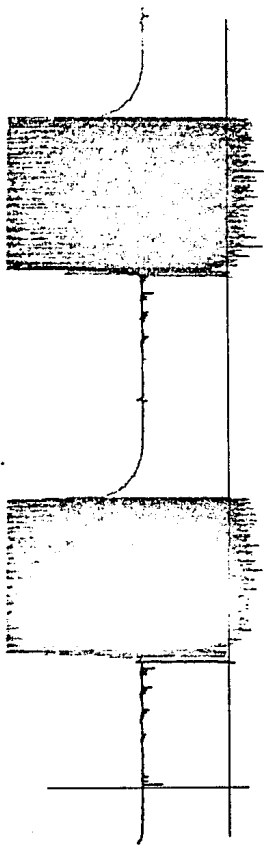
v_a



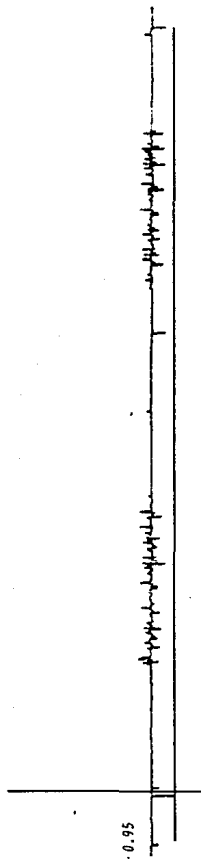
$v_{eL} = 50 \text{ km/h}$

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FREIADO

$\alpha = 27.270$



V_n

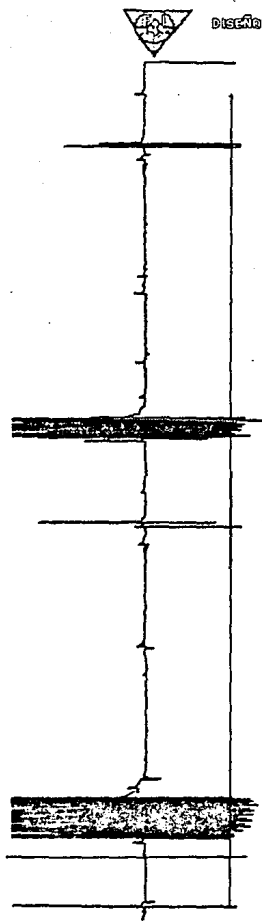


$V_{eL} = 50 \text{ km/hz}$

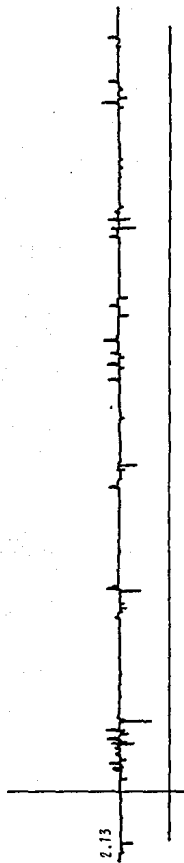
-0.95

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

$\alpha = 157.50$



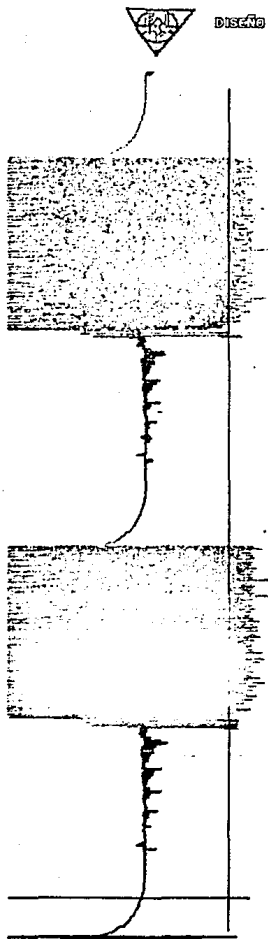
U/n



Vel = 60 km/hr

DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

$\alpha = 9,20^\circ$



V_{1c}

0.65

$V_{eL} = 60 \text{ km/hr}$





DISÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

196

8

$1/2$

0.69

0.330

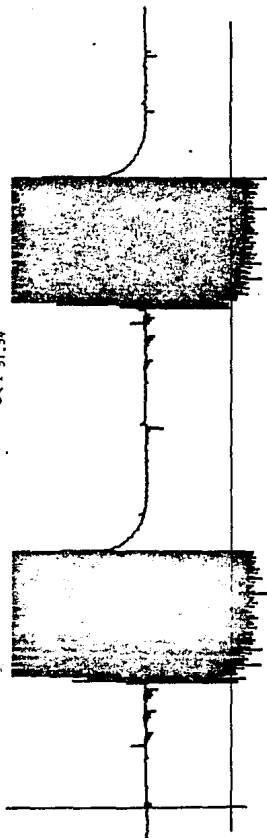
Vel. = 60 km/hr



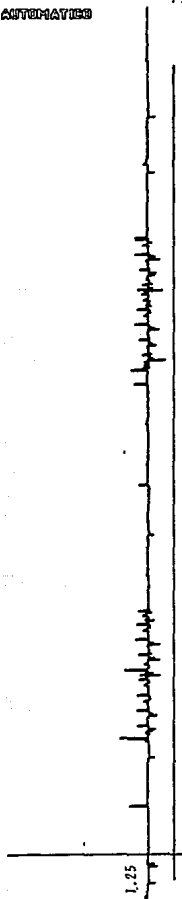
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
PARA PRUEBAS DE FRENADO

