

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

**Modelación Digital de una Máquina
de Corriente Continua Alimentada
por Circuitos a Tiristores**

Tesis previa a la obtención del Título de

INGENIERO

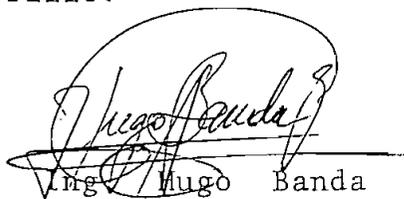
En Electrónica y Control

Nicolás Martínez Carrillo

Quito, Diciembre de 1.983



Certifico que el presente
trabajo ha sido elaborado
es su totalidad por el Se
ñor Nicolás Martínez Ca-
rrillo.



Hugo Banda

DIRECTOR

D E D I C A T O R I A

A MI MADRE

A JOSE HOLGUIN

A G R A D E C I M I E N T O

Al presentar esta tesis como conclusión de mi carrera universitaria, quiero expresar mi agradecimiento a to dos y cada uno de los Señores Profesores de la Facul tad de Ingeniería Eléctrica, por los conocimientos que recibí de ellos, durante el período de mi forma- ción profesional, muchos de los cuales están incorpo- rados en el presente trabajo.

Mi agradecimiento especial a los Ingenieros Hugo Ban- da y Méntor Poveda, por su valiosa orientación para - la elaboración de este estudio.

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	
CAPITULO I : MAQUINA DE CONTINUA	1
1.1. Máquina en derivación	2
1.2. Máquina serie	4
1.3. Inclusión de la saturación magnética	5
1.4. Condiciones de corriente cero	9
1.4.a. Motor derivación	9
1.4.b. Motor serie	10
CAPITULO II : LOS CONVERTORES ESTATICOS	11
2.1. Rectificador monofásico de onda completa	12
2.2. Rectificador monofásico semicontrolado tipo puente ...	14
2.3. Rectificador controlado tipo puente	17
2.4. Rectificador trifásico controlado de media onda	20
2.5. Rectificador trifásico de onda completa semicontrolado	24
2.5.a. Angulos de disparo menores de 60 grados	24
2.5.b. Angulos mayores de 60 grados	27
2.6. Rectificador trifásico controlado de onda completa ...	30
2.7. El troceador	35
CAPITULO III : PROGRAMA DIGITAL	39
3.1. Ingreso de parámetros y selección de funcionamiento ..	40
3.2. Programa de simulación y presentación de resultados ..	44
3.2.1. Condiciones iniciales	44

	Pag.
3.2.2. Fuente de alimentación	48
3.2.3. Subrutina de integración	64

CAPITULO IV : PRUEBAS EXPERIMENTALES. COMPARACION DE RESULTADOS. COMCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
--	----

4.1. Motor derivación - Estado estable - Rectificador de 3 pulsos	77
4.2. Motor serie - Arranque - Rectificador de 3 pulsos	86
4.3. Motor serie - Estado estable - Rectificador de 3 pul- sos	87
4.4. Motor serie - Estado estable - Troceador	90
Conclusiones y Recomendaciones	99

BIBLIOGRAFIA	100
--------------------	-----

APENDICE A : PARAMETROS, DATOS Y CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA	A1
---	----

APENDICE B : MANUAL DE USO	B1
LISTA DE VARIABLES	B4
LISTADO DE PROGRAMAS	B8

I N T R O D U C C I O N

Con la revolución tecnológica y la crisis de energéticos de hoy en día, se han dejado de lado los métodos tradicionales de control de velocidad y de torque de las máquinas de corriente continua, los mismos que han sido reemplazados por métodos que ofrecen un mayor rendimiento; siendo uno de estos el control de la máquina a partir del voltaje de alimentación, utilizando para esto circuitos conversores estáticos.

En este trabajo se encontrará la respuesta en estado estable y en régimen transitorio de una máquina de corriente continua ya sea en su conexión serie o en su conexión derivación, suponiendo que la misma está alimentada por circuitos conversores y además que en cualquier instante puede sufrir una perturbación en el circuito de campo (motor derivación), o en el circuito de armadura (motor serie) o en la carga (ambas).

En el Capítulo I se obtienen los modelos de la máquina en sus dos formas de trabajo, en el cual se incluye el efecto de la saturación magnética, mas no el efecto de la reacción de armadura.

El Capítulo II es una breve descripción de los conversores que serán simulados: rectificadores de dos, tres y seis pulsos, con

trolados o semicontrolados y un troceador. En estas fuentes de alimentación se ha considerado que los semiconductores son interruptores ideales y además que no presentan problemas en el instante de su conmutación.

El programa digital, escrito en lenguaje BASIC e implementado para la microcomputadora Tektronix 4051, con el cual, es simulada la máquina y su control se encuentra en el Capítulo III, en el cual se hace una descripción bastante profunda de como fue realizado y to dos sus elementos constitutivos. Los resultados numéricos obtenidos son comprobados con la experimentales en el Capítulo IV.

C A P I T U L O I

MAQUINA DE CONTINUA

La máquina de continua, al igual que todas las máquinas eléctricas, pueden ser representadas por modelos matemáticos.

La Máquina Primitiva, es uno de estos modelos, y es una máquina ficticia que consta de un conjunto de bobinas que poseen un acoplamiento inductivo y además están localizadas en dos ejes perpendiculares, llamados: eje directo y eje en cuadratura.

Utilizando este modelo, la máquina de continua, considerando que no tiene interpolos y bobinas de compensación, se reduce a dos bobinas, una localizada sobre el eje directo, que representa a la excitación, y la otra sobre el eje en cuadratura, que representa el inducido, como se indica en la figura 1.1.

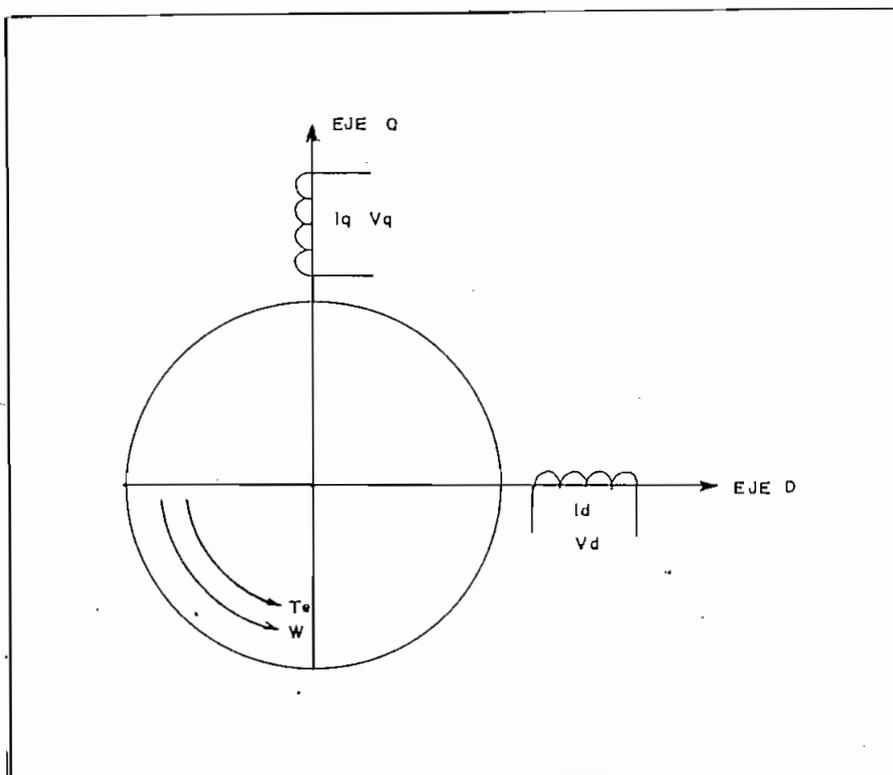


Figura 1.1. Máquina Primitiva

Donde: q = Eje en cuadratura

d = Eje directo

I_q = Corriente del inducido

V_q = Voltaje del inducido

I_d = Corriente de campo

V_d = Voltaje de campo

T_e = Torque electromagnético

ω = Velocidad angular del motor

1.1. MAQUINA EN DERIVACION

De acuerdo con el modelo que supone linealidad en el campo magnético, un entrehierro uniforme y simetría en la distribución de los devanados del estator, las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento dinámico y en estado estable de la máquina de continua, vienen dados por:

$$V_d = I_d R_d + L_d \frac{dI_d}{dt} \quad 1.1$$

$$V_q = I_q R_q + L_q \frac{dI_q}{dt} + E \quad 1.2$$

Donde: R_d = Resistencia del bobinado de campo

R_q = Resistencia del bobinado de armadura y de las escobillas

L_d = inductancia del bobinado de campo

L_q = Inductancia del bobinado de armadura

E = Voltaje inducido

Analizando la ecuación 1.1 se puede ver que es una ecuación lineal de coeficientes constantes, lo que no sucede con la ecuación 1.2 que es lineal siempre y cuando el campo haya sido excitado con anterioridad, pues el último término del miembro de la derecha varía de acuerdo con la velocidad y la corriente de campo que tiene el motor en un momento determinado.

El término E en la ecuación 1.2 representa el voltaje inducido en las bobinas de la armadura por las bobinas del campo debido al movimiento relativo de las mismas. Como se ve es un elemento de asociación entre el rotor y el estator de la máquina.

A estas ecuaciones eléctricas habría que agregar la ecuación de equilibrio mecánico, para de esta manera obtener el modelo lineal de la máquina en derivación; la misma que es expresada en los siguientes términos:

$$T_e = J \frac{dW}{dt} + DW + T_m \quad 1.3$$

$$T_e = G_q I_q I_d \quad 1.4$$

T_m = Par al eje

J = Momento de inercia total del rotor

D = Coeficiente angular de fricción viscosa

T_e = Par electromagnético

G_q = Inductancia rotacional

Es necesario recalcar que en la ecuación 1.3 se ha despreciado el efecto de la deformación del eje del rotor.

1.2. MAQUINA SERIE

Las ecuaciones que representan a este dispositivo electromecánico pueden ser deducidas fácilmente a partir del motor shunt de excitación independiente, imponiendo ciertas condiciones como son: la corriente de campo y de armadura son iguales, y además que la suma de las caídas de voltaje en la armadura y en el campo son iguales a un voltaje de alimentación, es decir, en términos matemáticos tenemos:

$$I_d + I_q = I \quad 1.5$$

$$V_t = V_q + V_d \quad 1.6$$

V_t = Voltaje de alimentación

Sumando las ecuaciones 1.1 y 1.2 y sustituyendo I_d e I_q por I llegamos a la siguiente expresión:

$$V_t = V_q + V_d = (R_d + R_q) I + (L_d + L_q) \frac{dI}{dt} + E \quad 1.7$$

Esta última igualdad ya no presenta características lineales, pues el término E depende de dos variables: velocidad y corriente. Podemos concluir que para el motor serie a pesar de no considerar la saturación magnética no se puede obtener un modelo lineal.

La ecuación restante, la del equilibrio mecánico, permanece inalterada con respecto a la del motor en derivación.

1.3. INCLUSION DE LA SATURACION MAGNETICA

Los modelos hasta aquí desarrollados, han sido modelos en los que se ha considerado un circuito magnético en el que existe un entrehierro predominante, es decir se ha despreciado el efecto de la saturación magnética; sin embargo este fenómeno influye considerablemente en el comportamiento de dichas máquinas. La saturación magnética es provocada por el campo a través de la corriente de excitación, pero su efecto se hace presente en la armadura por medio del voltaje inducido. Este voltaje es afectado de tal manera por este fenómeno, que hasta un valor determinado de corriente existe una relación lineal con respecto a la excitación. Luego de este valor crítico se pierde dicha relación, como se indica en la figura 1.2.

La relación existente entre el voltaje inducido y la corriente de excitación puede ser obtenida con la prueba de circuito abierto del motor a velocidad constante. Al incluir la saturación en las ecuaciones anteriormente desarrolladas, estas pierden su linealidad y su solución no es posible por métodos convencionales y es necesario

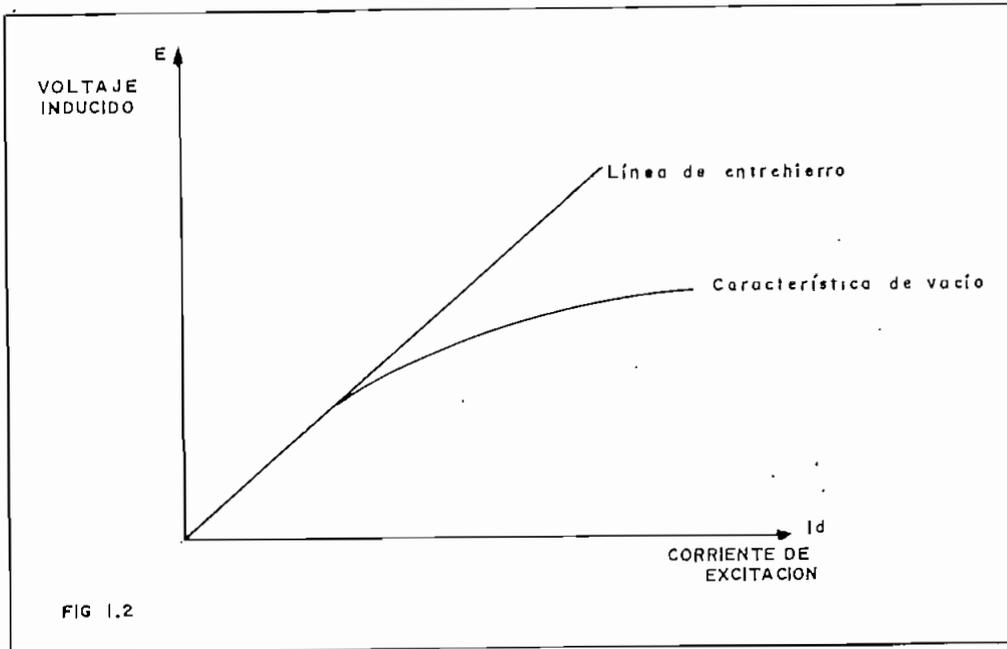


Figura 1.2. Curva de saturación magnética

utilizar procesos iterativos de integración como es el método Runge-Kutta de Cuarto Orden. Usando este procedimiento la saturación fácilmente puede ser considerada, pues en cada paso de integración el voltaje inducido es "corregido". Esta corrección puede ser llevada a cabo si se conoce la corriente de excitación y la velocidad de la máquina del paso anterior y la curva de magnetización y la velocidad a la que fue obtenida la misma.

Con la corriente de excitación se puede obtener el voltaje inducido sobre la curva de magnetización tomada a una velocidad de referencia y luego pasarse a otra curva de magnetización definida por la velocidad que posee en ese instante, con lo cual se obtiene el voltaje inducido corregido, como se indica en la figura 1.3.

Se cumple la siguiente relación: a una corriente I_d corresponde un voltaje inducido E_r a velocidad W_r ; y a la misma corriente

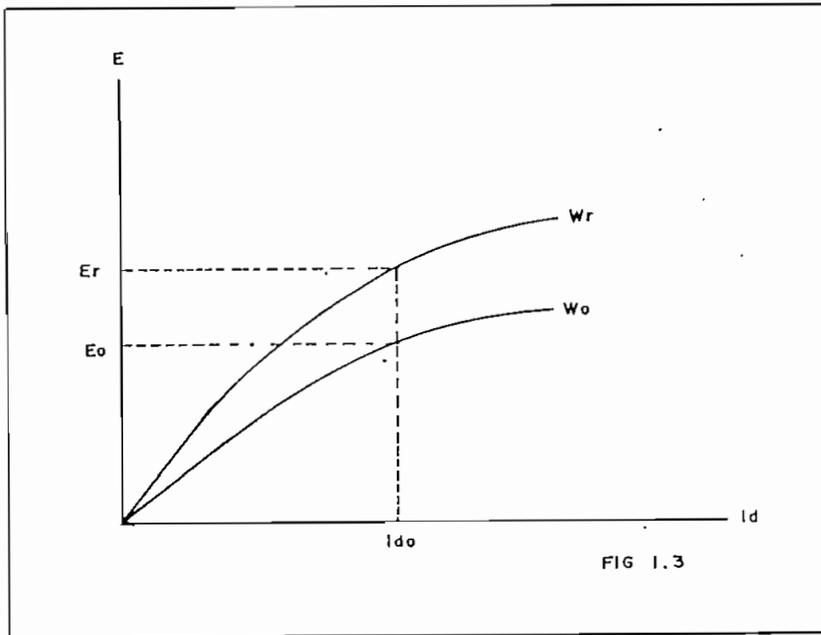


Figura 1.3. Inclusión de la saturación magnética

corresponde un voltaje inducido E_o a velocidad W_o .

$$E_r = K I_{d0} W_r \quad 1.8$$

$$E_o = K I_{d0} W_o \quad 1.9$$

$$\frac{E_r}{E_o} = \frac{W_r}{W_o} \quad 1.10$$

$$E_o = \frac{W_o}{W_r} E_r \quad 1.11$$

Donde: E_r = Voltaje inducido saturado a la velocidad de referencia

E_o = Voltaje inducido saturado a una velocidad cualesquiera

W_r = Velocidad de referencia

W_o = Velocidad de la máquina

Con estas consideraciones las ecuaciones anteriores quedan de la siguiente manera para el motor en derivación:

$$V_d = I_d R_d + L_d \frac{dI_d}{dt} \quad 1.12$$

$$V_q = I_q R_q + L_q \frac{dI_q}{dt} + E_o \quad 1.13$$

$$E_o = f(I_d) \quad 1.14$$

$$T_e = J \frac{dW}{dt} + DW + T_m \quad 1.15$$

$$f(I_d) = \text{Curva saturada} \quad 1.16$$

Y para el motor serie:

$$V = (R_d + R_q)I + (I_d + L_q) \frac{dI}{dt} + E_o \quad 1.17$$

$$E_o = f(I) \quad 1.18$$

$$T_e = J \frac{dW}{dt} + DW + T_m \quad 1.19$$

Para obtener la solución de estas ecuaciones a partir del método Runge-Kutta de Cuarto Orden, es necesario expresarlas a las mismas en forma de variables de estado, es decir, la derivada de una variable está en función de algunas o todas las variables, como se indica a continuación:

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{(V_d - I_d R_d)}{L_d} \quad 1.20$$

$$\frac{dI_q}{dt} = \frac{(V_q - I_q R_q - E_o)}{L_q} \quad 1.21$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{(T_e - DW - T_m)}{J} \quad 1.22$$

Motor en derivación

$$\frac{dI}{dt} = \frac{(V - (R_d + R_q)I - E_o)}{(L_d + L_q)} \quad 1.23$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{(T_e - DW - T_m)}{J} \quad 1.24$$

Motor serie

1.4. CONDICIONES DE CORRIENTE CERO

Debido a que en este trabajo se analizará el comportamiento dinámico y en estado estable de la máquina, en las dos conexiones ex puestas, y alimentada por circuitos a tiristores, puede producirse casos en los cuales, al resolver las ecuaciones se obtenga corriente negativa, cosa que no sucede en la realidad; ya que los semiconducto res utilizados son unidireccionales. Por tal razón es necesario for zar a que la corriente sea cero, para lo cual es necesario definir voltajes de circuito abierto.

1.4.a. MOTOR DERIVACION

En el momento que la corriente de armadura se hace cero:

$$V_q = L_q \frac{dI_q}{dt} + E_o \quad 1.25$$

Esta ecuación se cumple para el primer paso de integración en el que la corriente es cero, es decir su derivada no es nula.

Para el segundo paso la derivada necesariamente debe ser cero y el voltaje inducido debe ser igual a:

$$V_q = E_o \quad 1.26$$

1.4.b. MOTOR SERIE

Cuando la corriente de armadura es cero, también la corriente de campo es cero y el voltaje en el primer paso sería:

$$V = (L_d + L_q) \frac{dI}{dt} + E_o \quad 1.27$$

Pero en el segundo paso de integración:

$$V = E_o \quad 1.28$$

Es decir el voltaje de circuito abierto tanto para la máquina serie como para la máquina en derivación es el mismo matemáticamente, pero diferente físicamente: Para la primera es el voltaje inducido debido al magnetismo residual del núcleo y para la segunda es el voltaje inducido por la corriente de excitación.

C A P I T U L O I I

LOS CONVERSORES ESTATICOS

El motor de continua, a pesar de que su costo, tamaño y mantenimiento es mayor que un motor de inducción de la misma potencia, es muy usado por la facilidad con que pueden ser modificados su torque y velocidad; además la implementación del sistema de control es más económico.

Tradicionalmente, el motor de continua, ha sido controlado por diversos métodos: variación de la resistencia de armadura, variación de la resistencia de campo y variación del voltaje de alimentación. En la actualidad, la tendencia es controlar el motor modificando el voltaje de alimentación, usando para esto conversores estáticos; además de que no se descarta la posibilidad de modificar la resistencia de campo en los motores en derivación (o ambos a la vez).

Dentro de los conversores se encuentran los rectificadores, que son circuitos que permiten la transformación de corriente alterna a corriente continua, y los troceadores circuitos que permiten obtener una forma de voltaje continuo segmentado a partir de un voltaje continuo constante. Los rectificadores pueden ser: monofásicos o polifásicos de acuerdo al número de fases de la red de alimenta-

ción; de media onda u onda completa, si se rectifica el uno o los dos semiciclos de la red, y dependiendo del tipo de elementos rectificadores que se empleen, son: controlados, semicontrolados o no controlados. Normalmente se los identifica por el número de pulsaciones que tienen por cada período de la red, y por el voltaje que presentan a sus terminales.

2.1. RECTIFICADOR MONOFASICO DE ONDA COMPLETA

En el circuito de la figura 2.1 se muestra un rectificador no controlado monofásico de onda completa, llamado también rectificador no controlado de 2 pulsos, o rectificador monofásico tipo puente.

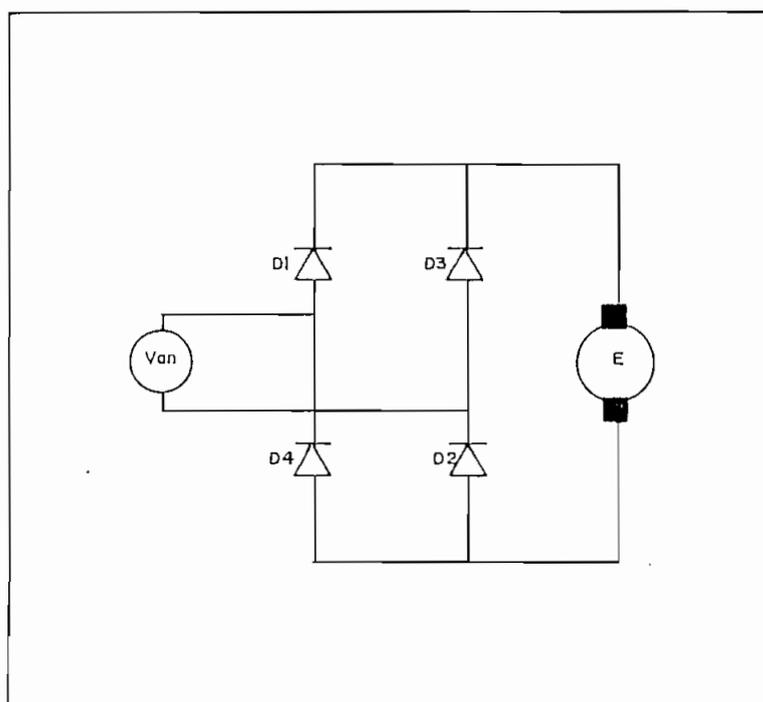


Fig. 2.1. Rectificador monofásico de onda completa no controlado

Para su análisis se dividirá en dos intervalos el voltaje de alimentación, como se indica a continuación.

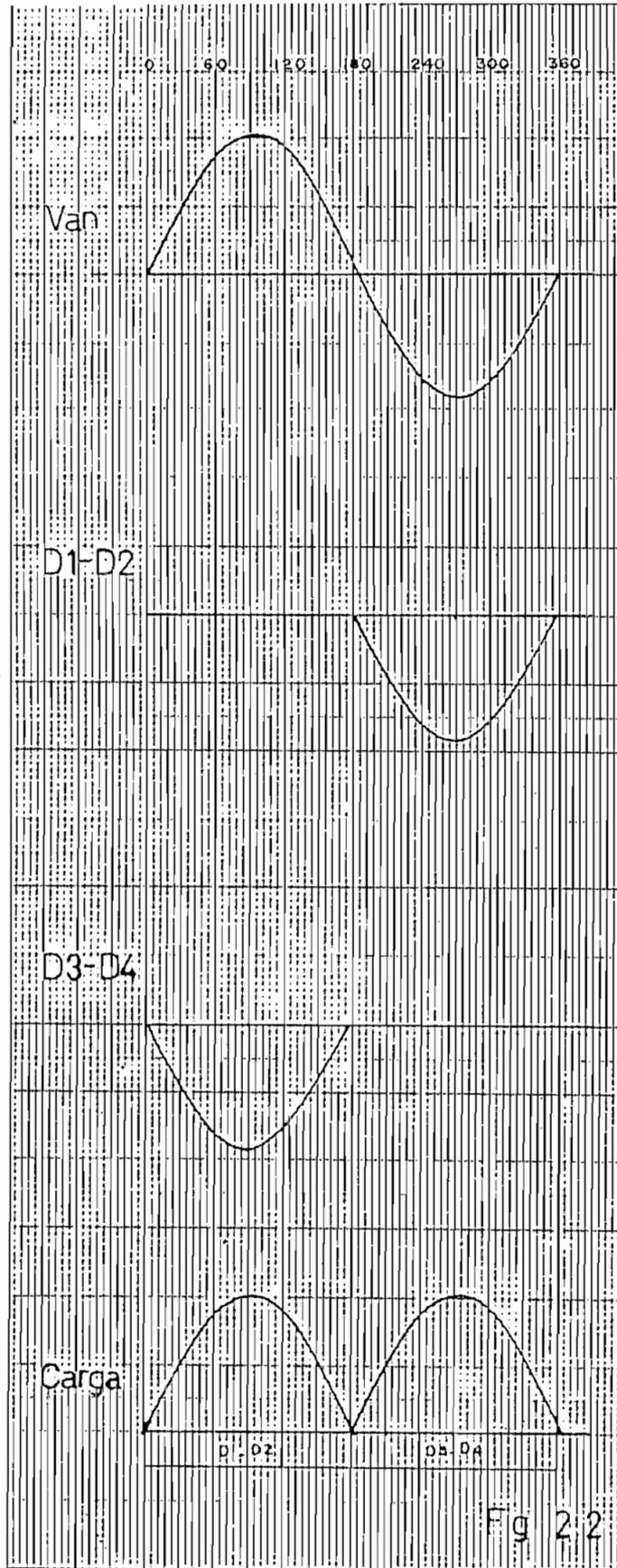


Fig 2.2

Fig. 2.2. Rectificador monofásico de onda completa no controlado.