197

$\alpha = 51.54^\circ$



U_2



Vel = 60 km/h

1:25

ANEXO 4

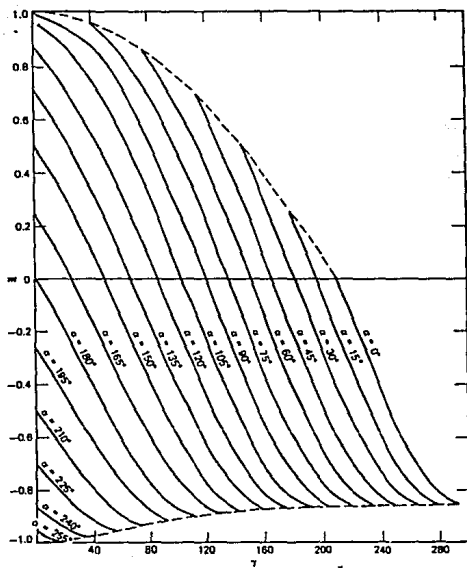


Fig. m versus γ for $\phi = \pi/6$ with α as parameter.

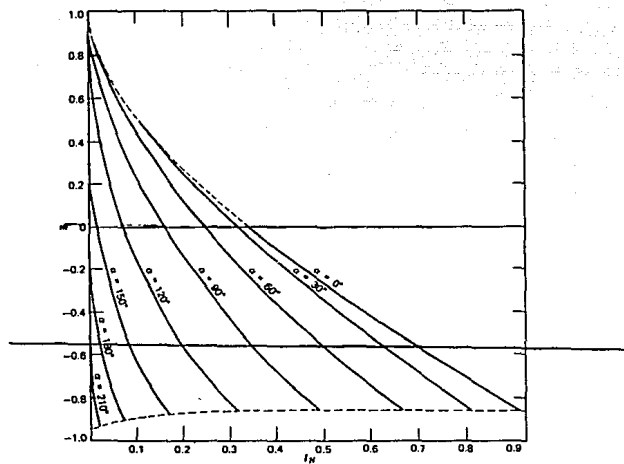


Fig. m versus I_N for $\phi = \pi/6$ with α as parameter.

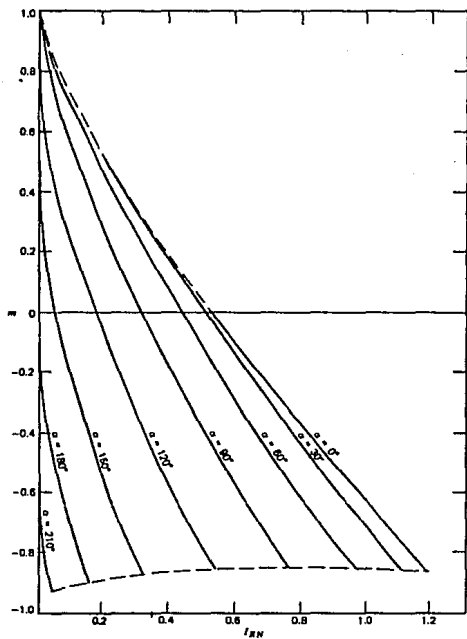


Fig. m versus I_{RN} for $\phi = \pi/6$ with α as parameter.

BIBLIOGRAFIA

- LINEAR AND INTERFACE INTEGRATED CIRCUITS.
MOTOROLA.
1983
- OPTOELECTRONIC DEVICE DATA.
MOTOROLA.
1983
- PROGRAMING REFERENCE MANUAL M6800.
1976
- LINEAR APPLICATIONS HANDBOOK.
NATIONAL SEMICONDUCTOR.
1978
- DIODO SEMICONDUCTOR DATABOOK.
ELECTRONIC INFORMATION SERIES.
CORDURA PUBLICATIONS, INC.
1981
- THYRISTOR DATA BOOK.
ELECTRONIC INFORMATION SERIES.
CORDURA PUBLICATIONS, INC.
1980
- OPTOELECTRONICS DATA BOOK.
ELECTRONIC INFORMATION SERIES.
CORDURA PUBLICATIONS, INC.
1980
- TRANSISTOR DATA BOOK.
ELECTRONIC INFORMATION SERIES.
CORDURA PUBLICATIONS, INC.
1980
- THE TTL DATA BOOK.
TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED.
1976
- APUNTES PARA EL CURSO DE MICROPROCESADORES, VOL. I Y VOL. II
ERNESTO LOPEZ, JAVIER CARRILLO Y MANUEL MENDEZ.
I.P.N.
1986
- DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRONICOS.
Y.N. BAPAT.
1982

- MANUAL PARA INGENIEROS Y TECNICOS EN ELECTRONICA.
KAUFMAN Y SEIDMAN.
1982
- ELECTRONIC CIRCUITS DIGITAL AND ANALOG.
CHARLES A. HOLT.
1978
- ELECTRONICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS.
TIMOTHY J. MALONEY.
PRENTICE HALL INTERNATIONAL.
1983
- POWER SEMICONDUCTOR.
S.B. DEWAN IND A. STRAGHEN.
JOHN WILEY AND SONS.
1975
- LINEAR DATABOOK.
NATIONAL SEMICONDUCTOR.
1978.