- $V_{an} > 0$ Conducen los diodos D_1 y D_2 y permanecen polarizados inversamente los dos diodos restantes. El voltaje que aparece a la carga es $V_{carga} = V_{an}$.
- $V_{an} < 0$ Conducen los diodos D_3 y D_4 , y se encuentran bloqueados los diodos D_1 y D_2 . El voltaje que aparece a la carga es $V_{carga} = -V_{an}$.

Las formas de onda de voltaje sobre los distintos elementos se indican en la figura 2.2.

2.2. RECTIFICADOR MONOFÁSICO SEMICONTROLADO TIPO PUENTE

En la figura 2.3 se presenta a un circuito rectificador monofásico tipo puente semicontrolado (2 pulsos), que posee inherentemente el efecto de un diodo de recuperación, es decir la energía almacenada en la inductancia de la máquina se descarga a través de los rectificadores.

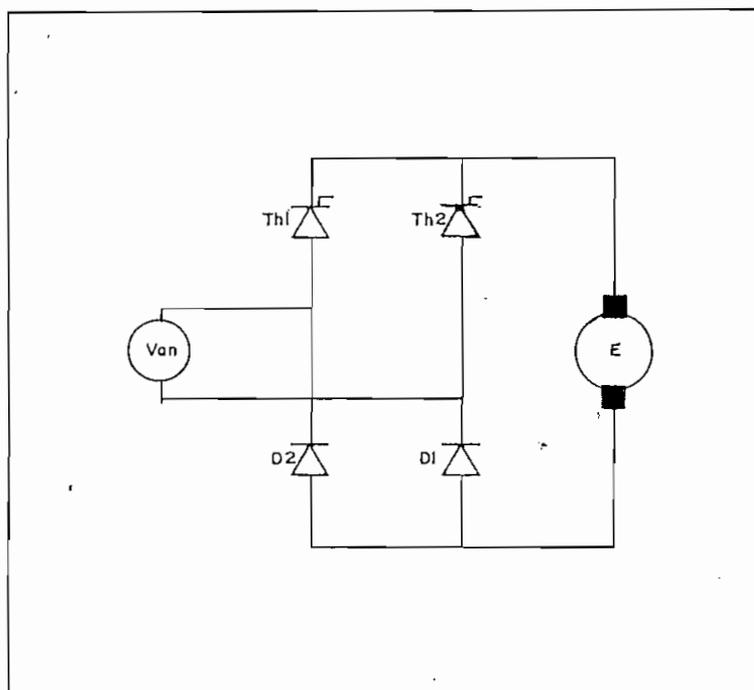


Fig. 2.3. Rectificador monofásico semicontrolado tipo puente.

Su operación con cargas inductivas o alimentando una máquina eléctrica D.C. puede ser descrita de la siguiente manera:

- $V_{an} > 0$ Th1 activado: La corriente fluye desde la fuente hacia la carga, a través de Th1 y D1.

- $V_{an} < 0$ Th1 activado: D1 queda polarizado inversamente, y entra en conducción D2. La corriente sigue fluyendo a través de la carga, hasta que la energía almacenada en la inductancia de la carga se disipe (conducción discontinua), o se active Th2 (conducción continua).

- $V_{an} < 0$ Th2 activado: la corriente fluye desde la fuente hacia la carga, a través de Th2 y D2.

- $V_{an} > 0$ Th2 activado: D2 se polariza inversamente, y entra en conducción D1. La corriente de la carga permanecerá fluyendo a través de Th2 y D1, hasta que la energía almacenada en la inductancia de la misma se disipe (conducción discontinua), o hasta que se active Th1 (conducción continua).

En las figura 2.4.a. y 2.4.b. se indican las formas de onda sobre los distintos elementos del circuito suponiendo (a) conducción continua, (b) conducción discontinua.

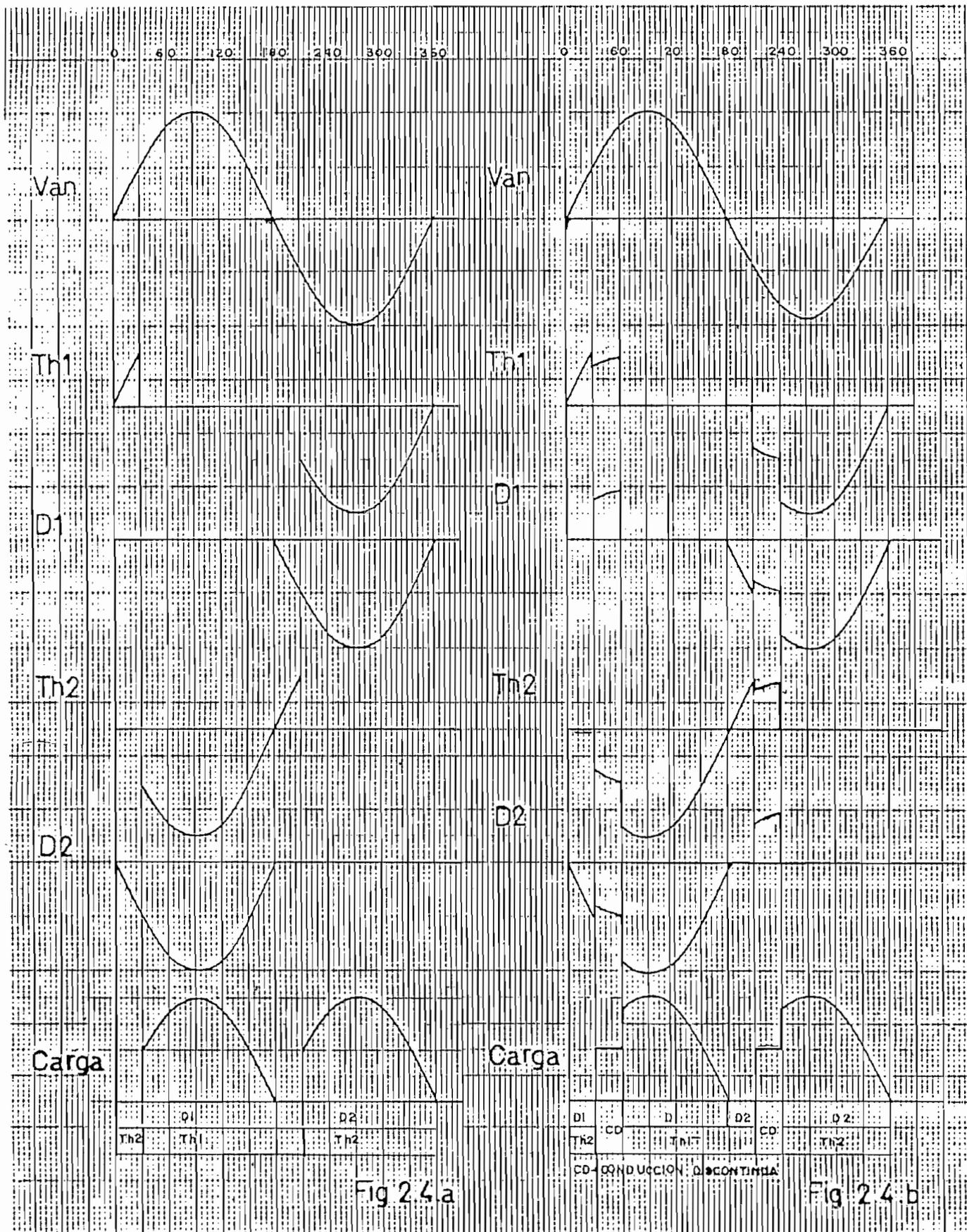


Fig. 2.4. Rectificador monofásico semicontrolado tipo puente

a. Conducción continua

b. Conducción discontinua

En el caso de conducción discontinua, el voltaje que aparece a la salida del rectificador es el voltaje inducido. Durante los intervalos de corriente cero y suponiendo que los elementos semiconductores tienen características idénticas los voltajes ánodo-cátodo instantáneos están dados por:

$$V_{akTh1}(t) = V_{akD1}(t) = \frac{V_{an}(t) - E(t)}{2}$$

$$V_{akTh2}(t) = V_{akD2}(t) = - V_{akTh1}(t)$$

2.3. RECTIFICADOR CONTROLADO TIPO PUENTE

En la figura 2.5 se muestra el circuito de un rectificador monofásico tipo puente totalmente controlado, mientras que en las figuras 2.6.a. y 2.6.b. se encuentran las formas de onda de voltaje sobre sus elementos, suponiendo (a) conducción continua, (b) conducción discontinua.

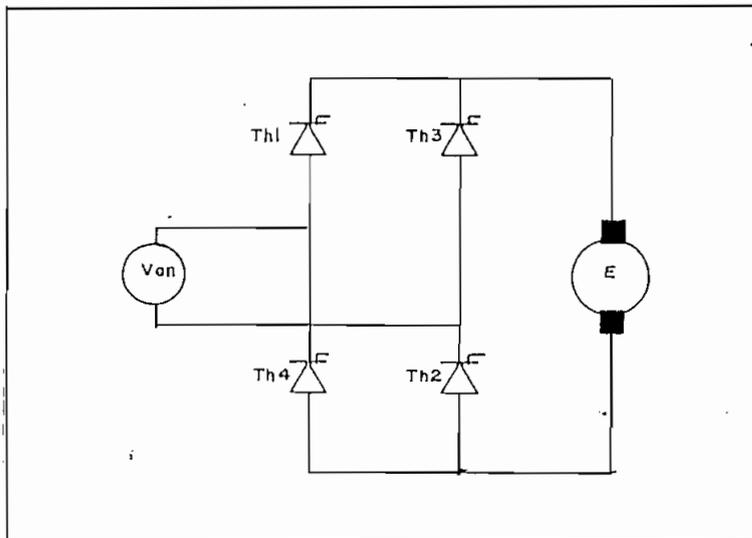


Fig. 2.5. Rectificador monofásico controlado tipo puente.

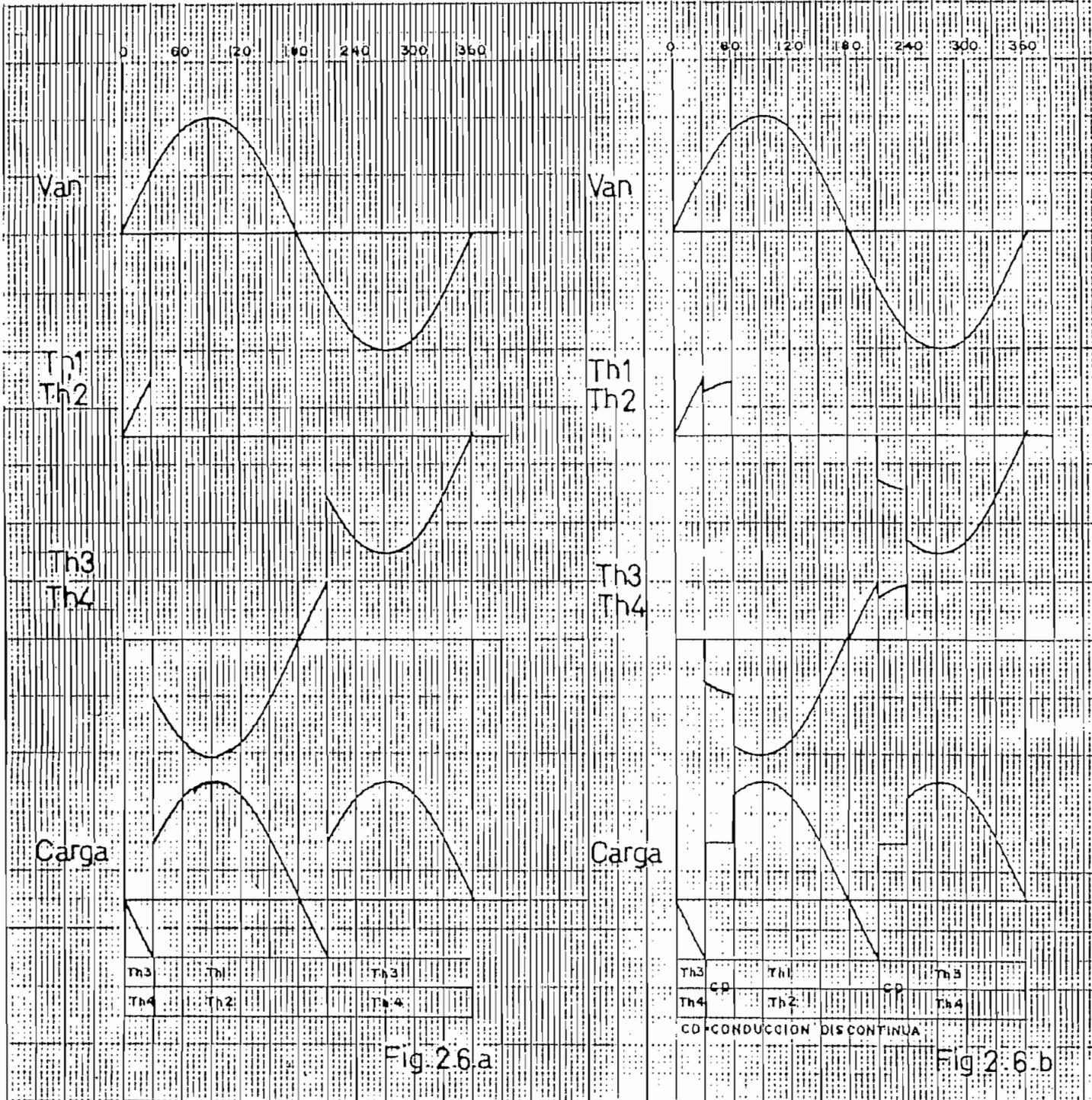


Fig. 2.6. Rectificador monofásico controlado tipo puente

a. Conducción continua

b. Conducción discontinua

Su funcionamiento puede ser resumido de la siguiente manera:

- $V_{an} > 0$ Al existir un pulso de disparo se activan Th1 y Th2, aplicándose a la carga el voltaje $V_{carga} = V_{an}$. Este estado se mantendrá hasta que la corriente se haga cero en la carga o hasta que entren en conducción el otro par de tiristores.

- $V_{an} < 0$ Luego de la señal de activado, pasan a conducir los tiristores Th3 y Th4 y se bloquean Th1 y Th2. El voltaje aplicado a la carga es $V_{carga} = - V_{an}$.

En el caso de conducción discontinua existe un problema semejante al presentado en el rectificador anterior; y el voltaje sobre la carga y el de polarización sobre los SCR responden a funciones iguales que en el rectificador semicontrolado.

Se puede ver que el rectificador no controlado presenta siempre un voltaje medio constante a sus terminales y corresponde al voltaje máximo que se puede entregar a la carga desde la red de alimentación. El rectificador semicontrolado también es capaz de entregar este voltaje máximo, sin embargo el mínimo voltaje que puede entregar es cero (teóricamente). El último de los rectificadores monofásicos analizados posee la facultad de aplicar a la carga voltajes medios positivos o negativos, razón por la cual, es muy utilizado para el frenado regenerativo de motores, es decir, en la parada transfiere potencia desde la carga hacia la red de alimentación (Control de

2 Cuadrantes). Suponiendo una conducción continua, todos los elementos rectificadores del circuito conducen 180 grados eléctricos desde el momento en que inician su conducción.

Este tipo de circuitos rectificadores son usados con cargas hasta de una potencia de 5 KVA. La corriente que entrega la fuente es bidireccional de tal manera que no tiene una componente continua, que pueda contribuir a la saturación de los transformadores en el lado de la red de alimentación de corriente alterna.

2.4. RECTIFICADOR TRIFASICO CONTROLADO DE MEDIA ONDA

En la figura 2.7 se muestra el circuito que corresponde al rectificador trifásico controlado de media onda o rectificador de 3 pulsos. Su operación puede ser deducida del cuadro 2.1., en el cual se encuentran las funciones de voltaje sobre los distintos elementos del circuito, ya sea en el caso de conducción continua o en el de conducción discontinua.

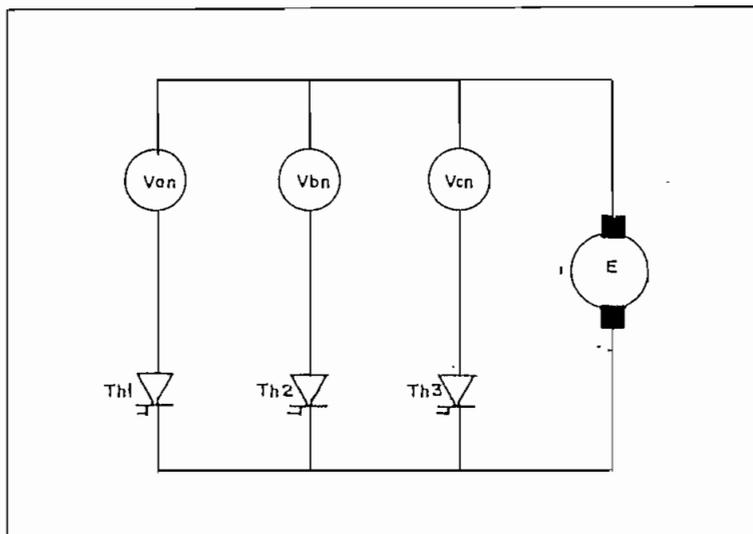


Fig. 2.7. Rectificador trifásico controlado de media onda.

Es necesario aclarar que el punto de referencia tomado es el cruce de la onda V_{an} por cero.

INTERVALO	CONDUCCION	V_{akTh1}	V_{akTh2}	V_{akTh3}	V_{carga}
$360n$	CC	V_{ac}	V_{bc}	0	V_{cn}
$360n+30+\alpha$	CD	$V_{an}-E$	$V_{bn}-E$	$V_{cn}-E$	E
$360n+30$	CC	0	V_{ba}	V_{ca}	V_{an}
$360n+150+\alpha$	CD	$V_{an}-E$	$V_{bn}-E$	$V_{cn}-E$	E
$360n+150+\alpha$	CC	V_{ab}	0	V_{cb}	V_{bn}
$360n+270+\alpha$	CD	$V_{an}-E$	$V_{bn}-E$	$V_{cn}-E$	E
$360n+270+\alpha$	CC	V_{ac}	V_{bc}	0	V_{cn}
$360(n+1)$	CD	$V_{an}-E$	$V_{bn}-E$	$V_{cn}-E$	E

CC = Conducción continua

CD = Conducción discontinua

α = Angulo de disparo

n = Número de período de la señal $V_{an}(0,1,2,\dots)$

CUADRO 2.1.

En las figuras 2.8.a. y 2.8.b. se encuentran las representaciones gráficas de las funciones de voltaje sobre los elementos para el primer período de V_{an} ($n = 0$), tanto en conducción continua, como en conducción discontinua tomando en cuenta que la carga es una máquina eléctrica.

Este rectificador se puede convertir o comportarse como un

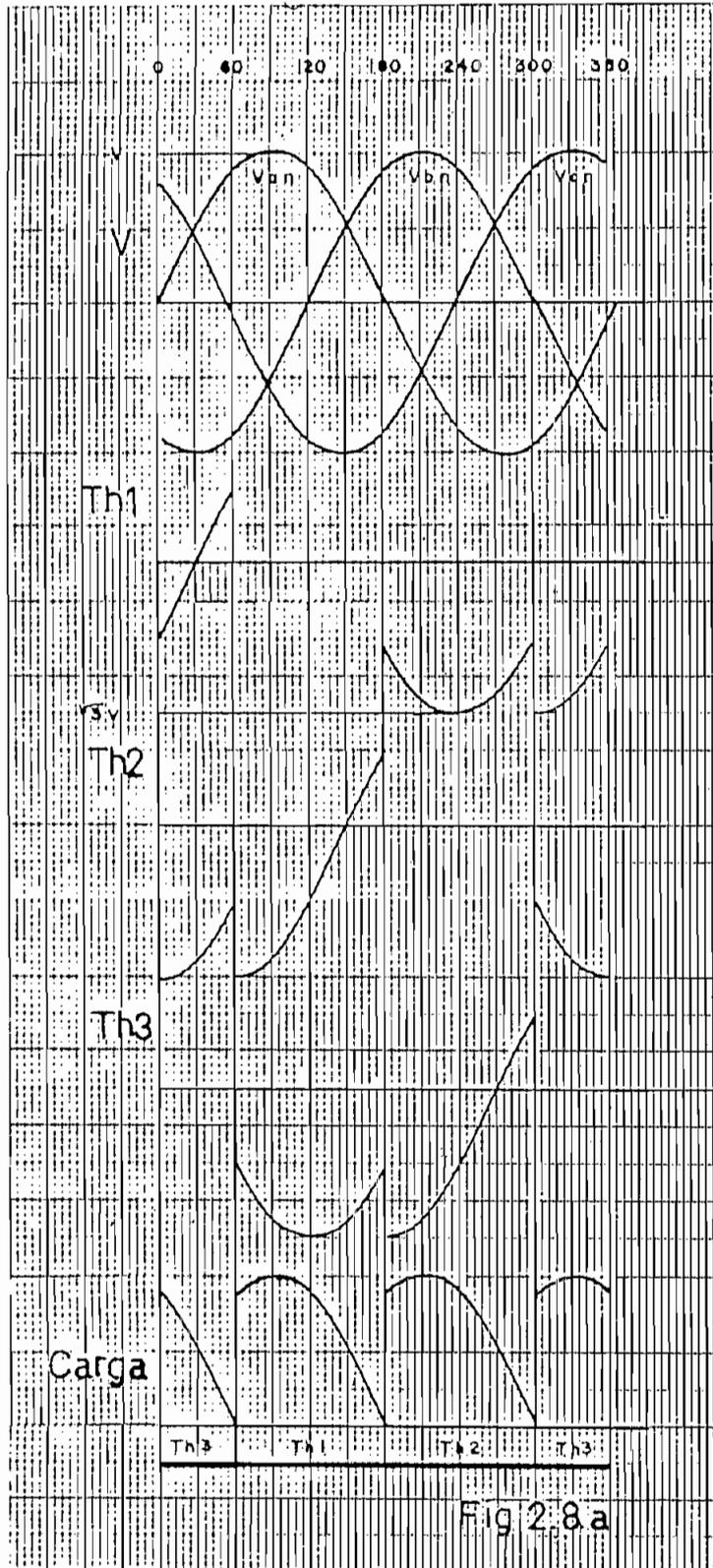


Fig. 2.8.a. Rectificador trifásico controlado de media onda
Conducción continua.

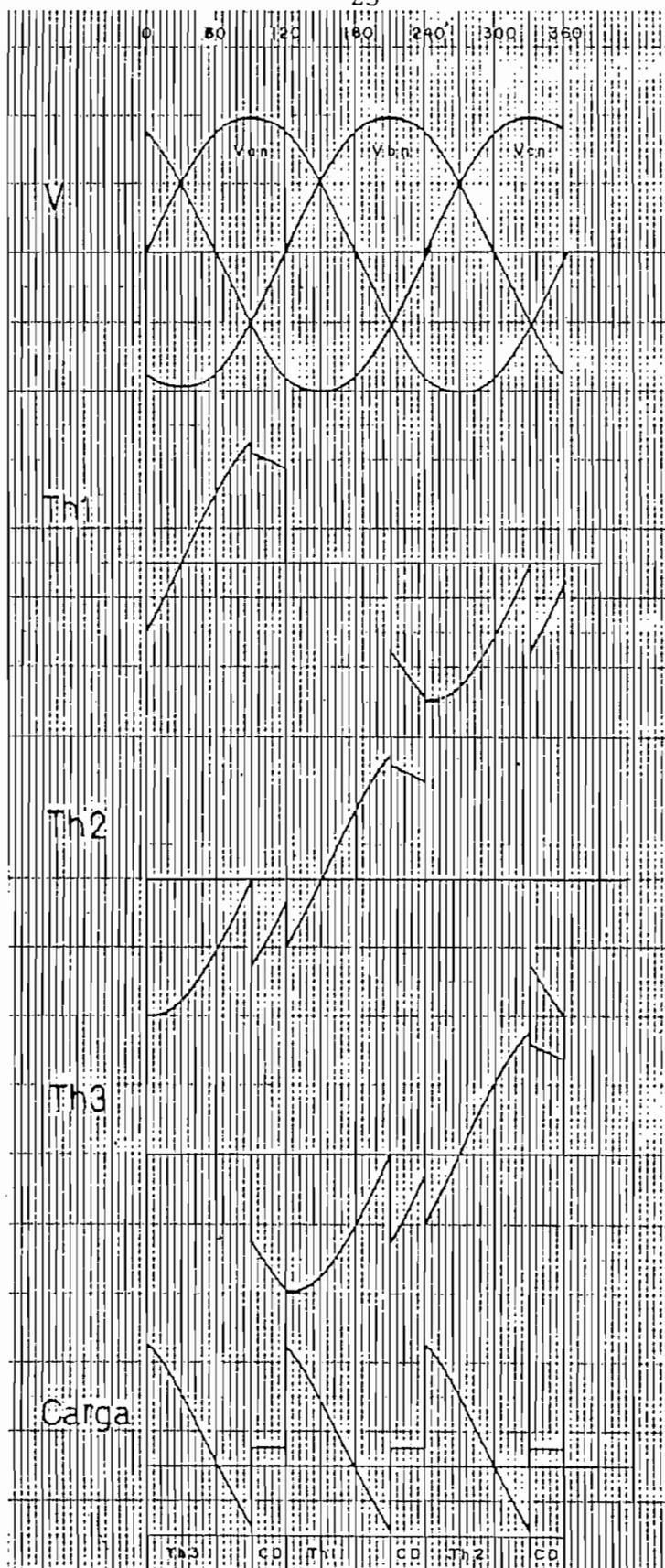


Fig. 2.8.b. Rectificador trifásico controlado de media onda
Conducción discontinua

rectificador no controlado, si los elementos constitutivos son diodos o en su defecto los tiristores se activan con un ángulo de retardo igual a cero. En tal caso se aplica el máximo voltaje medio a la carga.

El voltaje puede ser controlado hasta valores negativos, razón por la cual puede ser usado en un freno regenerativo.

De la figura 2.8.a. se puede desprender que cada elemento conduce 120 grados eléctricos mientras exista conducción continua, - transmitiendo a la carga pulsos de voltaje del mismo período.

La fuente entrega a la carga pulsos de corriente unidireccionales, que contienen una componente de continua que contribuye a la saturación de los transformadores de alimentación.

2.5. RECTIFICADOR TRIFASICO DE ONDA COMPLETA SEMICONTROLADO

En la figura 2.9 se encuentra el circuito correspondiente a este rectificador. Su operación es conveniente analizarla para ángulos de disparo menores de 60 grados y para ángulos mayores de 60 grados.

2.5.a. Ángulos de disparo menores de 60 grados

En el cuadro 2.2. se encuentran en forma resumida las funciones de voltaje sobre los distintos elementos y en la figura 2.10. su

representación gráfica, para un ángulo de 30 grados.

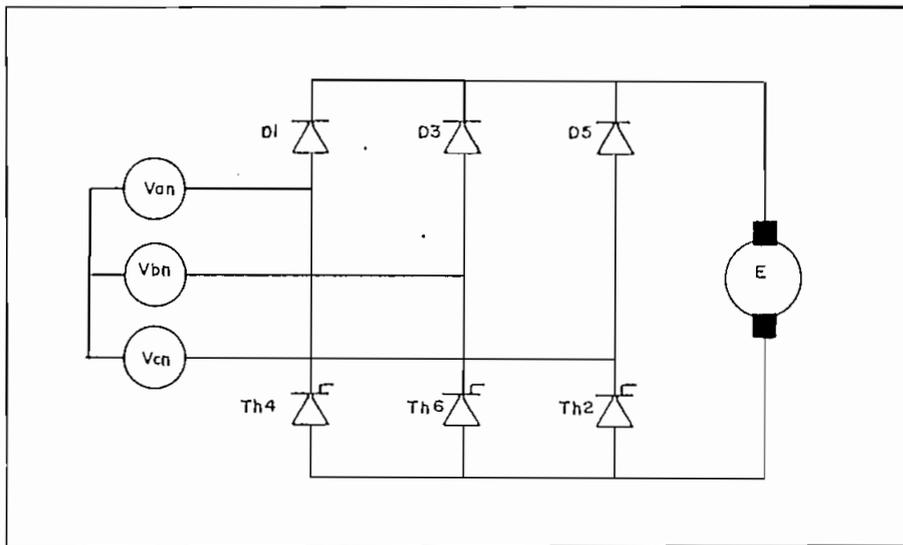


Fig. 2.9. Rectificador trifásico de onda completa semicontrolado

INTERVALO	V_{akD1}	V_{akTh2}	V_{akD3}	V_{akTh4}	V_{akD5}	V_{akTh6}	V_{carga}
360n							
360n+30	V_{ac}	V_{bc}	V_{bc}	V_{ba}	0	0	V_{cb}
360n+30							
360n+90+ α	0	V_{bc}	V_{ba}	V_{ba}	V_{ca}	0	V_{ab}
360n+90+ α							
360n+150	0	0	V_{ba}	V_{ca}	V_{ca}	V_{cb}	V_{ac}
360n+150							
360n+210+ α	V_{ab}	0	0	V_{ca}	V_{cb}	V_{cb}	V_{bc}
360n+210+ α							
360n+270	V_{ab}	V_{ac}	0	0	V_{cb}	V_{ab}	V_{ba}
360n+270							
360n+330+ α	V_{ac}	V_{ac}	V_{bc}	0	0	V_{ab}	V_{ca}
360n+330+ α							
360n+390	V_{ac}	V_{bc}	V_{bc}	V_{ba}	0	0	V_{cb}

CUADRO 2.2.



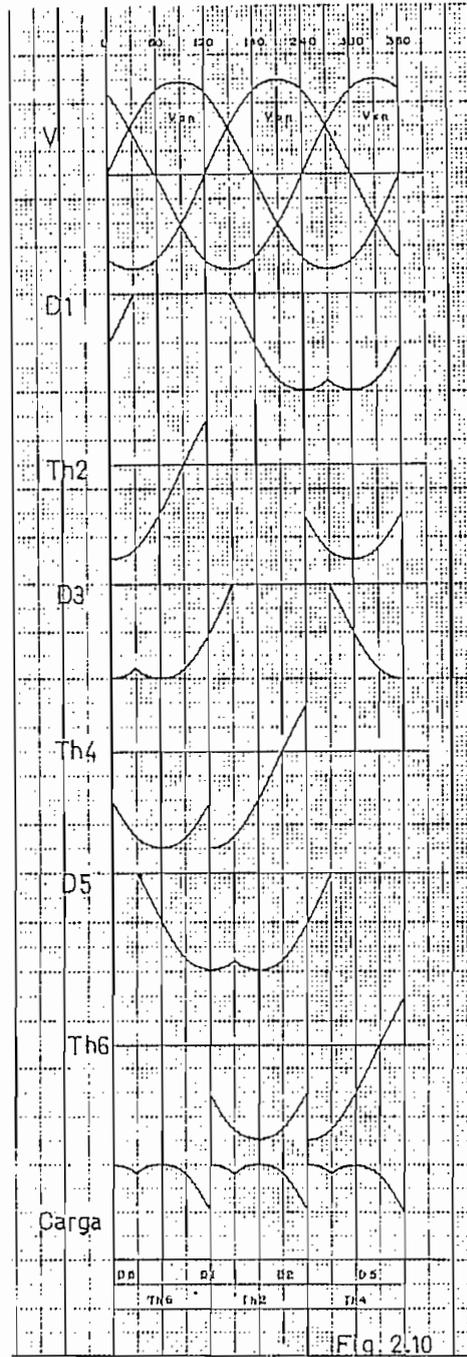


Fig. 2.10. Rectificador trifásico de onda completa semicontrolado (Angulo de disparo menor de 60°)

2.5.b. Ángulos mayores de 60 grados

En el cuadro 2.3. se presentan las funciones que determinan el voltaje sobre los distintos elementos del circuito y en las figuras 2.11.a. y 2.11.b. la presentación gráfica de las mismas, para los casos de (a) conducción continua y (b) conducción discontinua.

En este tipo de rectificadores y para este rango de ángulos se hace presente el efecto del diodo de recuperación.

INTERVALO	COND	V_{akD1}	V_{akTh2}	V_{akD3}	V_{akTh4}	V_{akD5}	V_{akTh6}	V_{carga}
360n	CC	V_{ac}	V_{ac}	V_{bc}	0	0	V_{ab}	V_{ca}
360n+30								
360n+30	CC	0	V_{ac}	V_{ba}	0	V_{ca}	V_{ab}	0
360n+30+ α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+30+ α	CC	0	V_{bc}	V_{ba}	V_{ba}	V_{ca}	0	V_{ab}
360n+150								
360n+150	CC	V_{ab}	V_{bc}	0	V_{ba}	V_{cb}	0	0
360n+150+ α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+150+ α	CC	V_{ab}	0	0	V_{ca}	V_{cb}	V_{cb}	V_{bc}
360n+270								
360n+270	CC	V_{ac}	0	V_{bc}	V_{ba}	0	V_{cb}	0
360n+270+ α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+270+ α	CC	V_{ac}	V_{ac}	V_{bc}	0	0	V_{ab}	V_{ca}
360(n+1)								

CUADRO 2.3.

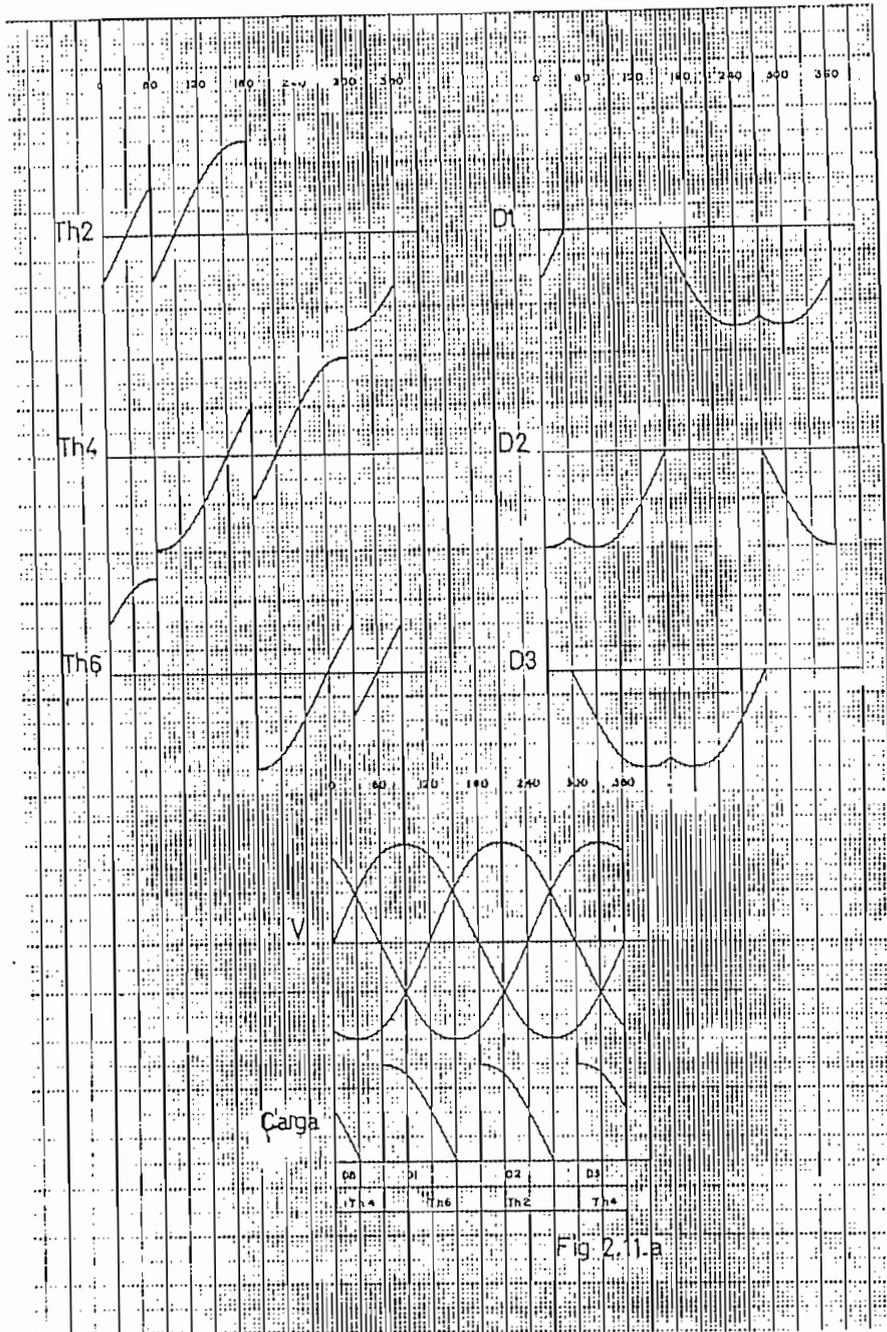


Fig. 2.11.a. Rectificador trifásico de onda completa semicontrolado
(Angulo de disparo mayor de 60°) Conducción continua

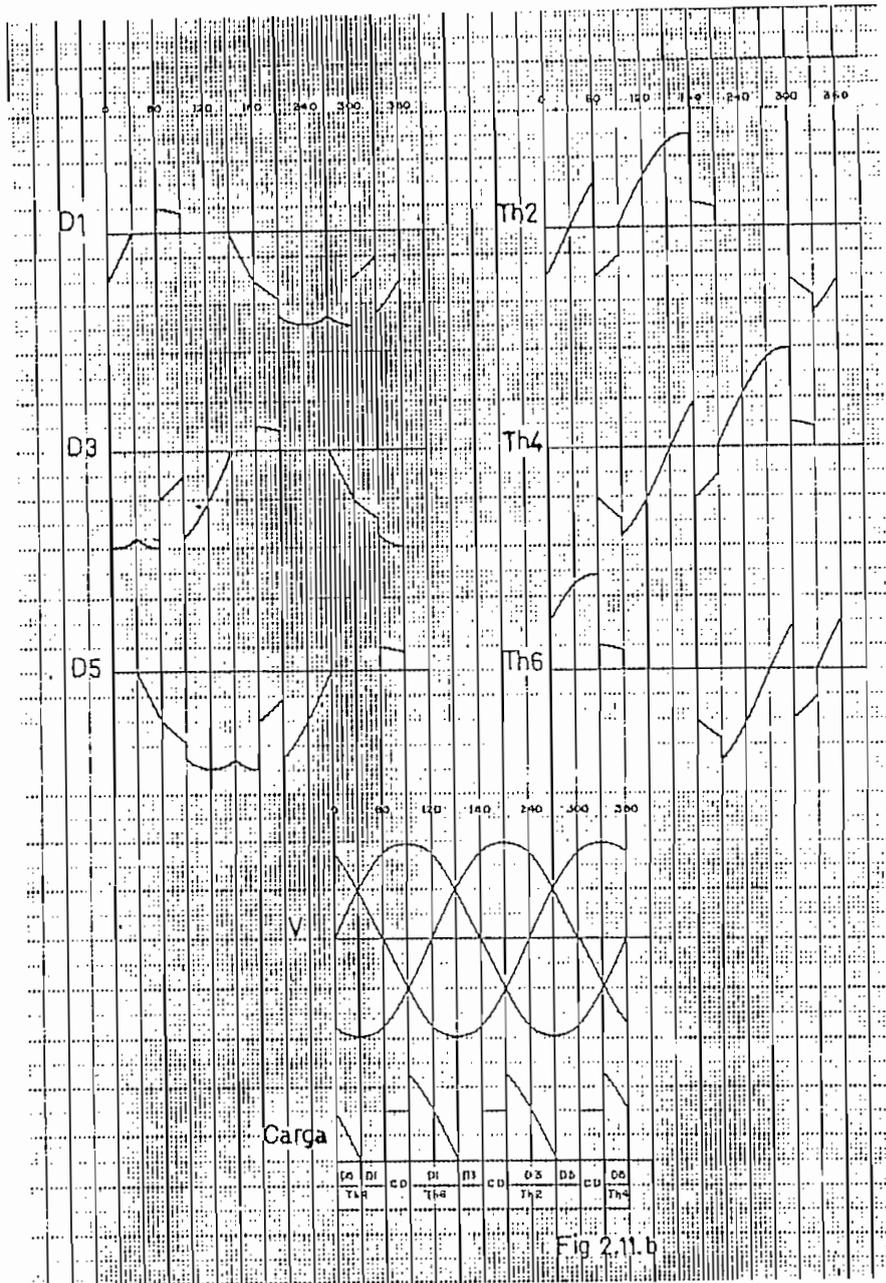


Fig. 2.11.b. Rectificador trifásico de onda completa semicontrolado
 (Angulo de disparo mayor de 60°) Conducción discontinua

2.6. RECTIFICADOR TRIFASICO CONTROLADO DE ONDA COMPLETA

En la figura 2.12 se muestra la configuración de este circuito rectificador. Las formas de onda de voltaje sobre los SCR y en la carga se encuentran en las figuras 2.13.a. (conducción continua), y 2.13.b. (conducción discontinua). Las funciones que determinan las mismas se encuentran en el cuadro 2.4.

INTERVALO	COND	V_{akTh1}	V_{akTh2}	V_{akTh3}	V_{akTh4}	V_{akTh5}	V_{akTh6}	V_{carga}
360n	CC	V_{ac}	V_{bc}	V_{bc}	V_{ba}	0	0	V_{cb}
360n+30+α	CD	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+30+α	CC	0	V_{bc}	V_{ba}	V_{ba}	V_{ca}	0	V_{ab}
360n+90+α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+90+α	CC	0	0	V_{ba}	V_{ca}	V_{ca}	V_{cb}	V_{ac}
360n+150+α	CD	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	E
360n+150+α	CC	V_{ab}	0	0	V_{ca}	V_{cb}	V_{cb}	V_{bc}
360n+210+α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+210+α	CC	V_{ab}	V_{ac}	0	0	V_{cb}	V_{ab}	V_{ba}
360n+270+α	CD	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	E
360n+270+α	CC	V_{ac}	V_{ac}	V_{bc}	0	0	V_{ab}	V_{ca}
360n+330+α	CD	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{bc}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ca}-E}{2}$	$\frac{V_{ab}-E}{2}$	E
360n+330+α	CC	V_{ac}	V_{bc}	V_{bc}	V_{ba}	0	0	V_{cb}
360n+390	CD	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ac}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{ba}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	$\frac{V_{cb}-E}{2}$	E

CUADRO 2.4.

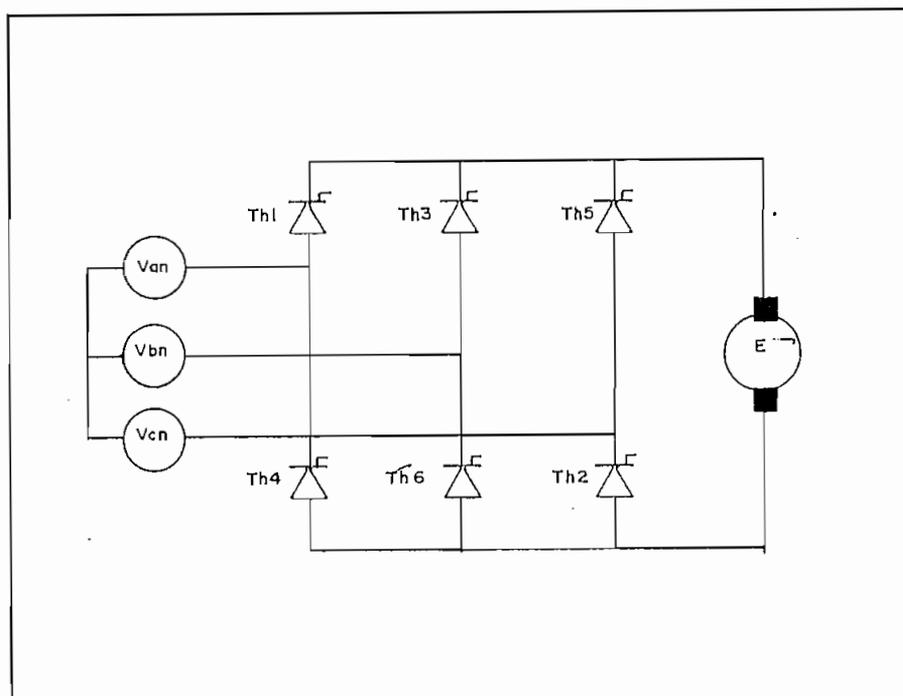


Fig. 2.12. Rectificador trifásico controlado de onda completa.

Los cuadros 2.2. y 2.4. han sido obtenidos bajo la suposición de que el ángulo de disparo es menor o igual a 30 grados; para ángulos mayores que este valor, los primeros semiconductores que se suponen están en conducción son los que llevan el subíndice 4 y 5 y es necesario analizar un intervalo adicional que tendría por límites $-360n$ y $\alpha-30+360n$. Las funciones de voltaje sobre los elementos serían los que corresponden a cuando los semiconductores anteriores (4 y 5) permiten el paso de corriente a la carga. El último intervalo ($360n+\alpha+330 - 360n+390$) desaparecería. El primer intervalo cambiaría sus límites a $\alpha-30+360n - 30+360n$ en el cuadro 2.2. y a $\alpha-30+360n - \alpha +30+360n$ en el cuadro 2.4.

El funcionamiento de este rectificador es semejante al del rectificador trifásico semicontrolado, cuando este está trabajando para ángulos de disparo menores que 60 grados; por lo tanto las funciones que determinan el voltaje ánodo-cátodo sobre los elementos y

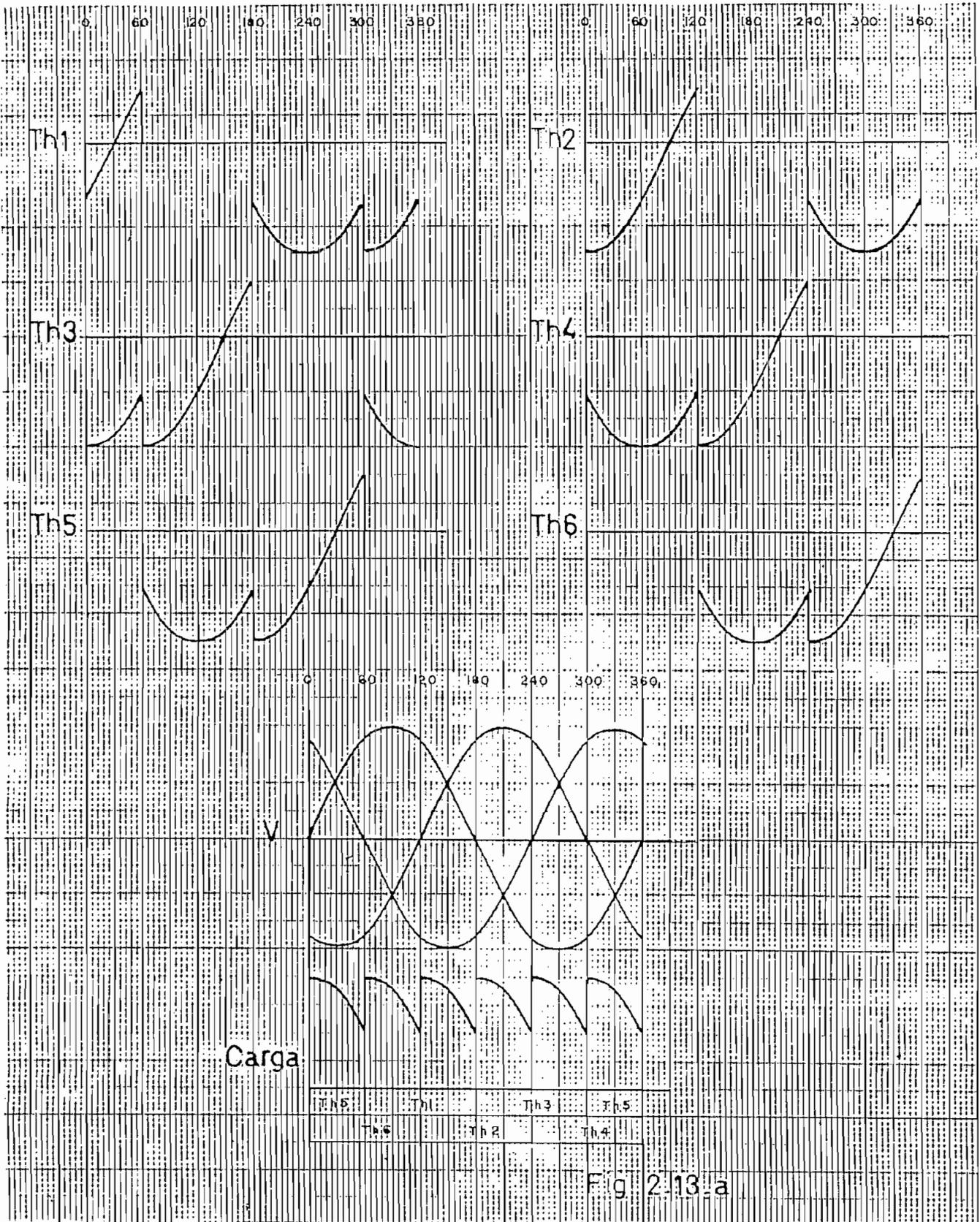


Fig. 2.13.a. Rectificador trifásico controlado de onda completa

Conducción continua

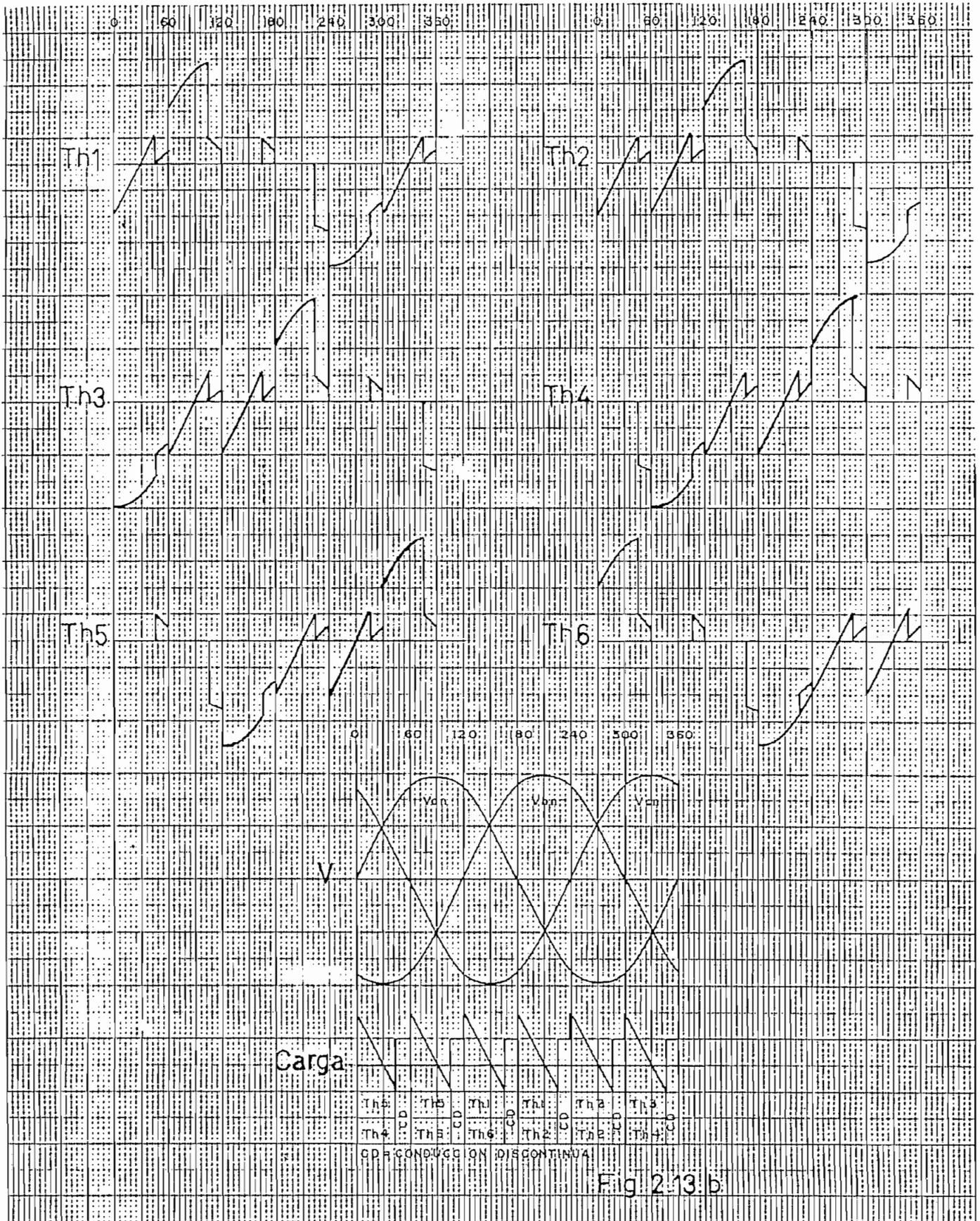


Fig. 2.13.b. Rectificador trifásico controlado de onda completa
Conducción discontinua

sobre la carga se mantienen. La única diferencia es que al ser reemplazados los diodos superiores por tiristores estos entrarán a conducir una vez que su voltaje de polarización sea positivo y además exista un impulso en su compuerta.

Se puede ver de las figura 2.8.a, 2.10., 2.11.a. y 2.13.a., que el posible período de conducción de todos los semiconductores es 120 grados eléctricos; sin embargo el voltaje que aparece a la carga es diferente. En el rectificador trifásico de media onda el período del voltaje de la carga es 120 grados y la amplitud es igual al del voltaje fase-neutro. En el semicontrolado el período sigue siendo 120 grados para ángulos de disparo menores de 60 grados, pero existe dos pulsaciones de voltaje por período y para ángulos mayores de 60 grados el período se mantiene en 120 grados, pero las pulsaciones de voltaje se reducen a una por período mientras la amplitud del voltaje comunicado a la carga es igual al voltaje de línea de la red. En cambio en el trifásico controlado el período es 60 grados y la amplitud la de la línea.

En todos los semiconductores de los rectificadores trifásicos analizados el máximo voltaje de polarización inversa que soportan, es igual al máximo voltaje negativo de línea de la red.

La conducción en el rectificador de media onda, desde el punto de vista de la fuente, es unidireccional, de tal manera que la corriente tiene una componente continua. En cambio en los dos restantes es bidireccional y simétrica, con componente continua nula.

Hay que tomar en cuenta que en este trabajo se ha considerado a los elementos semiconductores como interruptores ideales y además que estos no presentan problemas en el instante de su conmutación.

2.7. EL TROCEADOR

El troceador es un convertidor con conmutación forzada, que a partir de un voltaje de continua entrega a la carga una señal casi cuadrada de voltaje. Dentro de los troceadores hay una gran variedad, pero será analizado brevemente el circuito troceador cuya configuración se muestra en la figura 2.14., y las formas de onda de voltaje sobre sus elementos en la figura 2.15., suponiendo una conducción continua.

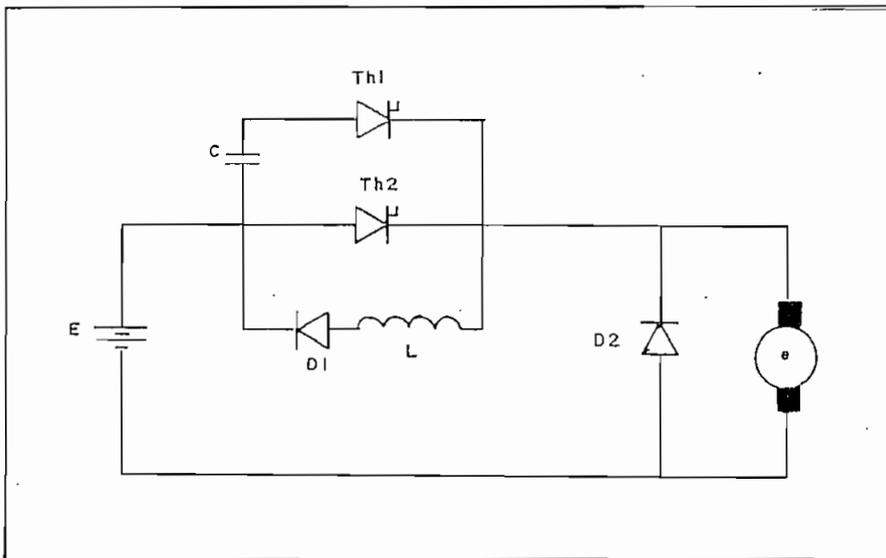


Fig. 2.14. Troceador

Para su análisis es conveniente dividir su período de trabajo en cuatro intervalos:

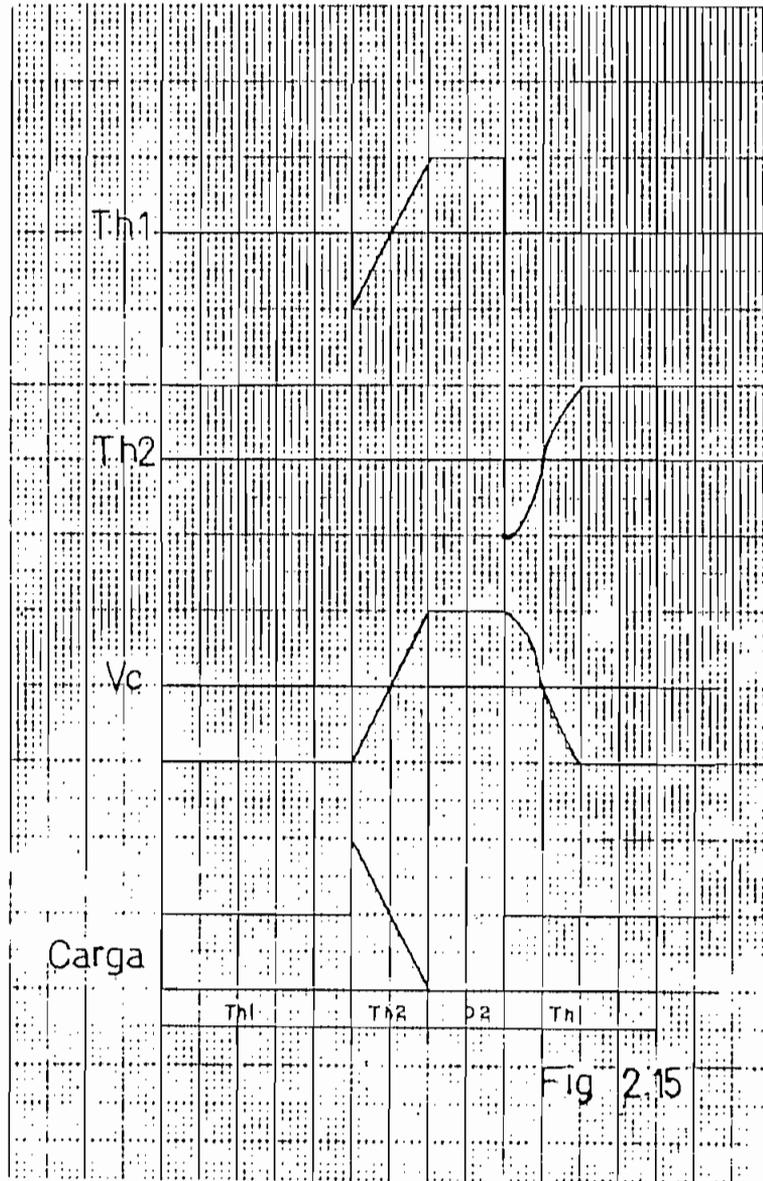


Fig. 2.15. Troceador

1. Th1 activado: La corriente fluye a través del tiristor principal a la carga. El tiristor secundario se mantiene polarizado directamente y el voltaje aplicado a la carga es el de la fuente.

2. Th2 activado: Al entrar a la conducción el tiristor secundario, el voltaje del condensador aparece a las terminales del tiristor principal, polarizándolo inversamente. Bajo la suposición de que la corriente de la carga es constante en este intervalo de conmutación, el condensador se carga hasta obtener un voltaje igual al que poseía pero de sentido contrario (+E). El voltaje que aparece a la carga es el resultado de las diferencias de potencial a los terminales de la fuente menos la diferencia de potencial sobre el condensador. Este intervalo acaba el momento en que el condensador ha obtenido su carga máxima y la corriente en Th2 es cero.

3. Diodo de recuperación activado: Una vez que el condensador se ha cargado, la corriente del tiristor secundario se transfiere al diodo de retorno. El voltaje que aparece a los terminales de la carga es cero. Este intervalo durará hasta que la corriente se haga cero o hasta que se active el tiristor principal.

4. Conmutación del diodo al tiristor: En el momento del disparo del tiristor principal, el condensador entra en reso-

nancia con la bobina de conmutación y como consecuencia invierte la polaridad del voltaje a sus terminales, en un tiempo igual a $t = \pi/LC$, quedando de esta manera el condensador preparado para el apagado del tiristor principal.

En cuanto a los circuitos de control del troceador, se pueden definir de dos tipos: Uno en el cual permanece constante el período y se varía el tiempo de conducción del tiristor principal; y el otro en el cual el período es variable y el intervalo de conducción de $Th1$ permanece constante. Con esto lo que se consigue es variar el voltaje medio aplicado al motor, pudiendo de esta manera efectuar el control del mismo.

C A P I T U L O I I I

PROGRAMA DIGITAL

Con el programa digital se simulará el arranque, estado estable o perturbación de una máquina de continua, ya sea en su conexión en derivación, excitada independientemente, o en su conexión en serie, alimentada por circuitos rectificadores, en los cuales se puede considerar o no el efecto del diodo de recuperación. Existe también la posibilidad de simular el comportamiento de la máquina alimentada por un circuito troceador.

Debido a las características no lineales de las ecuaciones - que representan a la máquina y a las formas discontinuas que presentan las ondas de voltaje y corriente, es necesario la utilización - del proceso iterativo Runge-Kutta de Cuarto Orden para la solución de dichas ecuaciones, ya que el mismo permite trabajar con intervalos de integración variable.

El programa digital ha sido desarrollado en lenguaje BASIC para el microcomputador Tektronix 4051.

El programa digital consta de un programa principal de enlace y de 17 subprogramas, que se los puede representar en dos bloques totalmente generales como se indica en la figura 3.1.

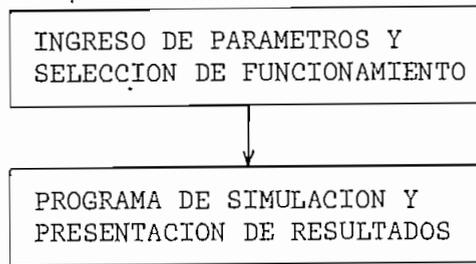


Figura 3.1.

Representación de bloques del programa digital

3.1. INGRESO DE PARAMETROS Y SELECCION DE FUNCIONAMIENTO

Este bloque constituye el programa principal de enlace. La lógica desarrollada en el mismo permite el ingreso de los parámetros de la máquina, así como la selección del tipo de motor, la forma de funcionamiento y el tipo de alimentación que posee. En la figura 3.2. se muestra su diagrama de flujo.

En este diagrama se puede ver que a la vez que se ha seleccionado el tipo de motor se define la variable J1 que toma el valor de 1 si se trata de una máquina shunt y de 2 si es un motor serie. De acuerdo con el valor de esta variable se procede a cargar el computador con las instrucciones correspondientes, es decir, pasa al computador el subprograma MOTODE (Motor derivación) en el primer caso o el subprograma MOTOSE (motor serie) en el segundo caso.

El programa continúa con la lectura de los datos almacenados en el archivo PARAMED (parámetros motor derivación) o en el archivo PARAMES (parámetros motor serie), dependiendo de la selección hecha, que corresponden a los parámetros del último motor shunt y serie res

pectivamente, que se utilizó. Estos datos pueden ser utilizados en la simulación pero aceptan ser cambiados; en tal caso, luego de ser modificados son guardados en el archivo del mismo nombre del cual fueron leídos, perdiéndose los anteriores.

Al seleccionar el tipo de funcionamiento, es decir, si el motor va a partir del reposo o si el motor ha sufrido una perturbación de su estado estable, se define la variable J2 cuyo valor es 1 en la simulación del arranque y 2 en la modificación del estado en que se encontraba.

Dependiendo el valor que tenga esta variable y J1, se puede cargar al computador uno de cuatro subprogramas como se indica en el CUADRO 3.1. Todos estos subprogramas permiten establecer las condiciones iniciales de funcionamiento de la máquina.

<u>VALOR J1</u>	<u>VALOR J2</u>	<u>NOMBRE ABREVIADO</u>	<u>N O M B R E</u>
1	1	MDA	Motor derivación arranque
1	2	MDP	Motor derivación perturbación
2	1	MSA	Motor serie arranque
2	2	MSP	Motor serie perturbación

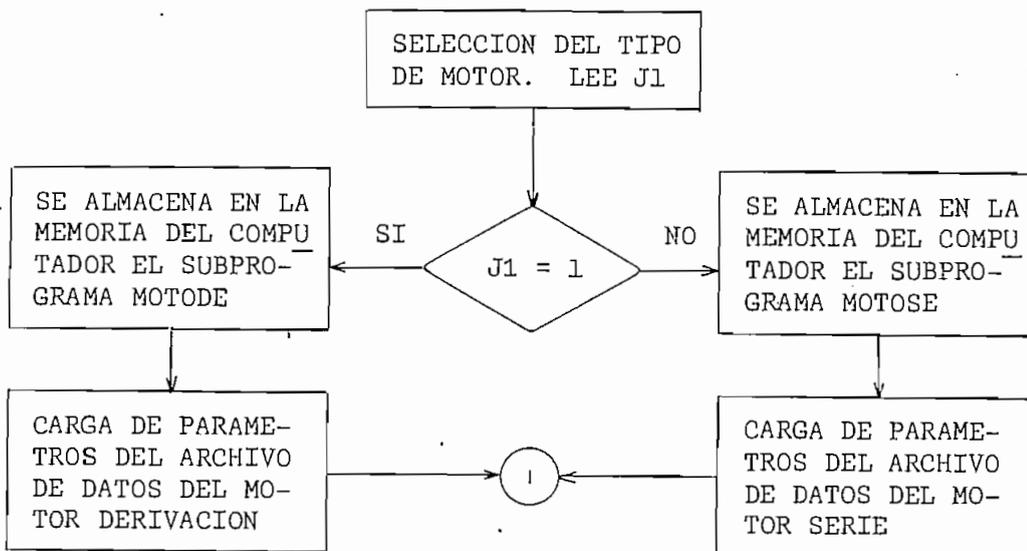
CUADRO 3.1.

Estos últimos subprogramas se ejecutan enseguida de que han sido cargados en el computador, lo que no sucede con los subprogramas MOTODE y MOTOSE que deben esperar para su funcionamiento hasta

que los subprogramas de simulación de la fuente de alimentación se almacenen en la memoria y ejecuten. Los subprogramas de alimentación pasan del disco a la memoria del computador, una vez que ha sido definida la variable J3, y según su valor se puede seleccionar distintos tipos de circuitos de alimentación como se puede observar en el CUADRO 3.2.

J3	NOMBRE ABREVIADO	N O M B R E	EFECTO DEL DIODO DE RECUPERACION
1	REC2SD	Rectificador de 2 pulsos	No
2	REC3SD	Rectificador de 3 pulsos	No
3	REC6SD	Rectificador de 6 pulsos	No
4	REC2CD	Rectificador de 2 pulsos	Si
5	REC3CD	Rectificador de 3 pulsos	Si
6	RECSCCD	Rectificador semicontrolado 6 pulsos	Si
7	REC6CD	Rectificador 6 pulsos	Si
8	TRO	Troceador	Si

CUADRO 3.2.



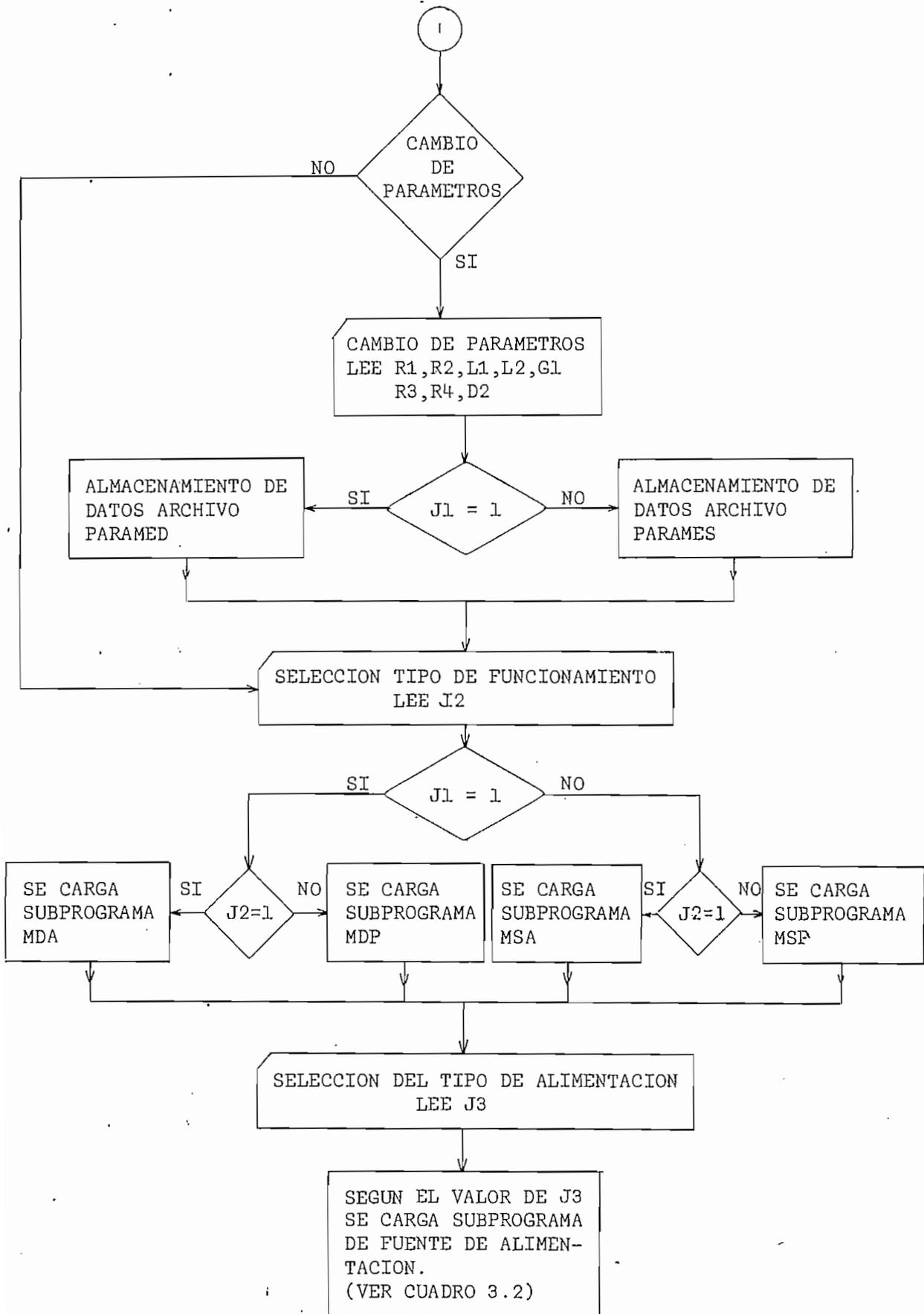


Figura 3.2.

Diagrama de Flujo del Programa Principal

3.2. PROGRAMA DE SIMULACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS

Este bloque puede ser dividido en 3 partes plenamente definidas:

- Subprograma de condiciones iniciales
- Ingreso de los parámetros de la fuente de alimentación y su simulación
- Subrutina de integración y presentación de resultados.

3.2.1. CONDICIONES INICIALES

Existen 4 subprogramas de los cuales 2 son referidos para la máquina shunt y 2 para la máquina serie.

- MDA (Motor derivación arranque).- Debido a que la máquina está en reposo todas las variables con respecto al tiempo en el instante $t = 0$ deben ser cero. El subprograma permite el ingreso del voltaje con el cual va a ser excitado el campo(Vl). Además las variables que se definen son:

Y(1) = 0	Corriente de campo
Y(2) = 0	Corriente de armadura
Y(3) = 0	Velocidad
M = 0	
N2 = 0	
N = 3	

Donde M es una variable que permite determinar en que paso del proceso Runge-Kutta se encuentra el cálculo; N2 es un contador de los puntos calculados; N determina el número de ecuaciones diferenciales que se utiliza en el modelo.

- MSA (Motor serie arranque).- Este subprograma es muy similar al anterior con la diferencia que solo existe una corriente y que el número de ecuaciones diferenciales es 2.

- MDP (Motor derivación perturbación).- Mediante este subprograma es posible el ingreso de los valores de corrientes de campo y de armadura, así como del voltaje de alimentación del campo.

Además define la variable J4 mediante la cual se selecciona el tipo de perturbación que se va a realizar:

J4 = 1 Variación brusca del torque (T3). La simulación digital está hecha para una carga dinámica, es decir una carga que presenta un torque de oposición al motor en función de la velocidad. La perturbación consiste en reemplazar este tipo de carga por otra que es constante con respecto a la velocidad y el tiempo. En realidad la modelación digital que se analiza acepta cualquier tipo de carga, pero se ha tomado este caso como un ejemplo. De esta manera, es necesario ingresar un nuevo parámetro T8, que representa el nuevo torque constante.

J4 = 2 Inversión del campo. Al producirse la inversión del campo, en la realidad, la corriente del mismo cambia de sentido lo cual puede ser simulado si el voltaje de campo se cambia de signo, para lo cual es necesario definir una variable $V3 = -V1$

J4 = 3 Cortocircuito del campo. Se puede considerar como un caso particular del anterior, en el cual el voltaje $V1$ debe hacerse cero.

El diagrama de flujo de este subprograma se encuentra en la figura 3.3. La perturbación puede producirse en el instante en que el usuario lo desee, con respecto al tiempo simulado del proceso Runge-Kutta (T), para lo cual se ingresa la variable T7. Esta última variable tiene importancia, pues una vez que ha transcurrido el tiempo que ella representa se produce la perturbación y en tal caso se procede a reemplazar la función de torque de la carga (T3) por el torque constante (T8); o a cambiar $V1$ por $V3$ (inversión del campo) y o a cortocircuitar el campo ($V1 = 0$), según sea la perturbación escogida.

Es necesario aclarar que estos reemplazos son realizados en la subrutina de integración, que se explicará posteriormente.

- MSP (Motor serie perturbación).- Este subprograma es muy semejante al anterior, la diferencia existente se debe a la inicialización de las variables y el valor que puede tomar J4:

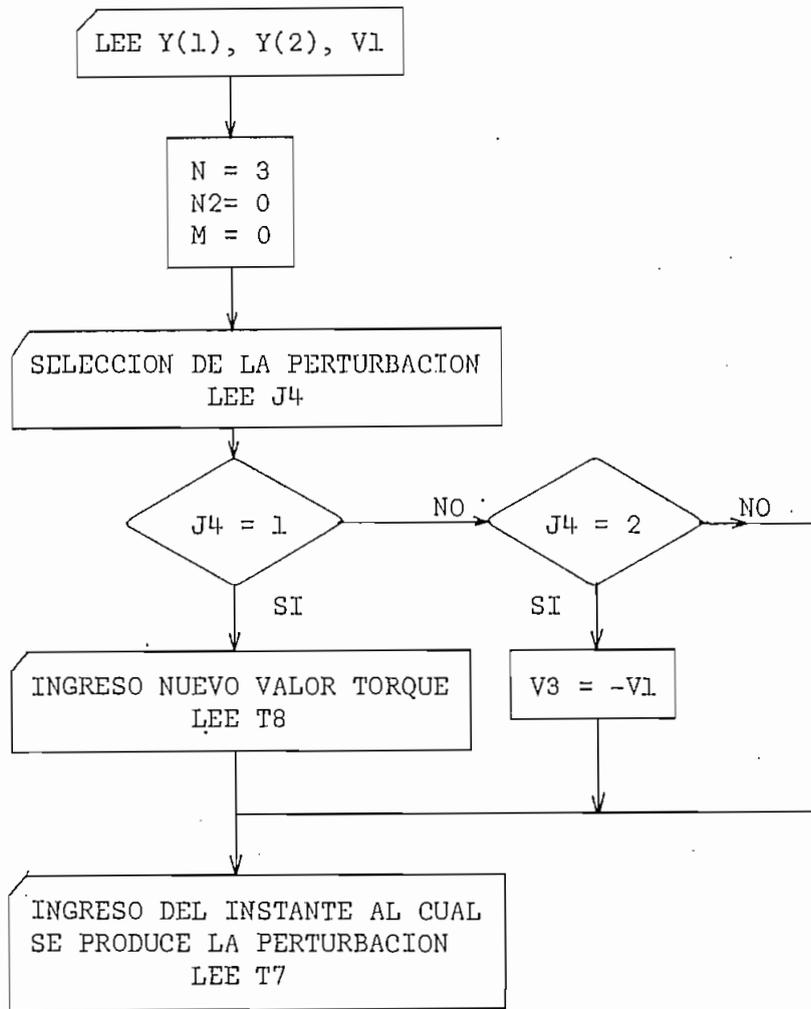


Figura 3.3.

Diagrama de Flujo del Subprograma MDP

J4 = 1 Variación brusca de la carga. La simulación es idéntica a la del motor en derivación.

J4 = 2 Variación de la resistencia de arranque. Consiste en ingresar una variable R5, que una vez transcurrido el tiempo T7, asignará su valor a la resistencia de arranque R4.

El diagrama de flujo de este subprograma se encuentra en la

figura 3.4.

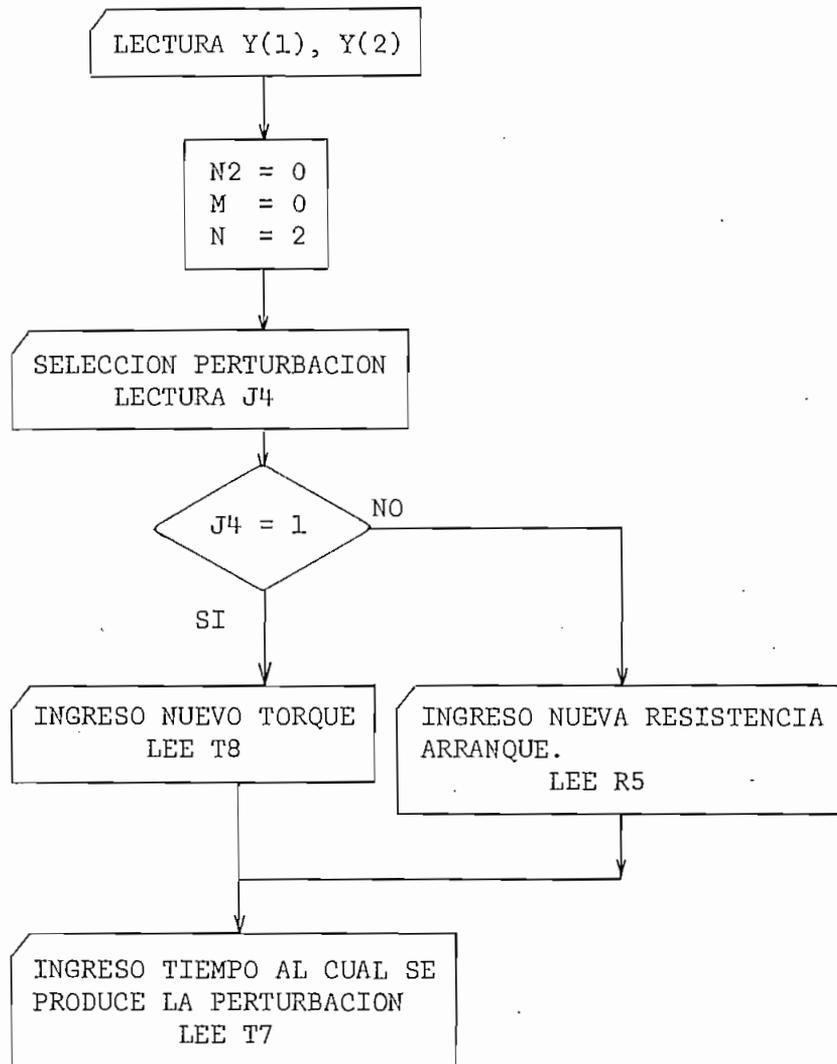


Figura 3.4.

Diagrama de Flujo del Subprograma MSP

3.2.2. FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación a la armadura puede ser un rectificador o un troceador, y dentro de los rectificadores los que pueden ser seleccionados de acuerdo al valor que puede tener J3.

- REC2SD (Rectificador de dos pulsos sin considerar el efecto del diodo de retorno).- A través de este subprograma se ingresa:

VØ Voltaje RMS de alimentación de la red

FØ Frecuencia de la red

Al Angulo de retardo de los tiristores

NØ Número de puntos que se desea calcular

N1 Número de puntos por período de posible conducción, es decir, el número de intervalos en que se va a dividir el período de la onda de voltaje que alimenta al motor. La figura 3.5., muestra un ejemplo para N1 = 12, suponiendo una conducción continua.

Como se ve, de una manera implícita, N1 determina el intervalo de integración del proceso Runge-Kutta, el mismo que no será alterado mientras exista conducción continua, en caso contrario se lo ajusta de acuerdo a las necesidades, como se explicará posteriormente.

Y las variables que se inicializan son:

$VØ = \sqrt{2} \cdot VØ$ Voltaje pico

$W = 2 \cdot \text{PI} \cdot FØ$ Frecuencia angular

DØ = 0 Contador del número de períodos

KØ = 0 Seleccionador de la función sinusoidal que se aplica a la máquina, puede valer 0 1,2.

T = Al/W Tiempo inicial del proceso Runge-Kutta

$H = \pi/\omega/N1$ Intervalo de integración de conducción continua
 $I2 = 2$ Bandera que se utiliza para calcular un paso de integración más, luego de una conducción discontinua.

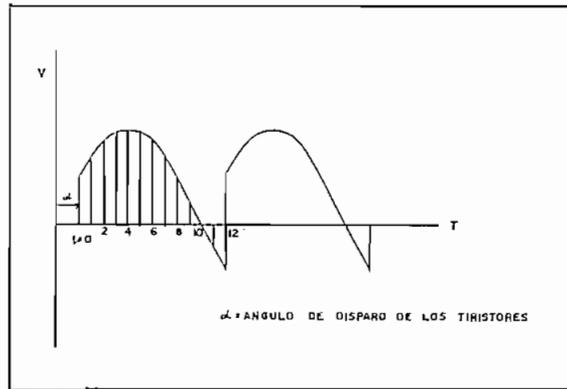


Fig. 3.5. Determinación del Intervalo.

En la figura 3.6. se indica gráficamente lo que representan los parámetros $K\emptyset$ y $D\emptyset$.

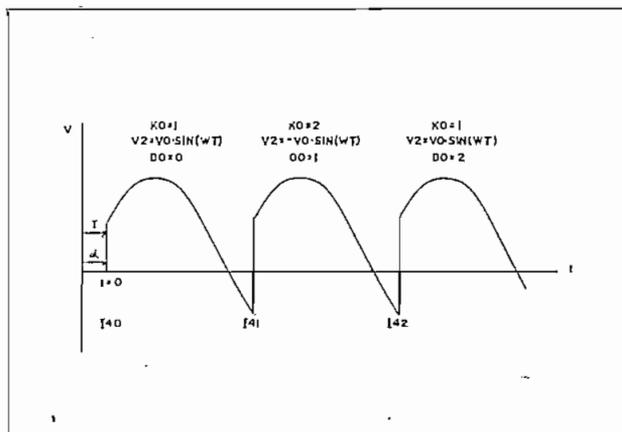
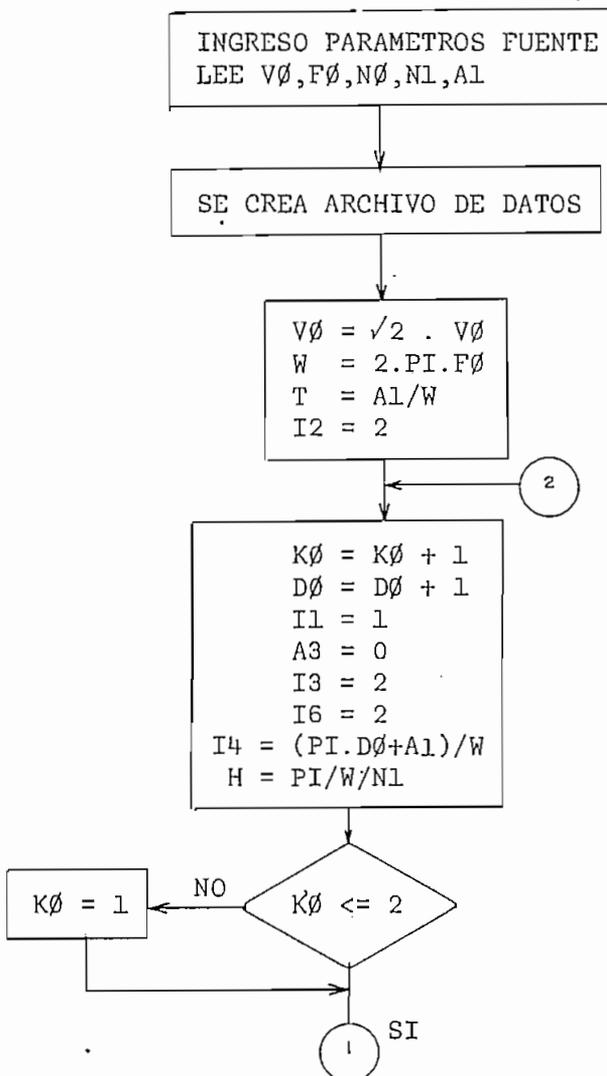


Fig. 3.6. Representación gráfica de $K\emptyset$ y $D\emptyset$.

Hasta este punto se ha completado el ingreso de los parámetros de la fuente de alimentación y comienza su simulación. El diagrama de flujo se encuentra en la figura 3.7.

La lógica que se sigue, salvo al inicio, es averiguar si el proceso Runge-Kutta se ha completado ($M = 0$); si el mismo no ha concluido se pregunta si existe una conducción continua ($I_{ll} = 1$) o discontinua ($I_{ll} = 2$). Si la conducción es continua, se selecciona el voltaje de alimentación de acuerdo al valor que tenga $K\theta$ y se vuelve al proceso Runge-Kutta. Si el proceso iterativo de integración se ha completado, se pregunta si el tiempo, en el cual se encuentra este proceso, es igual al tiempo en que debe ocurrir el próximo disparo de los tiristores ($T = I_4$). Si la respuesta es falsa se vuelve a repetir el procedimiento anterior; de lo contrario, el tiempo T del Runge-Kutta se hace igual al tiempo de disparo de los SCR (I_4), que es función de $D\theta$ y del ángulo de disparo de los mismos A_1 , consiguiéndose con esto una minimización del error del tiempo del Runge-Kutta ya que este es la suma de todos los intervalos de integración del período de posible conducción, luego se investiga si ha existido conducción discontinua, en tal caso, se pregunta si el voltaje inducido de la máquina es mayor que el voltaje instantáneo que se debe aplicar al mismo, es decir, si existe una polarización directa de los SCR. Si la polarización no es la correcta se va a una subrutina que modifica el ángulo de disparo de los tiristores. Este cambio del ángulo se realiza una sola vez por

período de posible conducción, debido a que se quiere simular un control que envía un tren de pulsos al rectificador, lo cual se consigue con la bandera I6 cuyo valor es 2 cuando no ha existido cambio y 1 en caso contrario. Si existe cambio se ejecuta un paso más de integración; para posteriormente ir a incrementar el valor de $K\phi$ y $D\phi$ en 1, es decir, cambiar la función del voltaje de alimentación del motor y pasar a otro período de conducción. En este punto se cambia el estado de las banderas I1, I3 e I6 a valores que corresponden a conducción continua $I1 = 1$, $I3 = 2$ e $I6 = 2$.



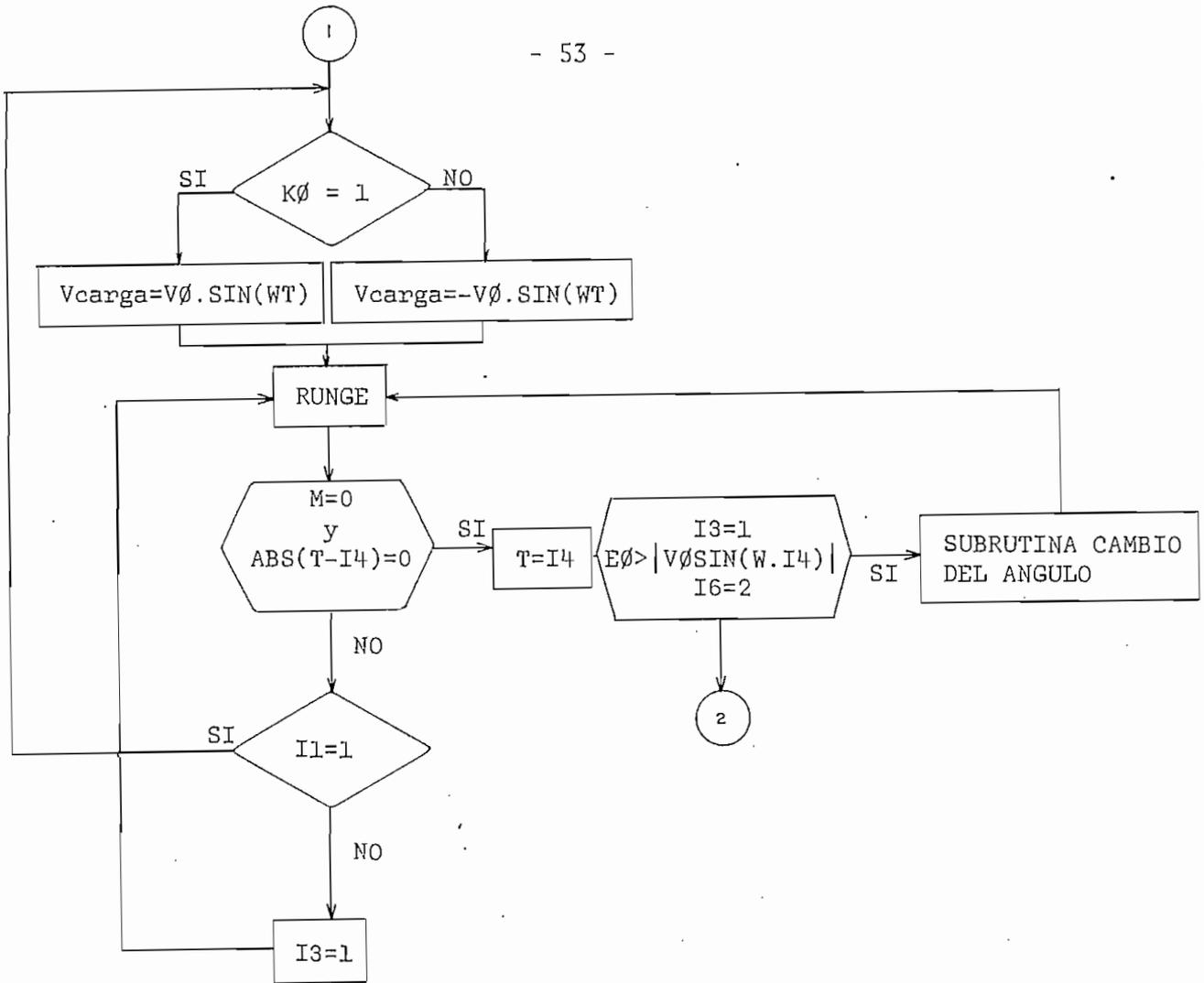


Figura 3.7.
Diagrama de Flujo del Subprograma REC2SD

También se inicializa un contador N3 cuya función es determinar el número de puntos que se han calculado en conducción continua. Se define un nuevo valor de I4 y se vuelve a asignar el valor de conducción continua al intervalo de integración H. Por último se pregunta si el valor de $K\phi$ está dentro de los permitidos y el proceso lógico vuelve a repetirse.

En el caso de que la polarización de los tiristores es la correcta, luego de una conducción discontinua, o ha existido conducción continua, se va directamente a incrementar $K\phi$, $D\phi$ y a definir las variables ya antes indicadas y se sigue con el proceso indicado.

El momento en que se produce una conducción discontinua la bandera I3 se hace igual a 1, lo que significa que el voltaje a los terminales de la máquina es el voltaje inducido y se vuelve a la subrutina de integración; esta lógica se repite hasta que se produzca el disparo del próximo tiristor; posteriormente se siguen los pasos anteriormente explicados.

La subrutina de cambio de ángulo entra en funcionamiento solo cuando ha existido una conducción discontinua y está a punto de ocurrir un nuevo disparo. Se encarga de "pronosticar" el valor que tendrá el voltaje inducido al tiempo $t = I4 + H$ tomando como base para esto los 3 valores anteriores que tuvo el mismo, es decir, con los 3 últimos valores se obtiene una función cuadrática, cuyo valor al instante $t = I4 + H$, debe ser por lo menos igual a la función sinusoidal que se debe aplicar al motor en ese momento, como se indica en la figura 3.8.

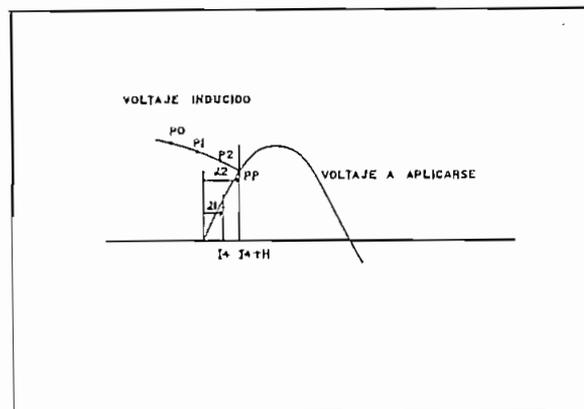


Fig. 3.8. Determinación del nuevo ángulo de retardo en el activado de los tiristores.

En la Figura 3.8:

P0, P1, P2 Ultimos 3 puntos del voltaje inducido

PP Punto a pronosticarse

α_1 Angulo de disparo anterior

α_2 Angulo de disparo nuevo

Este procedimiento no es un cálculo exacto pero es una buena aproximación.

Una vez que se ha obtenido la función del voltaje inducido y la solución de la ecuación $f(E) = V_0 \cdot \text{SIN}(WT)$ se corrige el intervalo de integración, se cambia el valor de I6 a 1 y se define un nuevo valor de I4 y del ángulo de disparo A1.

- REC3SD (Rectificador de 3 pulsos sin considerar el efecto del diodo de recuperación).- Es igual al anterior con las siguientes diferencias:

$T = (A1 + \text{PI}/6) / W$ Tiempo inicial del proceso Runge-Kutta.

KØ Puede valer 0, 1, 2, 3

$I4 = (\text{PI}/6 - (1 + 4 \cdot DØ) + A1) / W$ Tiempo de disparo del próximo tiristor.

$M = 2 : \text{PI}/3 / W / N1$

- REC6SD (Rectificador de 6 pulsos sin considerar el efecto del dio-

do de recuperación).- Igual al anterior, pero varía:

$V\emptyset = \sqrt{6} \cdot V\emptyset$ Voltaje pico

$K\emptyset$ Puede valer 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6

$I4 = (PI/6 \cdot (1+2 \cdot D\emptyset) + A1)/W$ Tiempo de disparo del próximo tistor.

-REC2CD (Rectificador de 2 pulsos tomando en cuenta el efecto del diodo de recuperación).- Este subprograma es muy semejante al del rectificador de 2 pulsos sin considerar el efecto del diodo de recuperación, con la diferencia de que se definen dos intervalos de integración:

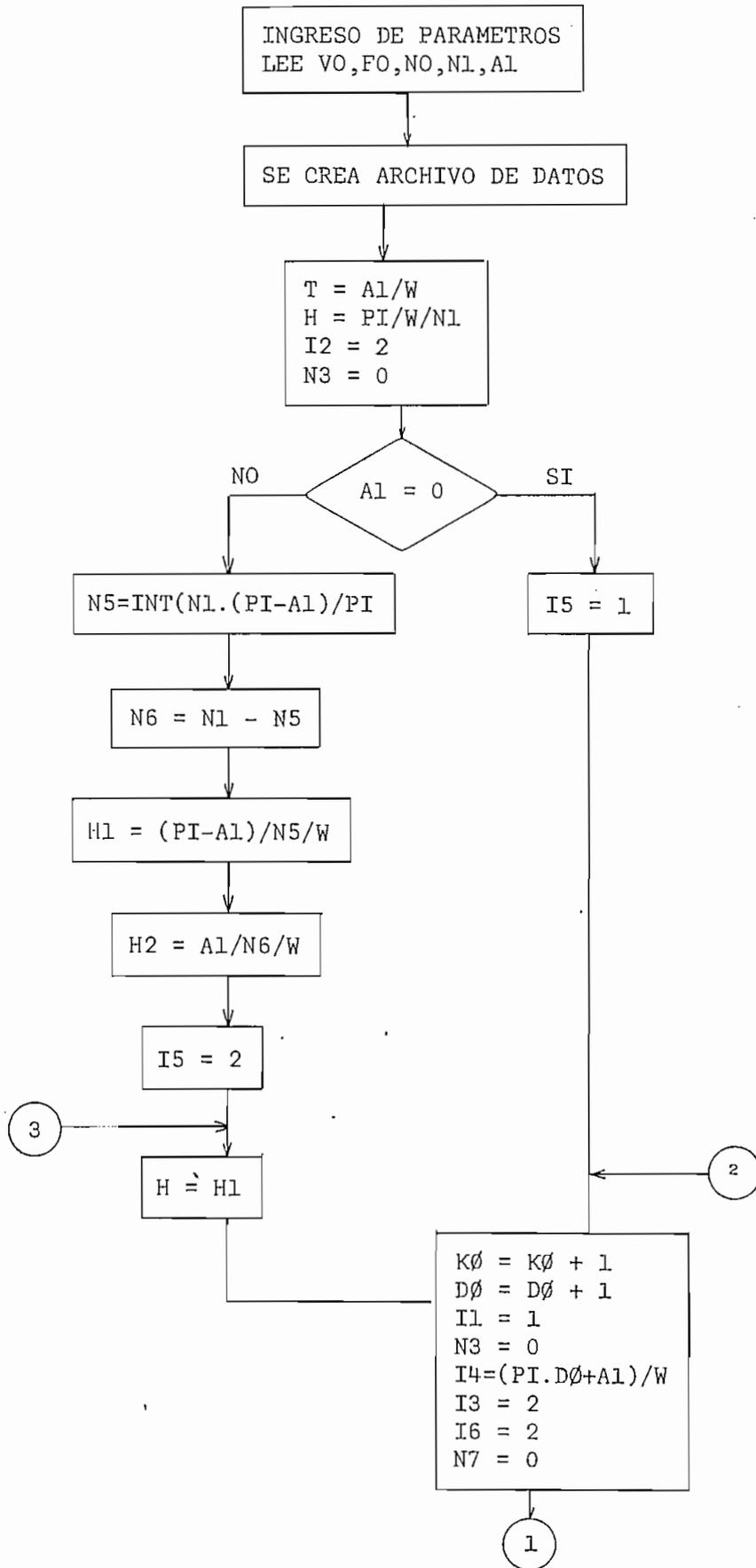
$N5 = INT(N1 \cdot (PI - A1)/PI)$ Número de puntos a calcularse en el intervalo en que la onda de voltaje de alimentación es positiva.

$N6 = N1 - N5$ Número de puntos a calcularse en el intervalo en que la onda de voltaje de alimentación es cero.

$H1 = (PI - A1)/N5/W$ Paso de integración para el primer intervalo.

$H2 = A1/N6/W$ Paso de integración para el segundo intervalo.

El diagrama de flujo de este subprograma se indica en la figura 3.9.



En este subprograma se pregunta si el ángulo de retardo es cero, pues es el único ángulo en el cual el efecto del diodo de recuperación no existe, es decir la onda de voltaje de alimentación no cruza por cero. Si la respuesta es afirmativa se define la bandera $I5 = 1$; de lo contrario se hace $I5=2$

Otra diferencia con el subprograma REC2SD es que cuando existe conducción continua y el proceso Runge-Kutta no se ha terminado o se ha terminado pero el período de posible conducción no se ha completado se pregunta por el valor de $I5$. Si $I5 = 2$ y se ha completado el proceso Runge-Kutta se incrementa el contador $N7$ en 1 para luego ser comparado con el número de puntos que debe existir cuando la onda de voltaje es positiva ($N5$). El momento en que $N7$ es igual a $N5$ se cambia el intervalo de integración ($H = H1$) y el voltaje aplicado al motor se hace cero y se regresa al proceso Runge-Kutta. Si el número de puntos es menor se mantiene el mismo intervalo de integración ($H = H1$) y el voltaje de armadura viene determinado por el tiempo T y el valor de $K\emptyset$.

La última diferencia existente es que luego de que se ha completado el proceso Runge-Kutta, se ha determinado el período de posible conducción y el tiristor está en posibilidad de entrar a conducir, se pregunta nuevamente por el valor de $I5$, si es igual a 1 se incrementa $K\emptyset$ y $D\emptyset$ como se hace en el REC2SD y si $I5 = 2$ se cambia nuevamente el intervalo de integración ($H = H1$) y se sigue la misma lógica que en el caso

de $I_5 = 1$.

-REC3CD (Rectificador de 3 pulsos considerando el efecto del diodo de recuperación).- Es igual al subprograma anterior pero varía:

$$N_5 = \text{INT}(N_1 \cdot (5 \cdot \text{PI} - 6 \cdot A_1) / \text{PI} / 4)$$

$$N_6 = N_1 - N_5$$

$$H_1 = (5 \cdot \text{PI} / 6 - A_1) / N_5 / W$$

$$H_2 = (A_1 - \text{PI} / 6) / N_6 / W$$

K_0 Varía desde 0 hasta 3

El efecto del diodo de recuperación se produce para ángulos de retardo mayores de 30° .

-REC6CD (Rectificador de 6 pulsos con diodo de recuperación).- Semejante al subprograma REC2CD pero varían:

$$N_5 = \text{INT}(N_1 \cdot (\text{PI} \cdot 2 - 3 - A_1) / \text{PI})$$

$$N_6 = N_1 - N_5$$

$$H_1 = (\text{PI} \cdot 2 / 3 - A_1) / N_5 / W$$

$$H_2 = (A_1 - \text{PI} / 3) / N_6 / W$$

El efecto del diodo de recuperación se produce para ángulos de retardo mayores de 60° .

-RECSCCD (Rectificador semicontrolado con diodo de recuperación).-

Es muy semejante a los anteriores con la diferencia de que se definen 2 tiempos de inicio de conducción de los semiconductores, es decir, el tiempo en que se produce la transferencia de corriente de un diodo a otro y el tiempo en que entra a la conducción un tiristor y se bloquea otro.

- Para ángulos mayores de 60°

$$N5 = \text{INT}(N1 \cdot (\text{PI} - A1) \cdot 3/2/\text{PI})$$

$$N6 = N1 - N5$$

$$H1 = (\text{PI} - A1)/N5/W$$

$$H2 = (3 \cdot A1 - \text{PI})/3/N6/W$$

$$I4 = (\text{PI}/6 \cdot (1 + 2 \cdot D\emptyset) + A1)/W$$

- Para ángulos menores de 60°

$$I4 = (\text{PI}/6 \cdot (1 + 2 \cdot D\emptyset) + A1)/W \quad \text{Intervalo de conducción de}$$

$$H = (\text{PI}/3 + A1)/W/N1 \quad \text{los diodos}$$

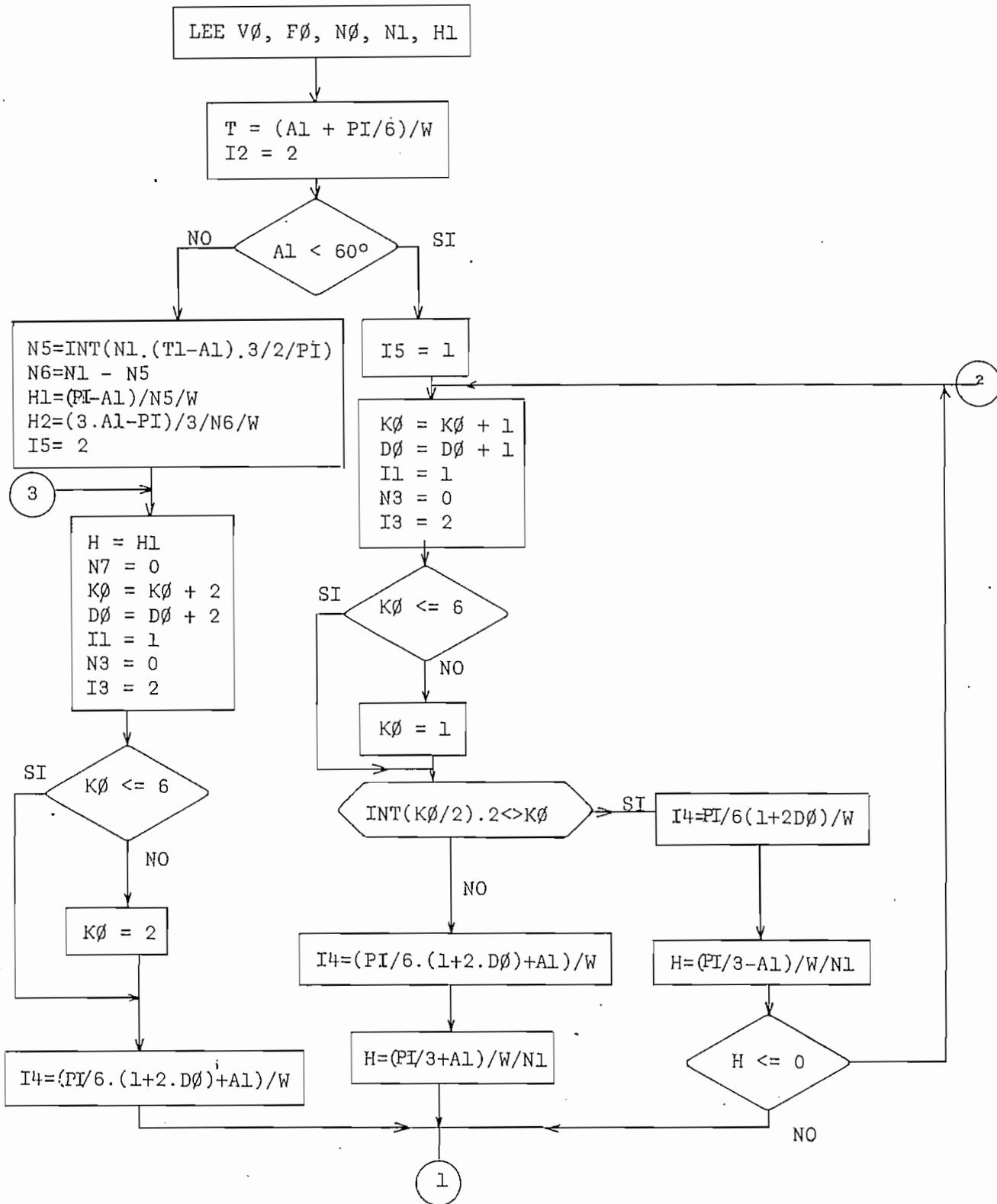
$$I4 = \text{PI}/6 \cdot (1 + 2 \cdot D\emptyset)/W \quad \text{Intervalo de conducción de}$$

$$H = (\text{PI}/3 - A1)/W/N1 \quad \text{los tiristores}$$

El diagrama de flujo se encuentra en la figura 3.10.

En la misma se puede ver que el tratamiento para ángulos de disparo menores de 60° es muy diferente que para ángulos mayores de 60° . Para ángulos mayores de 60° ($I5=2$) tiene influencia del diodo de recuperación y se definen dos intervalos y un tiempo de disparo como en el caso del REC2CD. Se puede notar además que $K\emptyset$ y $D\emptyset$ sufren incrementos de 2 y es-

to se debe a que los diodos entran a la conducción al mismo tiempo que los tiristores.



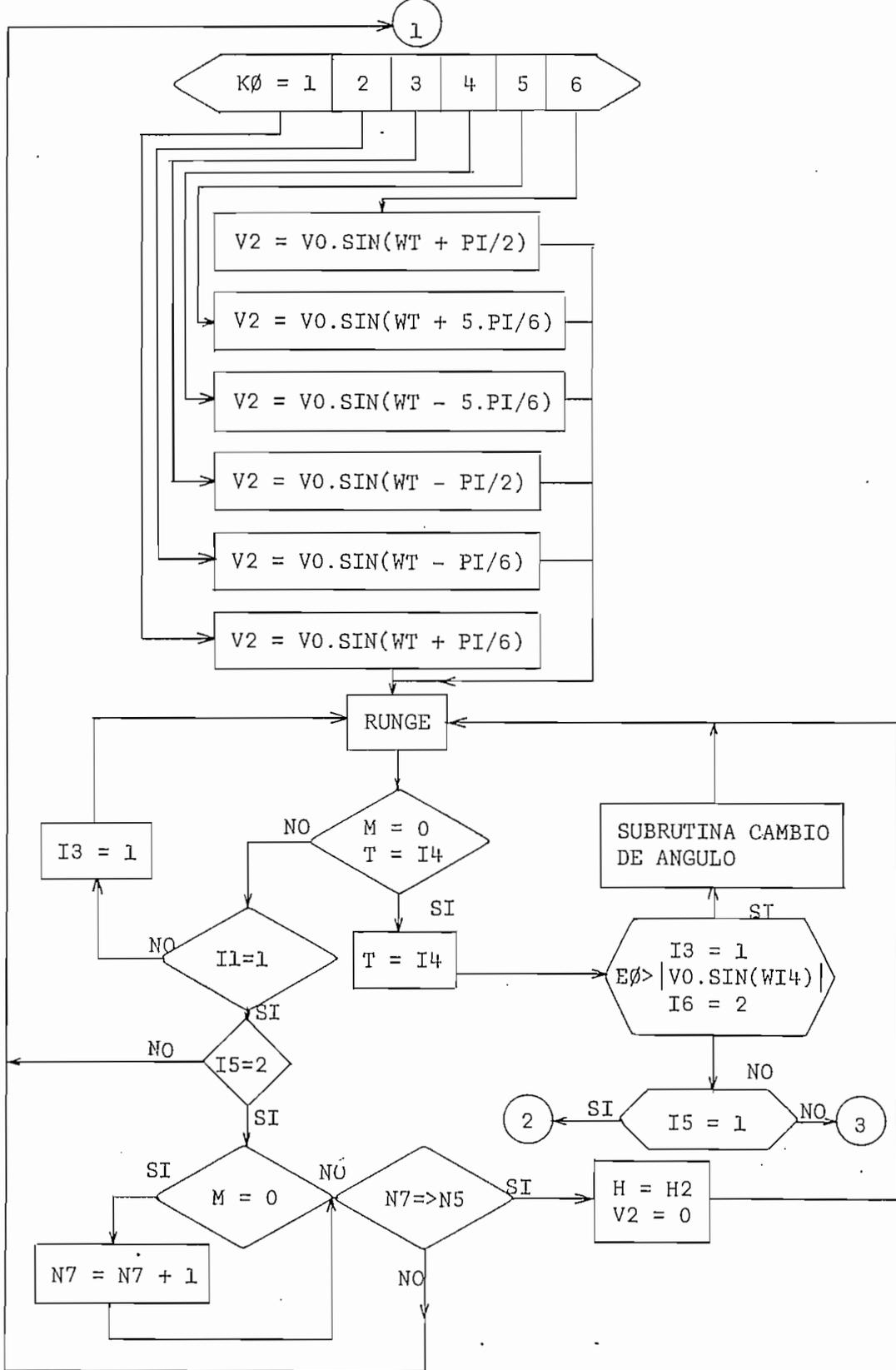


Figura 3.10
Diagrama de Flujo del Subprograma RECSCCD

Para ángulos menores de 60° ($I_5=1$), el diodo de retorno no tiene ninguna influencia sobre el circuito, pero los diodos entran a conducir a instantes diferentes de los tiristores, razón por la cual es necesario definir 2 tiempos de disparo y 2 intervalos de integración y se tomarán un par de valores de estos a la vez, dependiendo del valor de K_0 como se indica en la figura 3.10.

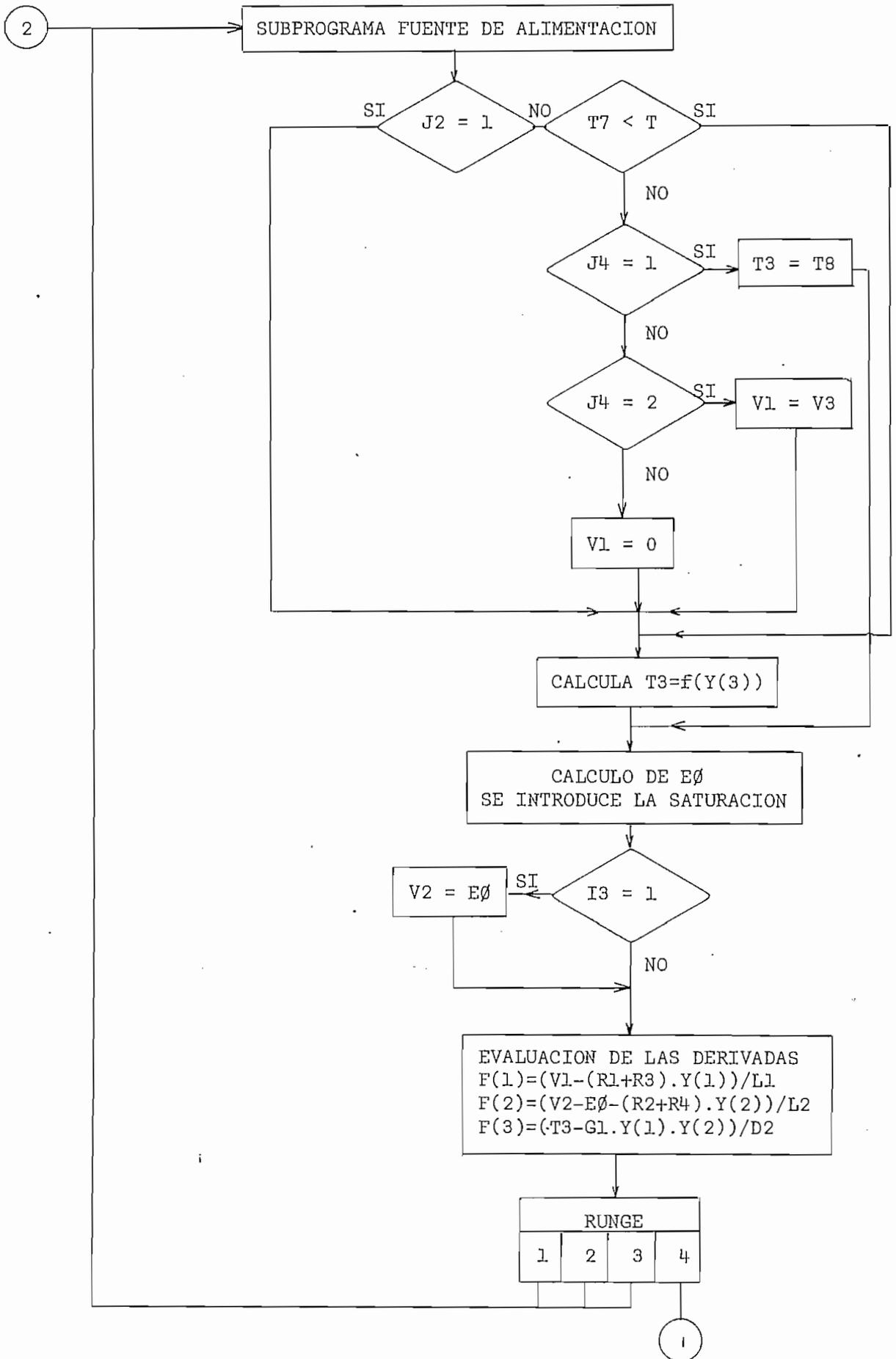
Los pasos subsiguientes son idénticos a los seguidos en el REC2CD.

En cuanto a la alimentación de la máquina por medio de circuito troceador, se hablará más adelante, pues al mismo tiempo que se carga a la memoria del computador las instrucciones de la fuente se cargan también las instrucciones del proceso Runge-Kutta.

3.2.3. SUBROUTINA DE INTEGRACION

Corresponde a los subprogramas MOTOSE Y MOTODE. En ellos se encuentra el proceso iterativo Runge-Kutta, las ecuaciones diferenciales que representan el motor, las condiciones que imponen a la corriente de armadura y el almacenamiento de datos en el archivo. A través de estos subprogramas se simula el efecto de la saturación magnética y el tipo de carga utilizada por el motor.

- MOTODE (Motor derivación). - El diagrama de flujo se muestra en la figura 3.11.



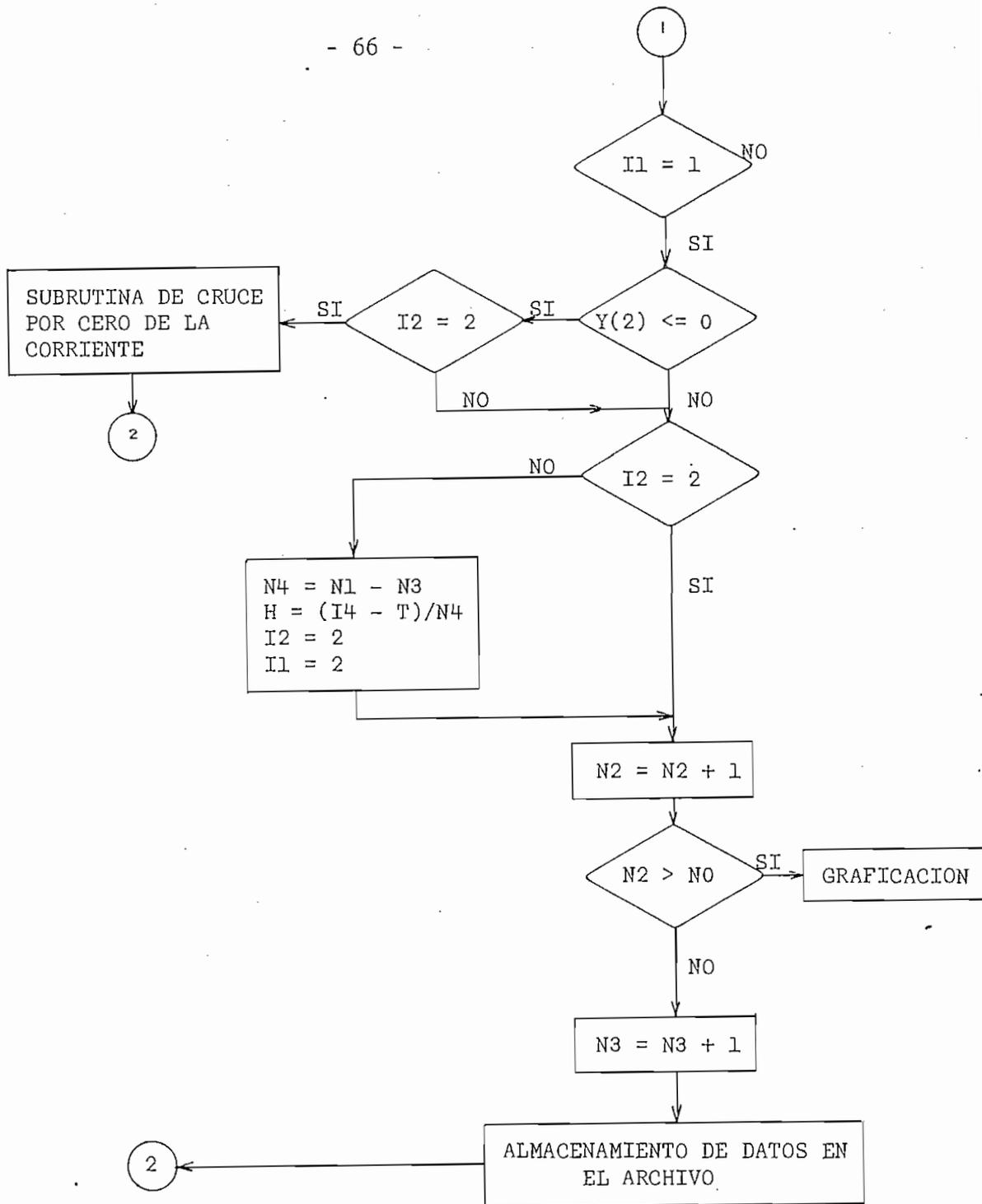


Figura 3.11.
Diagrama de Flujo del Subprograma MOTODE

Del subprograma de la fuente de alimentación, se pasa a este otro subprograma como una subrutina en el cual se introducen las perturbaciones por medio de los siguientes pasos: Si el valor de J2 es distinto de 1, es decir, si se desea simular un cambio en alguna de

las condiciones de funcionamiento de la máquina, se pregunta por el tiempo en el que se desea producir la misma. En el caso de que el tiempo no ha llegado al valor deseado se calcula el torque que pide la carga y se calcula el voltaje inducido saturado, pero si el tiempo es mayor que el tiempo del proceso iterativo se ejecuta la modificación, de acuerdo al seleccionador J4 y se determina el voltaje inducido saturado del motor, para esto, tomando en cuenta la corriente de campo que posee el mismo en ese instante. Se aplica una de las tres funciones lineales en las que se ha aproximado a la curva de magnetización.

Posteriormente se pregunta por el estado de la bandera I3 que es la que determina el tipo de voltaje que se debe alimentar al motor, es decir, en el caso de conducción continua el voltaje de la fuente y en conducción discontinua el mismo voltaje inducido para forzar la corriente a cero.

Se evalúan las derivadas y se entra en el primer paso del proceso Runge-Kutta y se vuelve al subprograma de la fuente de alimentación. Esta lógica se repite 4 veces tomando en cuenta que al llegar al proceso Runge-Kutta se va a un paso distinto. En el último paso se hace $M = 0$ que es el indicador del paso en que se encuentra el proceso iterativo de integración y se investiga si existió una conducción continua, en el caso de que la respuesta sea afirmativa se pregunta si la corriente calculada es negativa; si esto se cumple la bandera I2 es igual a 2 se ejecuta una subrutina de la que se obtiene aproximadamente el instante de tiempo en el cual la corriente de armadura cruzó por cero.

La bandera I2 en este programa juega un papel importante, pues en el caso de que sea necesario utilizar la subrutina de cruce por cero de la corriente esta se encarga de cambiar su valor a 1, con lo cual, es posible calcular el nuevo intervalo de integración de conducción discontinua y cambiar el estado de la bandera I1. Se puede ver en el diagrama que esta subrutina puede ser usada solo una vez en el mismo período de posible conducción.

El próximo paso a seguir es el incremento del contador del número de puntos calculados y del contador del número de puntos que se ha calculado desde el inicio del período de posible conducción hasta el fin del mismo. Este último contador permite saber en el caso de conducción discontinua, cuantos puntos se han calculado hasta el momento en que la corriente de armadura cruza por cero. Con este valor se puede determinar el número de puntos que falta para completar el período e implícitamente definir el nuevo intervalo de integración.

La lógica del programa continúa con el almacenamiento de datos en un archivo.

En este programa se ha simulado una carga dinámica, es decir una carga cuyo torque es función de la velocidad. La característica torque-velocidad ha sido aproximado a funciones lineales. Pueden existir casos en los cuales la carga proporciona un torque a la máquina razón por la cual se consideran los signos de la velocidad y de la corriente de campo. El programa acepta el cambio de la

función del torque y un ejemplo de esto es la variación brusca de carga que se puede simular en el mismo.

En cuanto, a la subrutina de cruce por cero de la corriente, esta se encarga de devolver un tiempo aproximado en el cual la misma tiene un valor muy cercano a cero, utilizando para esto una aproximación cuadrática, que ha sido obtenida de los últimos dos puntos positivos y del último punto calculado.

Una vez que se ha obtenido este instante, se redefinen las variables del motor, como son: corriente de campo, armadura y velocidad, igualándolos a los valores que tuvieron un paso de integración completo antes. Se define un nuevo intervalo de integración y se cambia al estado de la bandera I2. Luego se regresa a la subrutina de fuente de alimentación.

- MOTOSE (Motor serie). - La lógica en si de este subprograma es idéntica a la del anterior, pero los parámetros, las ecuaciones diferenciales, las funciones que determinan el voltaje inducido y las funciones de la carga varían. Otra diferencia es que las banderas dependen del valor que tenga la corriente de armadura que en este caso es la misma que la corriente de campo.

Las perturbaciones que se producen y la consideración de signos de corriente y velocidad también varían.

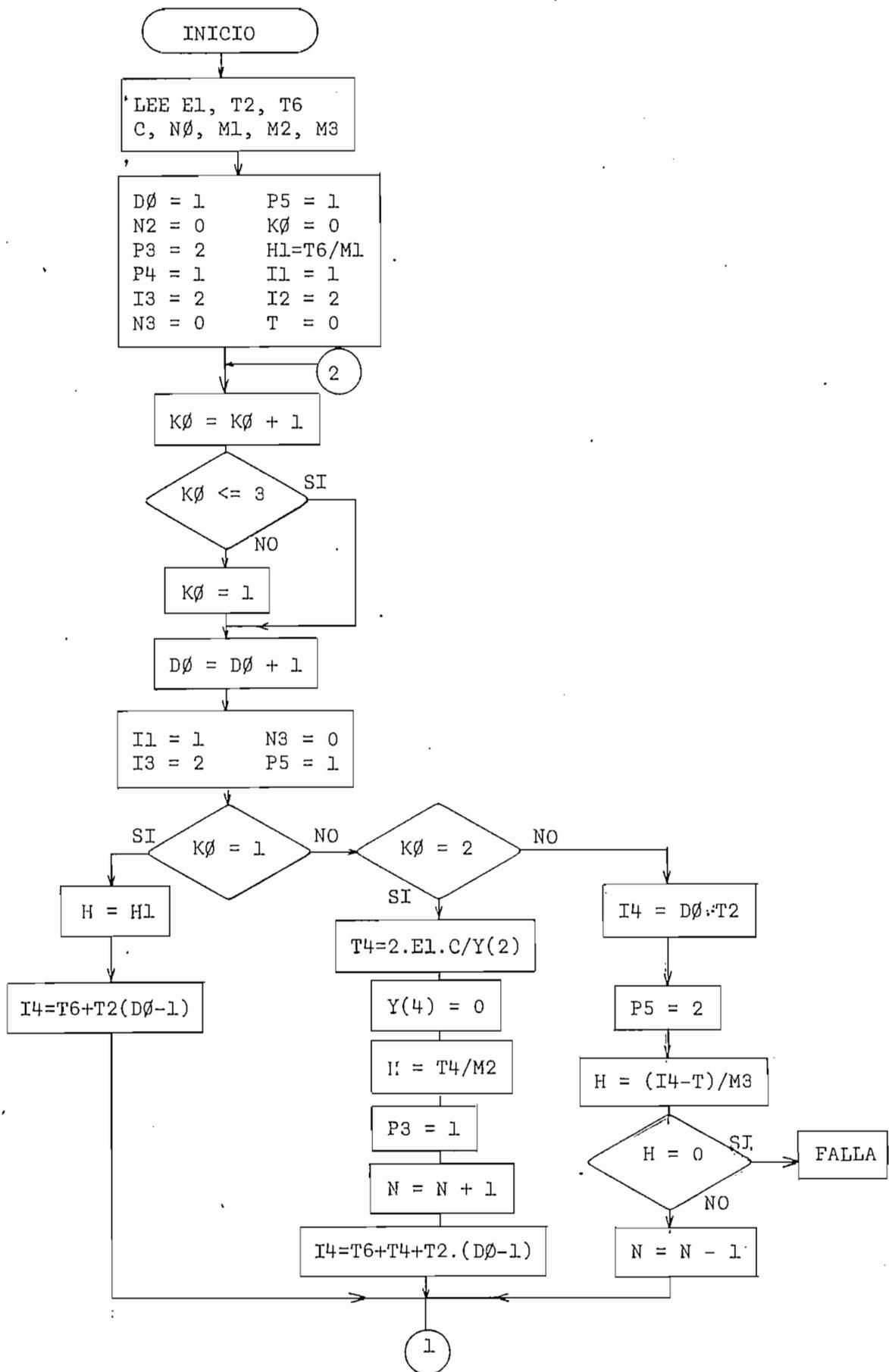
- TRO (Troceador). - En realidad existen dos subprogramas, uno para

el motor serie y otro para el motor shunt, los mismos que son algo diferentes a los anteriores pues contienen al mismo tiempo la fuente de alimentación y el proceso iterativo.

El diagrama de flujo del troceador para el motor shunt (TROD) se encuentra en la figura 3.12. Existe el ingreso de parámetros como:

- E1 Voltaje de la fuente
- T2 Período de trabajo del troceador
- T6 Tiempo de conducción del tiristor principal
- C Valor del condensador de conmutación
- M0 Número de puntos a calcularse
- M1 Número de puntos por calcularse en el intervalo de conducción de Th1.
- M2 Número de puntos por calcularse en el intervalo de conducción de Th2
- M3 Número de puntos por calcularse en el intervalo de conducción del diodo de retorno.

En este subprograma salvo al inicio y luego de que se ha retornado del proceso Runge-Kutta y el intervalo en el que se estuvo se ha completado, se incrementa $K0$, que nos indica en cual de los intervalos estamos, es decir, si estamos en la conducción del tiristor principal ($K0 = 1$), si estamos en el intervalo del tiristor de conmutación ($K0 = 2$) y si estamos en el intervalo de posible conducción del diodo ($K0 = 3$).



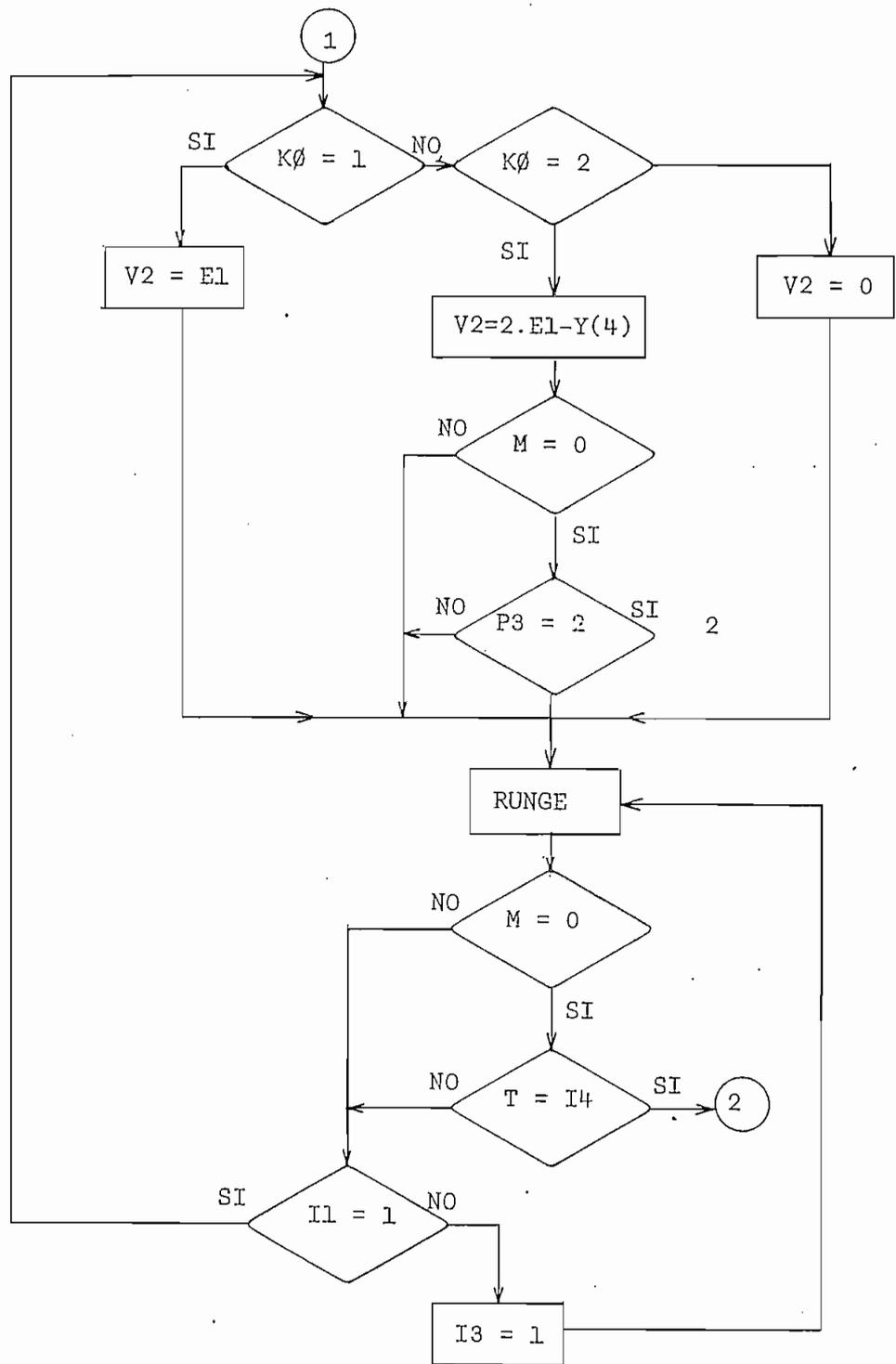


Figura 3.12.
Diagrama de Flujo del Subprograma TROD

Si $K\emptyset = 1$, el intervalo de integración se hace igual a H1, - anteriormente definido, y se determina el tiempo en el cual debe comenzar a funcionar el tiristor auxiliar. Luego se define el voltaje de alimentación del motor y se va al proceso Runge-Kutta. En el caso de que $K\emptyset$ sea igual a 2, se define un tiempo T4 cuyo fin es determinar aproximadamente el instante en que la onda de voltaje aplicada al motor cruce por cero, para lo cual se supone que la corriente de armadura es constante en el transcurso de la conmutación. De esta manera, teniendo este tiempo aproximado y el número de puntos por intervalo de conducción del tiristor auxiliar se puede definir un intervalo de integración apropiado. Se inicializa una bandera P3 cuyo valor es 1 cuando nos encontramos en este intervalo y el voltaje aplicado al motor es positivo. Debido a que la carga del condensador es función de la corriente que por él circula, es necesario aumentar una ecuación más a las ecuaciones del motor, razón por la cual se incrementa en 1 la variable N. Este incremento solo tiene efecto en este intervalo. Como en el intervalo anterior, también se define un tiempo aproximado de inicio de trabajo del diodo. Posteriormente, se encuentra el voltaje que se aplica al motor, que es una función de la carga del condensador y se pregunta si fue el último paso de integración y si el voltaje ha cruzado ya por cero; si las respuestas son afirmativas se pasa al próximo intervalo, de lo contrario se va al proceso Runge-Kutta.

En el momento que $K\emptyset = 3$, se sabe con exactitud el instante en que debe comenzar a conducir el tiristor principal. Se cambia el valor de la bandera P5 de 1 a 2 que es un indicador para almacenar o no en un arreglo los últimos tres puntos del voltaje de armadura y

se define el intervalo de integración. En el supuesto de que este último valor sea cero o negativo, el subprograma dejará de ejecutarse apareciendo en la pantalla un mensaje de falla de conmutación. Si el valor es positivo, se quita del cálculo de la subrutina de integración la ecuación correspondiente al voltaje sobre el condensador. Por último se va al proceso Runge Kutta.

Al retornar de la subrutina de cálculos se hace las mismas preguntas que cuando el motor estaba excitado por circuitos rectificadores: Se ha completado el proceso Runge-Kutta, comienza a conducir otro semiconductor, existe conducción continua.

Con respecto a la subrutina de integración es muy semejante a los anteriormente analizados, con las siguientes diferencias:

- En el intervalo de conmutación a las ecuaciones del motor se añade una más, lo cual se hace mediante la bandera P3. Cuando $P3 = 1$ se toma en cuenta la misma, de lo contrario no; de manera que $P3 = 2$ en el intervalo de conducción del tiristor principal y en el de conducción del diodo.
- Los últimos tres datos del voltaje de excitación a la armadura se almacenan solo en el período de conmutación, en los otros dos no. Esto se debe a que se desea saber el instante en que este voltaje se hace cero o negativo, en tal caso se sigue un procedimiento idéntico al que se efectúa cuando la corriente de armadura se encuentra en las mismas condiciones.

- Se utiliza una bandera P5 cuyo valor es 1 mientras cualesquiera de los 2 tiristores conducen y 2 cuando el diodo está en funcionamiento. Esta bandera permite o no el incremento del contador de puntos calculados en el intervalo de conducción del diodo y en el caso de conducción discontinua se puede saber cuantos puntos faltan por calcularse y determinar el nuevo valor del intervalo de integración.
- TROS (Troceador motor serie).- Es un subprograma idéntico al anterior con la consideración de que las banderas responden a otras variables.

Entre los subprogramas analizados hay algunos que son semejantes entre sí, en las ondas varían unas pocas instrucciones, se podría pensar que sería más eficaz utilizar un solo programa en varias proposiciones IF, pero debido a las limitaciones de la memoria del computador utilizado se realizó de la manera explicada, además de que el tiempo de computación mejora notablemente.

En cuanto a la graficación de resultados se utiliza la subrutina GRAFICO, cuya explicación detallada se encuentra en la referencia 1.

C A P I T U L O I V

PRUEBAS EXPERIMENTALES. COMPARACION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para verificar la validez de los resultados obtenidos del programa digital, se realizaron pruebas experimentales para lo cual se utilizó la máquina generalizada de la Westinghouse, disponible en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad, cuyos datos de placa, parámetros y características se encuentran en el apéndice A.

Esta máquina tiene acoplada al eje otra (ROTOR DRIVE MOTOR), la cual haciéndole trabajar como generador es posible cargar a la máquina impulsora.

Las pruebas experimentales realizadas se detallan en el cuadro 4.1.

ALIMENTACION	PRUEBA	TIPO MOTOR
Rectificador de 3 pulsos	Estado estable	Derivación
Rectificador de 3 pulsos	Arranque	Serie
Rectificador de 3 pulsos	Estado estable	Serie
Troceador	Estado estable	Serie

CUADRO 4.1.

4.1. MOTOR DERIVACION - ESTADO ESTABLE - RECTIFICADOR DE 3 PULSOS

Los resultados experimentales fueron tomados bajo las siguientes condiciones:

Voltaje de alimentación de la red: 79.6 V (RMS)

Voltaje de alimentación del campo: 112.4 V (DC)

Resistencia de arranque de la armadura: 20 Ω

Resistencia de arranque del campo: 20 Ω

Angulo de retardo en el activador de los tiristores: 18°

Voltaje de alimentación del campo del generador: 224.8 V (DC)

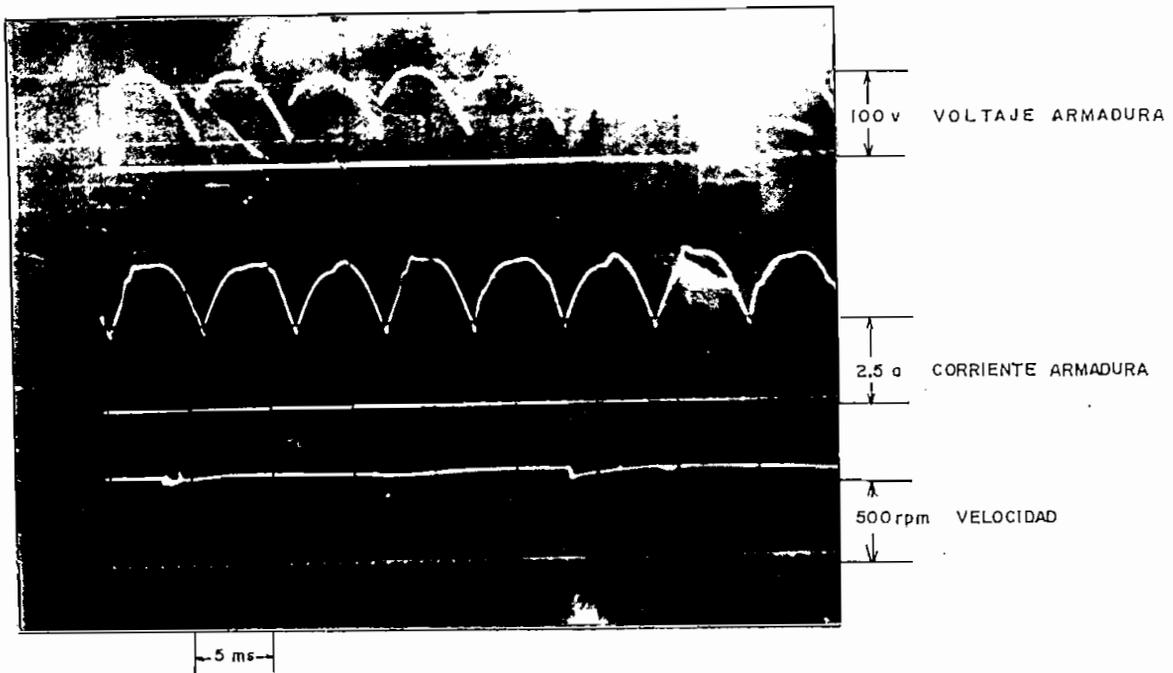
Resistencia del generador: 20 Ω

En la fotografía N° 1. se muestran las señales de voltaje de armadura, corriente de armadura y velocidad de la máquina; mientras que en los gráficos 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran los resultados teóricos de la corriente de campo, corriente de armadura, velocidad y voltaje de armadura, respectivamente.

En la fotografía N° 1. se puede observar que la corriente de armadura no presenta la misma forma de onda en dos períodos consecutivos, sino cada tres y esto se debe posiblemente a fallas en el colector de la máquina; sin embargo su amplitud oscila entre 4.5 y 2.5 amperios; mientras que en el gráfico 4.2 su amplitud varía entre 4.2 y 3 amperios.

Con respecto al pico máximo, existe un error de -6.67 %; mien

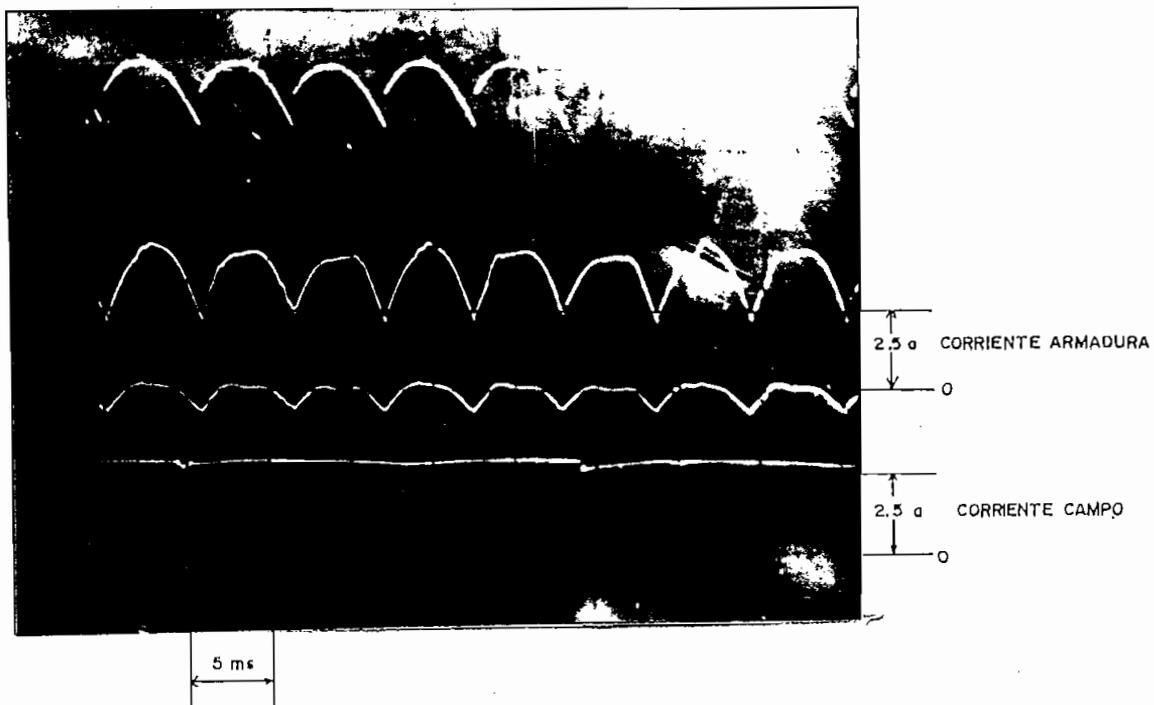
tras que en la amplitud mínima un error del 20 %.



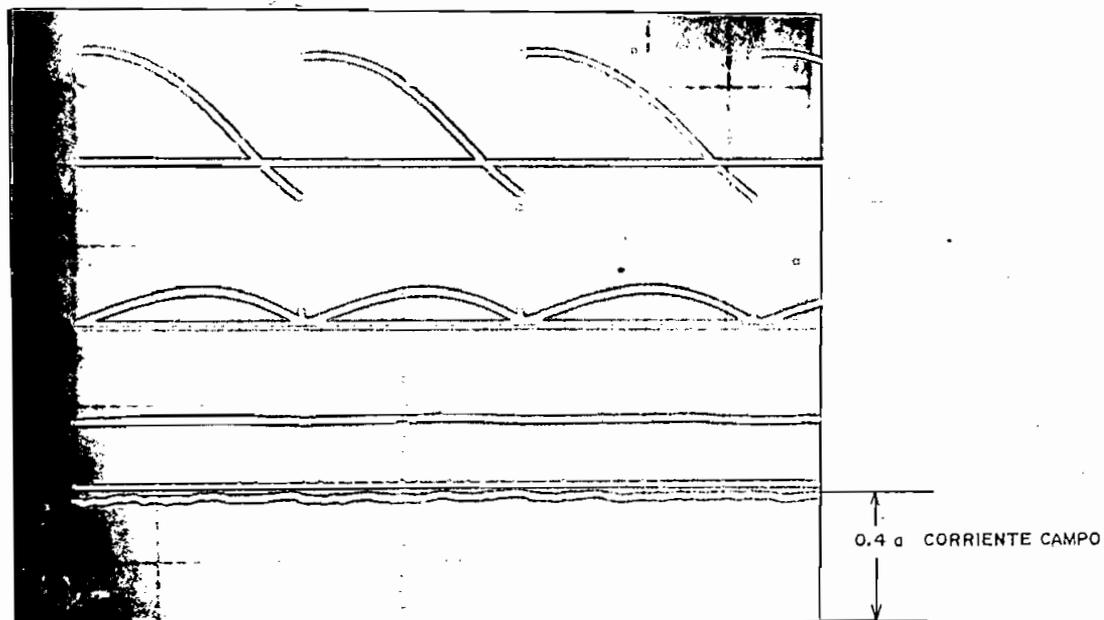
Fotografía N° 1

La diferencia en la amplitud de la onda se debe a que la máquina usada no es una máquina netamente de continua y al tener en su armadura una corriente de ese tipo, esta induce un voltaje en el devanado de campo que hace que su corriente varíe como se puede ver en la fotografía 2.

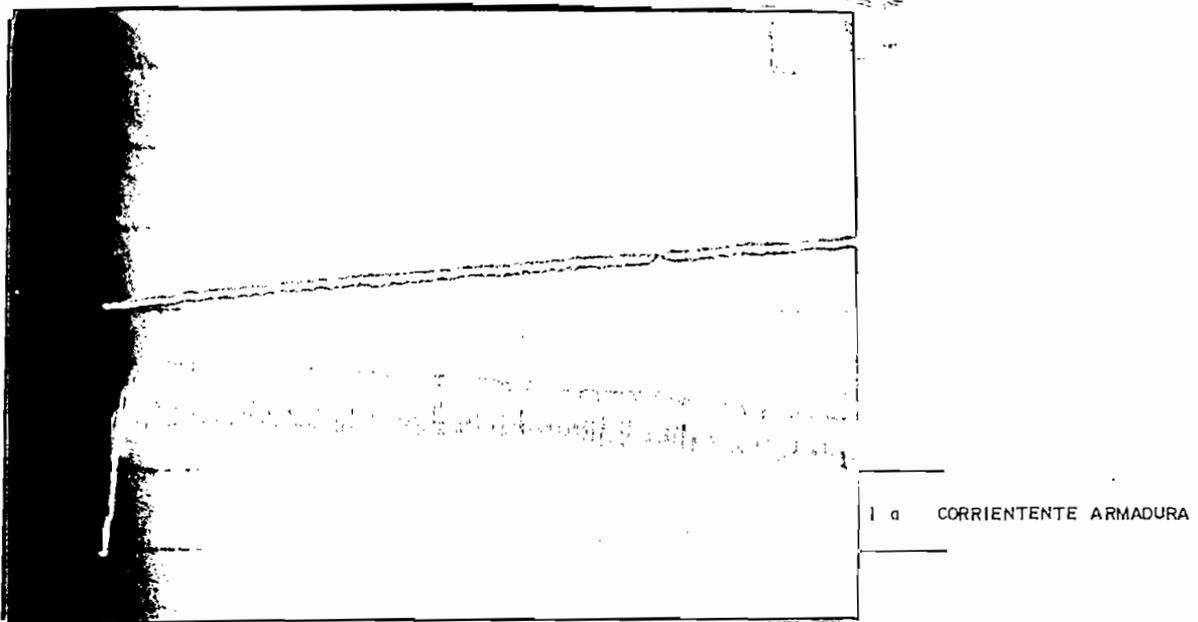
En pruebas preliminares y usando una máquina netamente de continua (Hamper - 1/8 Kw) cuyos resultados se muestran en las fotografías 3 y 4. Se puede ver que la corriente de campo tiene unas variaciones muy pequeñas, debidas al efecto de la reacción de armadura, y que la amplitud de la corriente de armadura, mientras dura el transitorio de arranque es de 0.8 A.



Fotografía N° 2



Fotografía N° 3.



Fotografía N° 4

Al aplicarse el programa a esta máquina, cuyos resultados se encuentran en el gráfico 4.2.b, se observa que ni el pico de corriente, ni la forma como se estabiliza coinciden con los datos experimentales (debido a parámetros de la máquina); pero su amplitud (0.6 A), es muy parecida.

Al analizar la velocidad en la fotografía 1, se ve que esta tiene unos transitorios extraños, los mismos que pueden ser introducidos por el tacogenerador, utilizado para obtener la señal de velocidad.

La máquina alcanza una velocidad aproximada de 600 rpm. En el programa la velocidad que se obtiene es de 640 rpm; como se puede ver en el gráfico 4.3; existiendo un error de 6.67 % con respecto al medido.

GRAFICO 4.1

CORRIENTE DE CAMPO (amp)

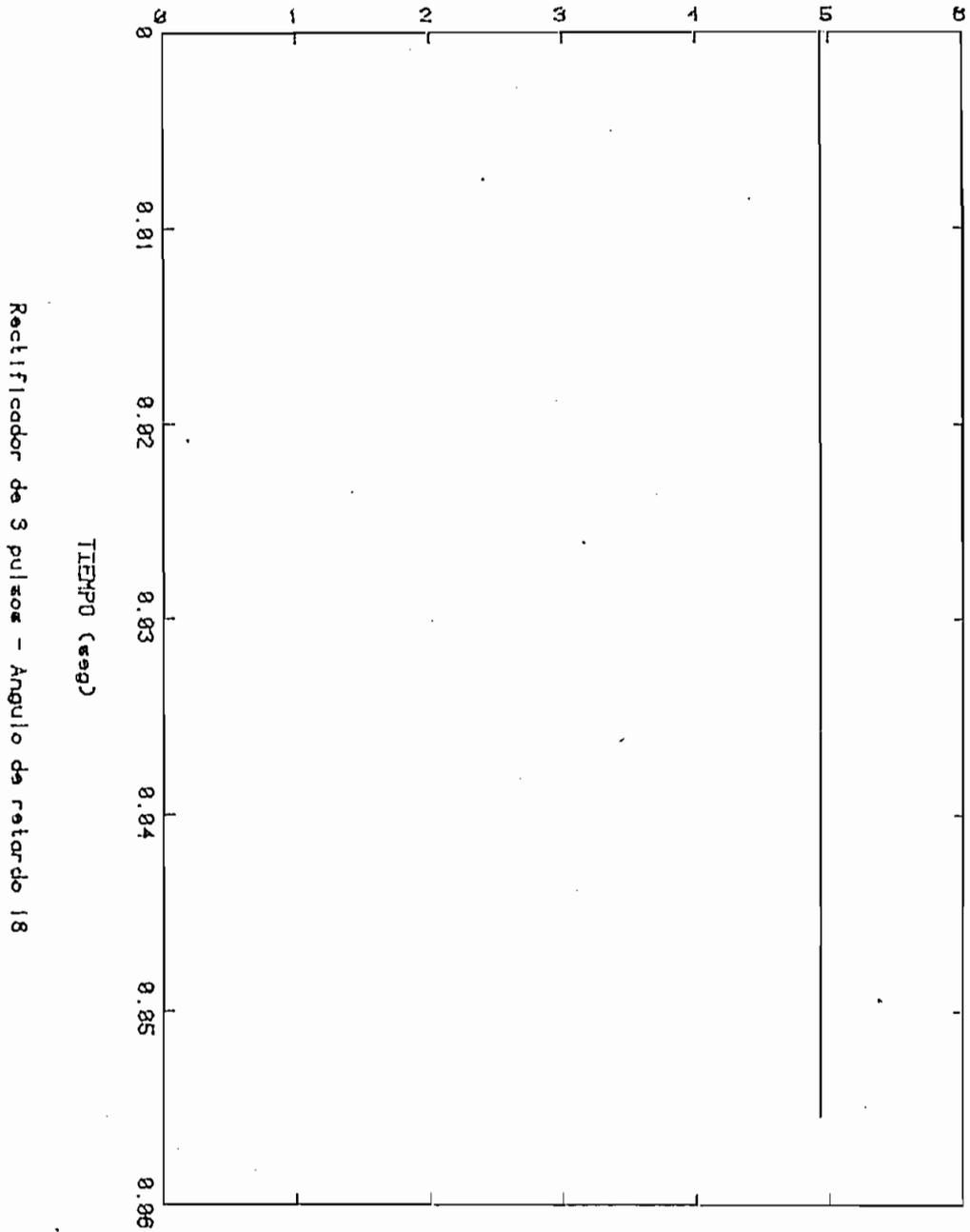
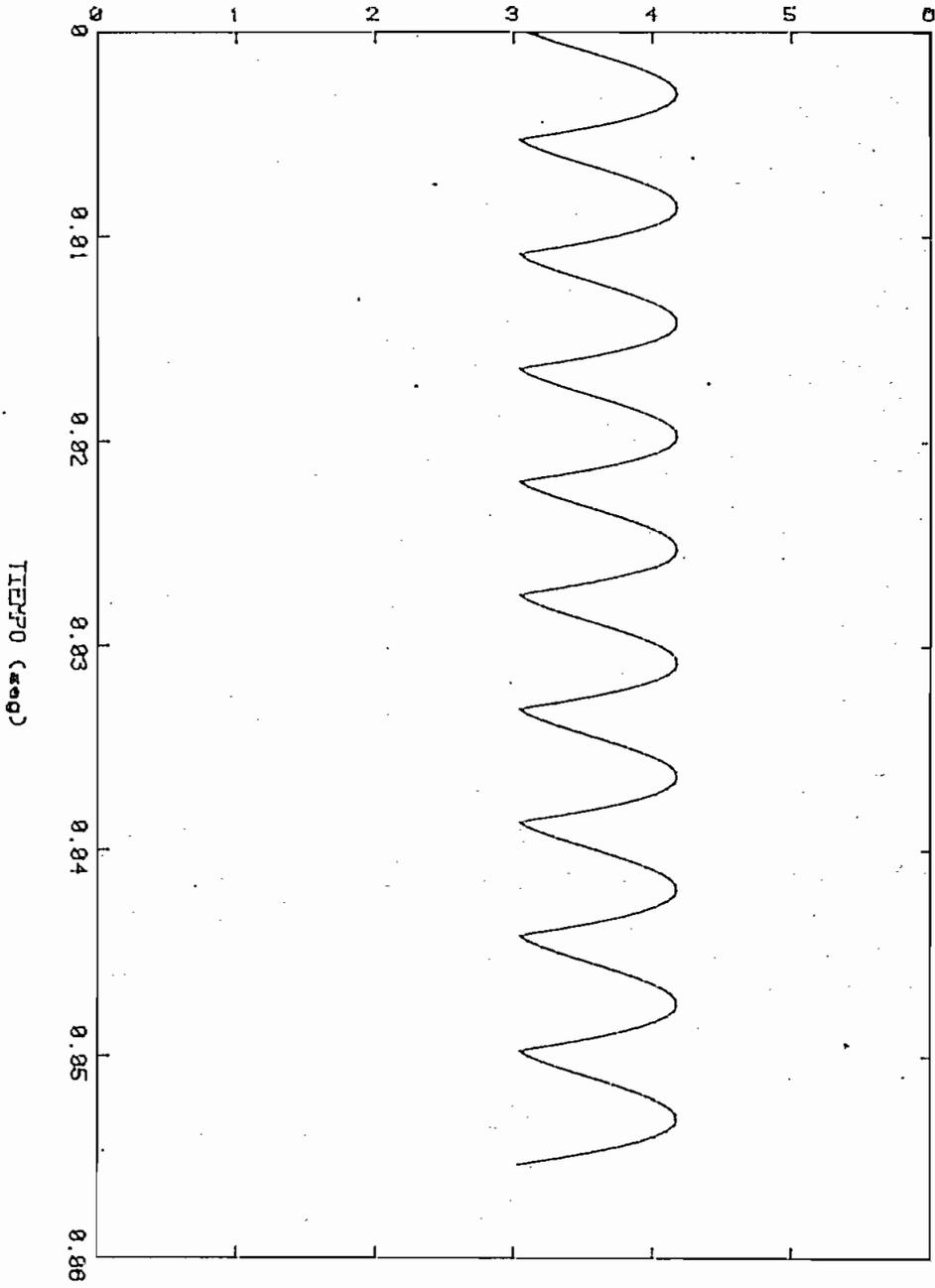


GRAFICO 4.2

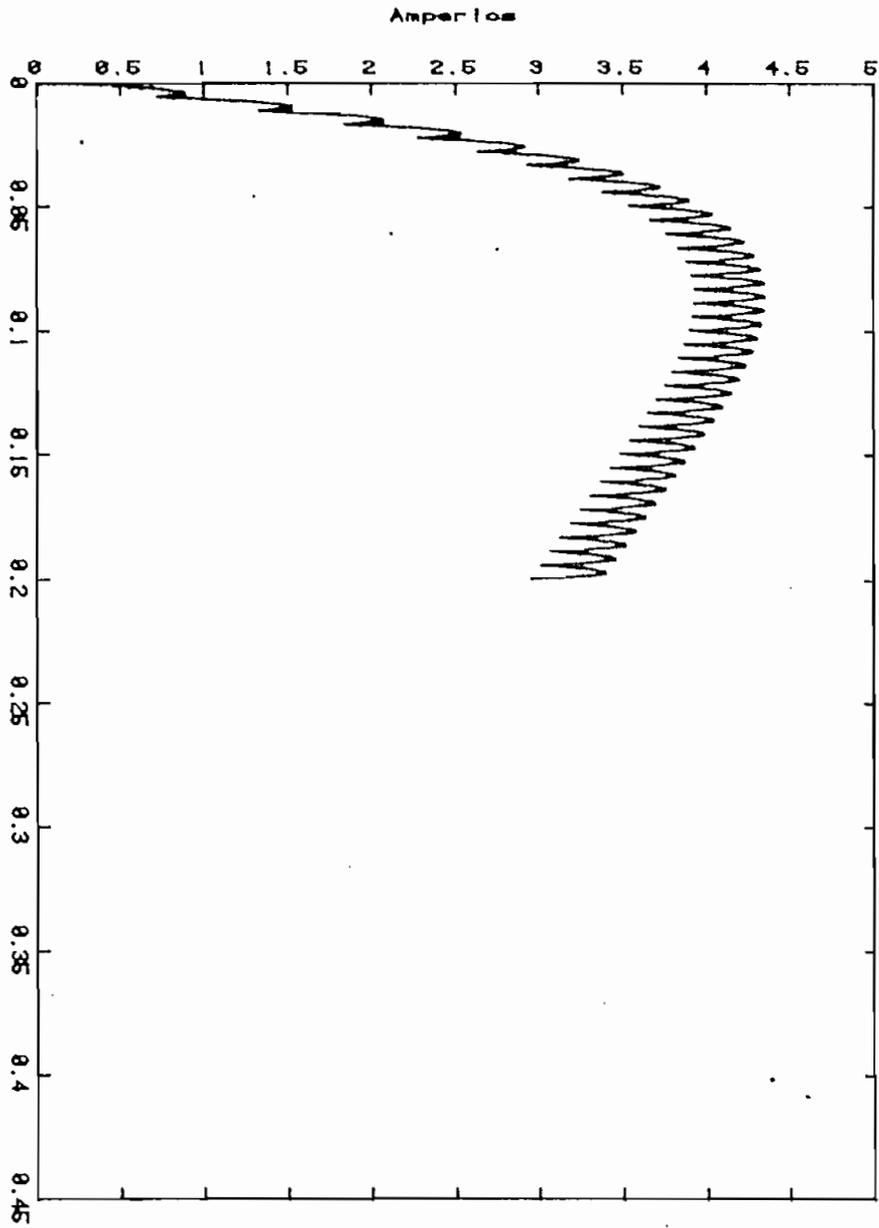
CORRIENTE DE ARMADURA (amp)



Rectificador de 3 pulsos - Angulo de retardo 18

MOTOR DERIVACION - ESTADO ESTABLE

CORRIENTE DE ARMADURA

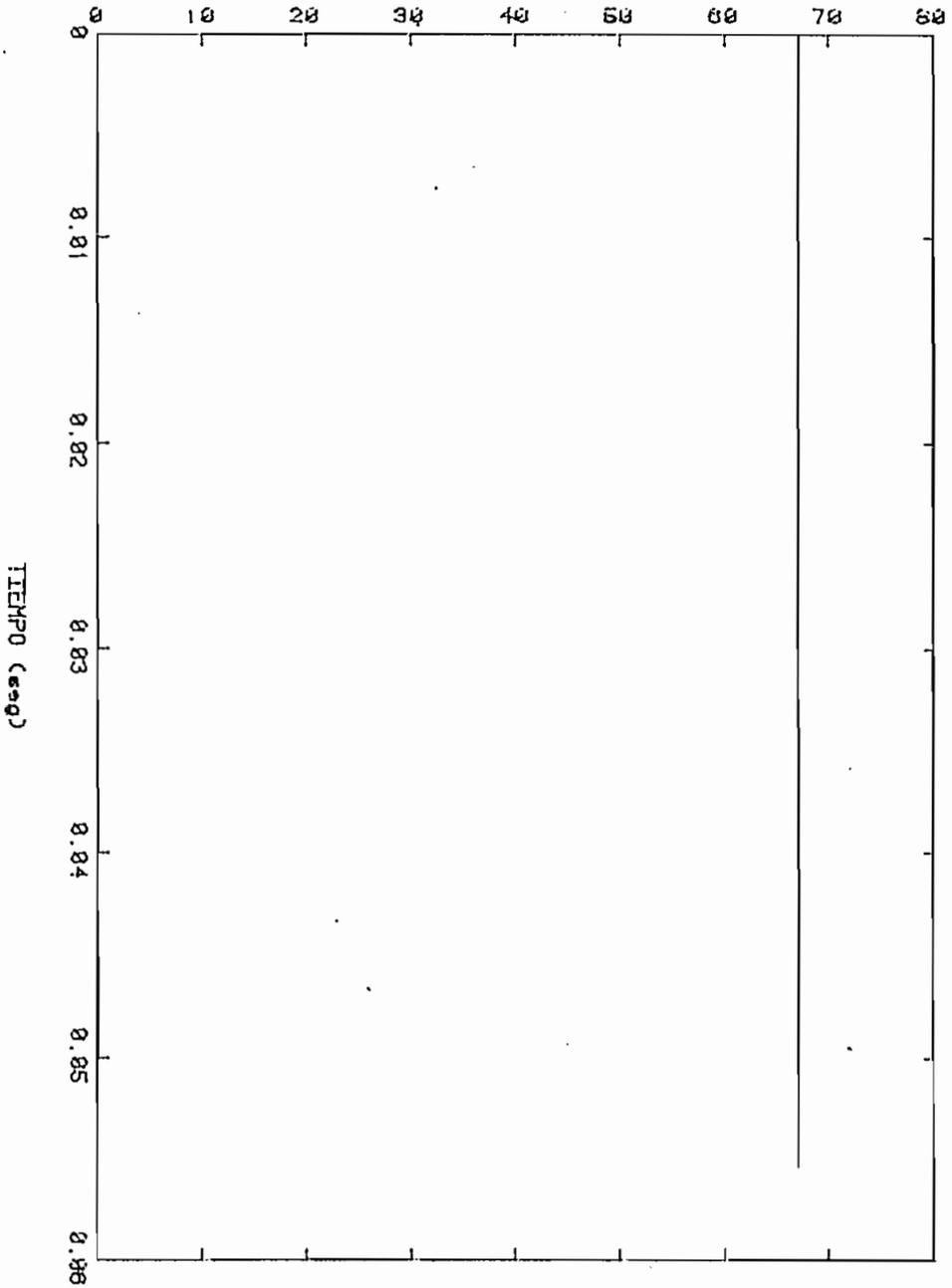


MOTOR SHUNT ARRANGUE

Gráfico 4.2.b.

GRAFICO 4.3

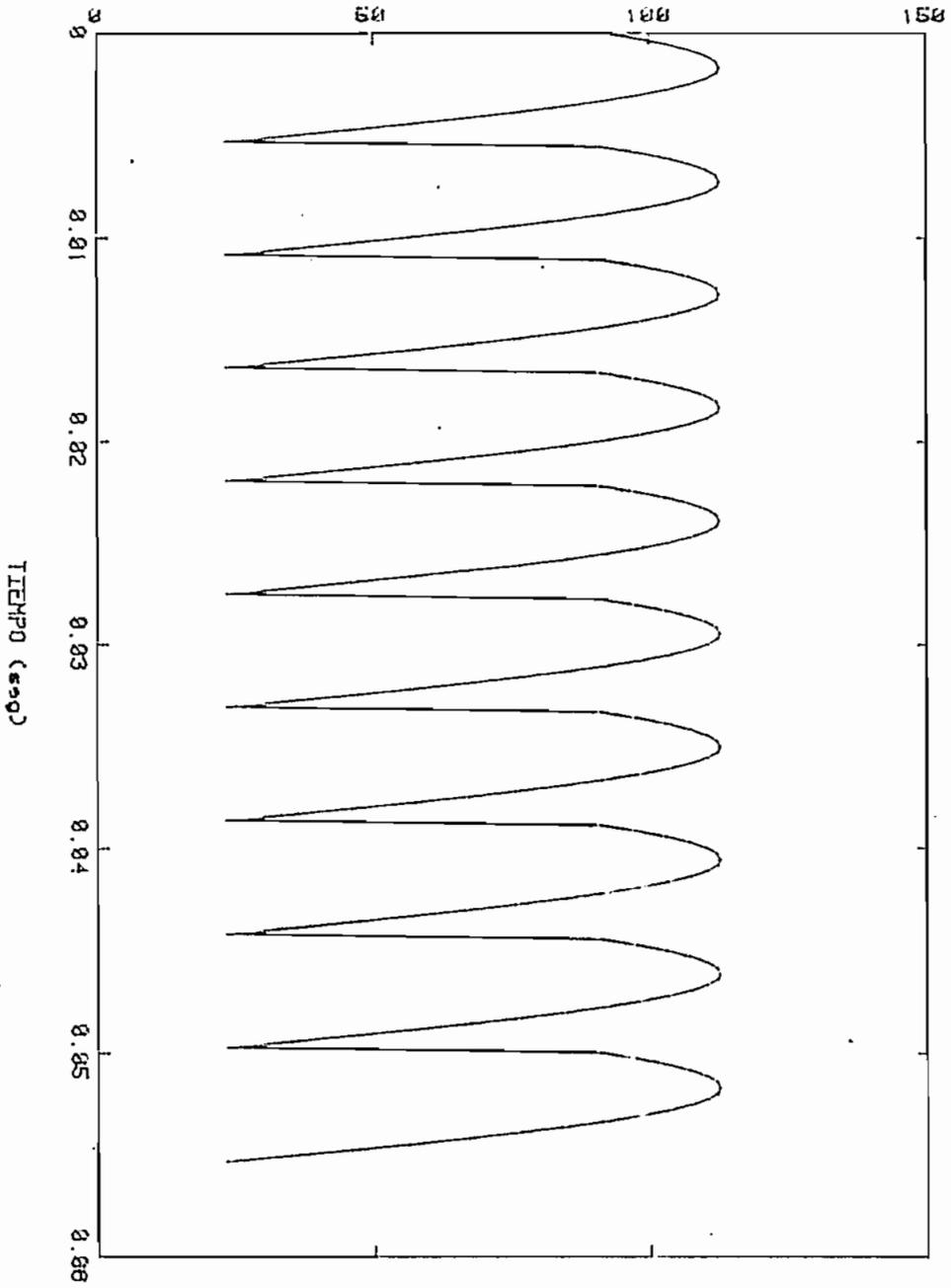
VELOCIDAD (rad/seg)



Rectificador de 3 pulsos - Angulo de retardo 18

GRAFICO 4.4

VOLTAJE DE ARMADURA (vol)



Rectificador de 3 pulsos - Ángulo de retardo 18

MOTOR DERIVACION - ESTADO ESTABLE

4.2. MOTOR SERIE - ARRANQUE - RECTIFICADOR DE 3 PULSOS

Las condiciones, bajo las cuales, se realizaran las pruebas se indican a continuación:

Voltaje de alimentación de la red: 100 V (RMS)

Resistencia de arranque de la armadura: 20 Ω

Angulo de retardo en el activado de los tiristores: 10°

Voltaje de alimentación del campo del generador: 224.8 V (DC)

Resistencia del generador: 20 Ω

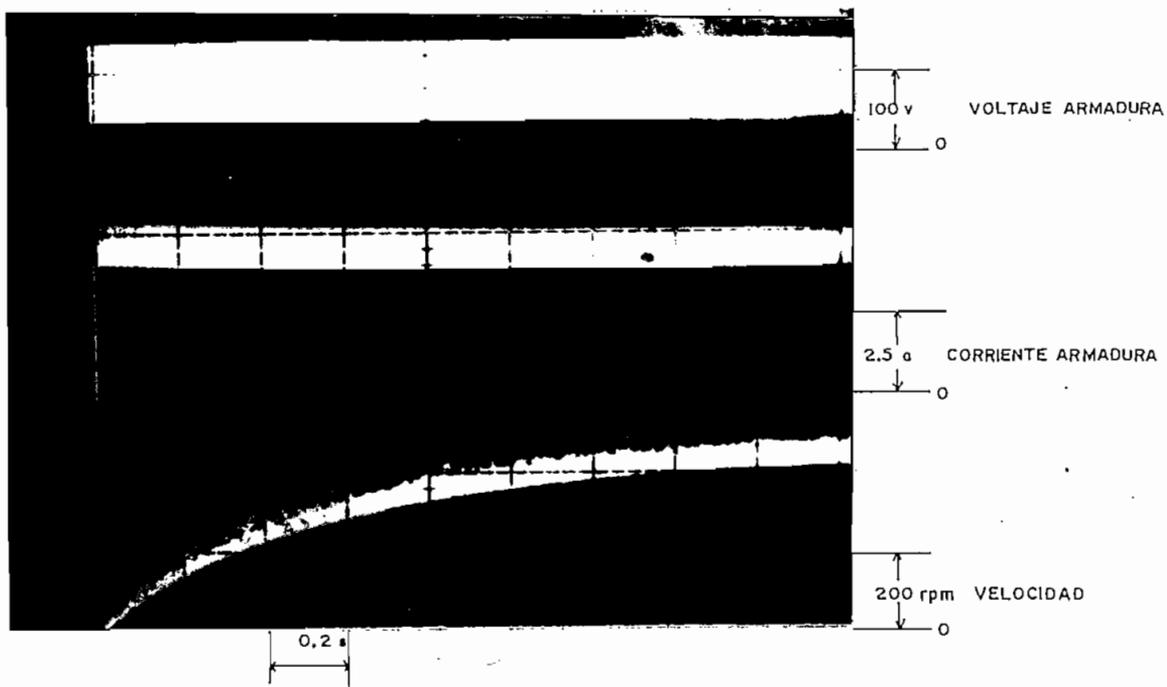
En la fotografía 5 se indican las señales obtenidas de voltaje de armadura, corriente y velocidad para esta máquina en las condiciones indicadas. En los gráficos 4.5 y 4.6 se presentan los resultados calculados para la corriente y la velocidad, respectivamente.

Una vez excitada la máquina, esta alcanza un pico de aproximadamente 5.3 A, el mismo que desciende lentamente, hasta estabilizarse en 5 A. Su pico mínimo el momento de estabilizarse es de aproximadamente 4 A.

El tiempo que tarda en alcanzar el estado estable es superior a 1.8 segundos.

Al comparar estos resultados con los del gráfico 4.5 se ve que el pico máximo alcanza un valor de 5.4 A. el mismo que pasado los 1,2 segundos llega a un valor de 5 A y el pico mínimo a 4.6 A.

Con respecto al pico mínimo real para 1.2 segundos existe un error del 15 %.



Fotografía N° 5

En el gráfico 4.6 para el tiempo de 1.2 segundos la velocidad obtenida es de 410 RPM, mientras que en la fotografía 5 el valor alcanzado, para el mismo tiempo es de aproximadamente 400 RPM, lo que significa un error del 2.5 %.

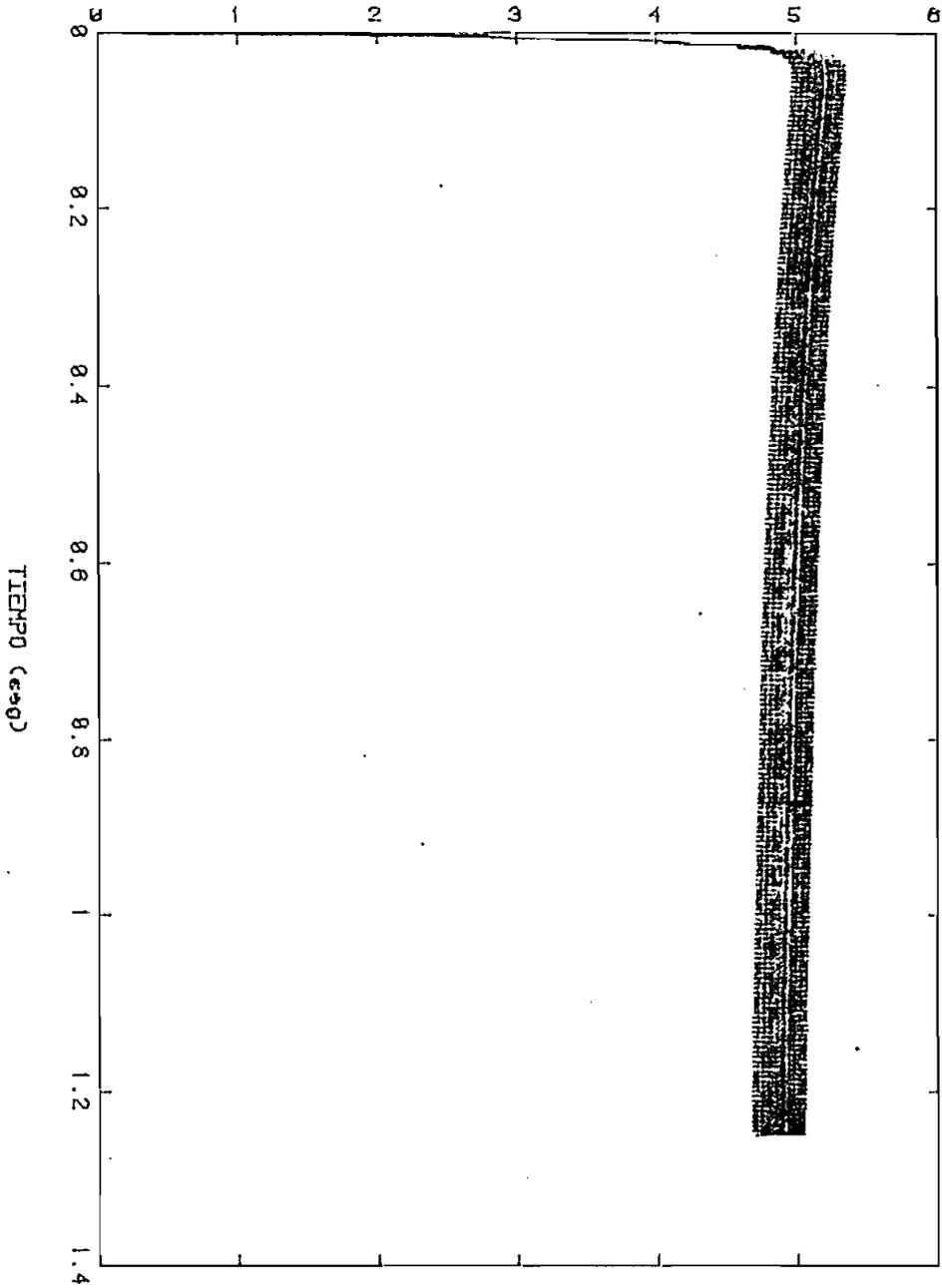
4.3. MOTOR SERIE - ESTADO ESTABLE - RECTIFICADOR DE 3 PULSOS

Las condiciones, bajo las cuales fueron tomados los resultados, que se muestran en la fotografía 6, son idénticos a las de la prueba anterior.

Comparando estos resultados con los que se presentan en el gráfico 4.7 se observa que las formas de onda son muy semejantes, sin embargo su pico mínimo varía, como en las pruebas anteriores y por

GRAFICO 4.5

CORRIENTE DE ARMADURA (amp)

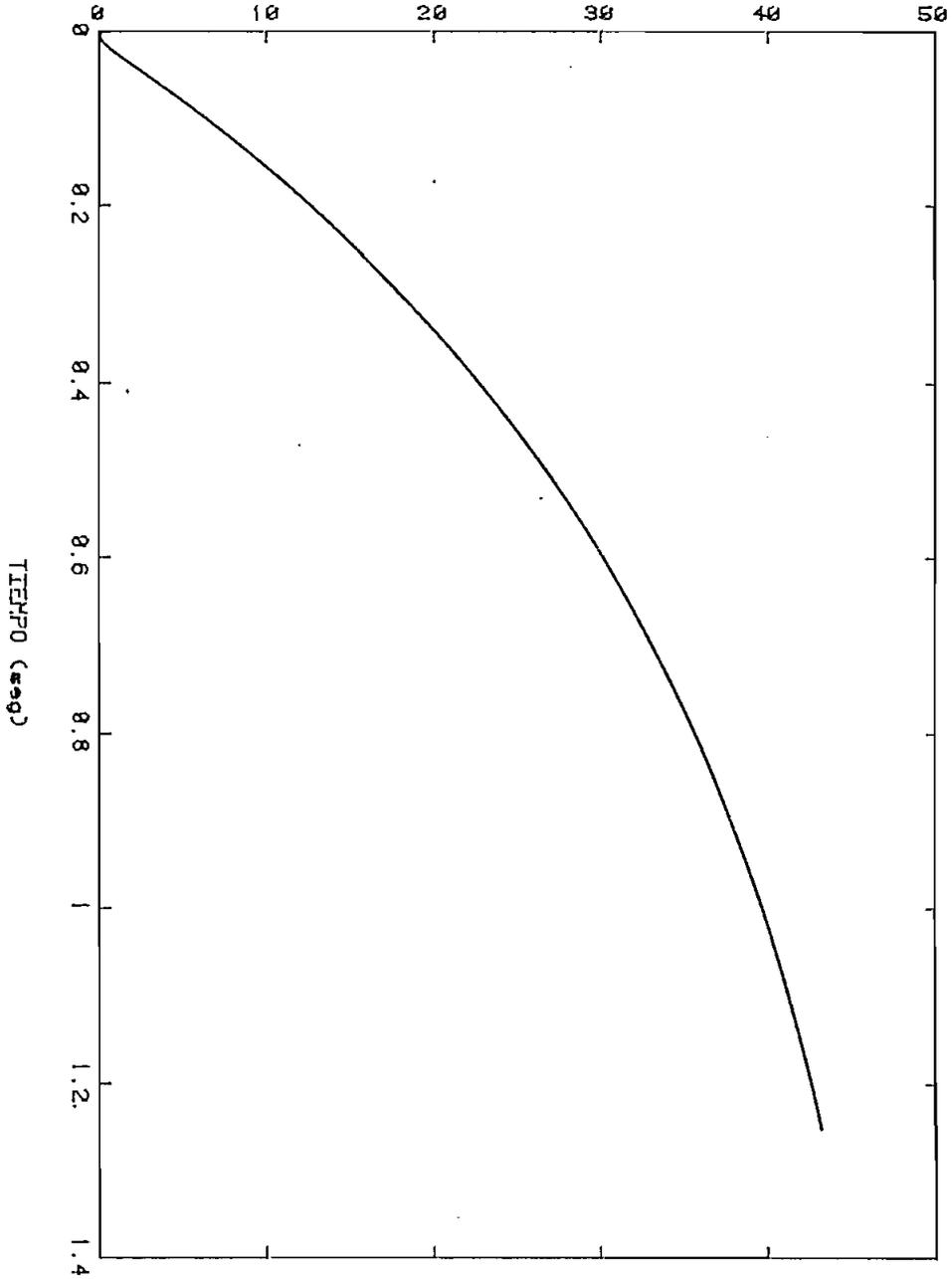


Rectificador de 3 puleses - Angulo de retardo 18.

MOTOR SERIE - ARRANQUE

GRAFICO 4.6

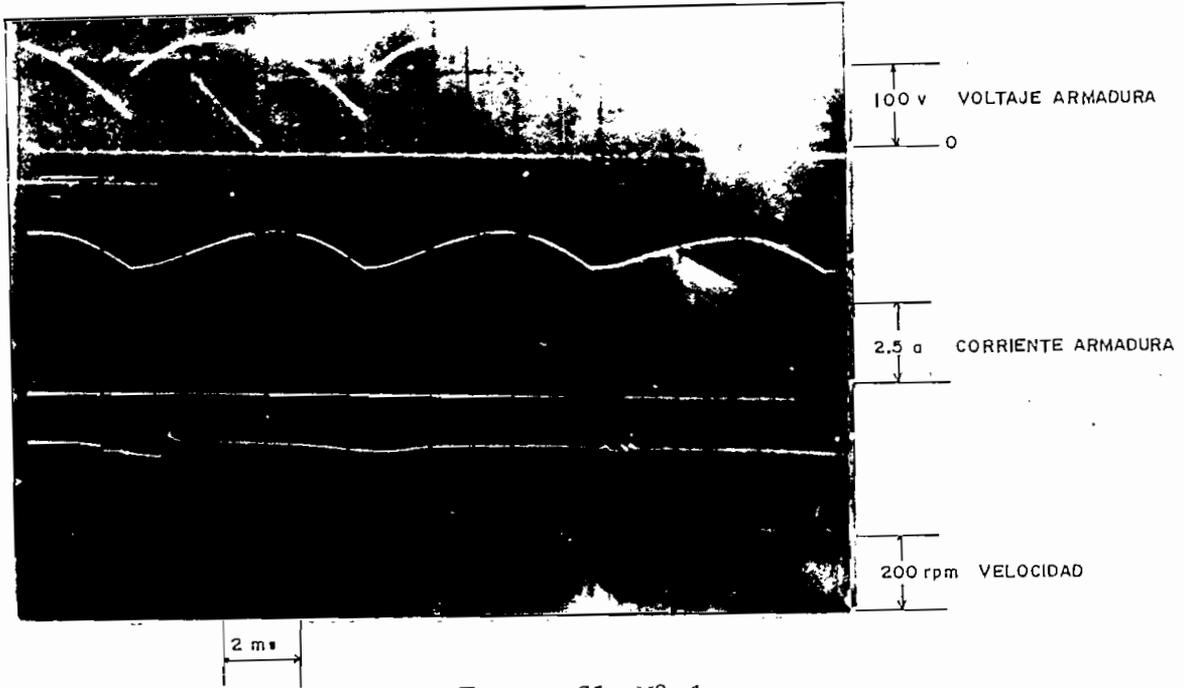
VELOCIDAD (rad/seg)



MOTOR SERIE - ARRANQUE

Rectificador de 3 pulsos - Angulo de retardo 18.

las mismas causas.



Fotografía N° 6

El pico máximo alcanzado en el programa y en la experimentación coinciden y es de 5 A. El pico mínimo de las pruebas es de 4 A y en los calculos de 4.6 A, lo que significa un error de 15 %.

La velocidad alcanzada experimentalmente es de 440 RPM, mientras que la del programa, que se muestra en el gráfico 4.8 es de 500 RPM, existiendo un error del 13.64 %.

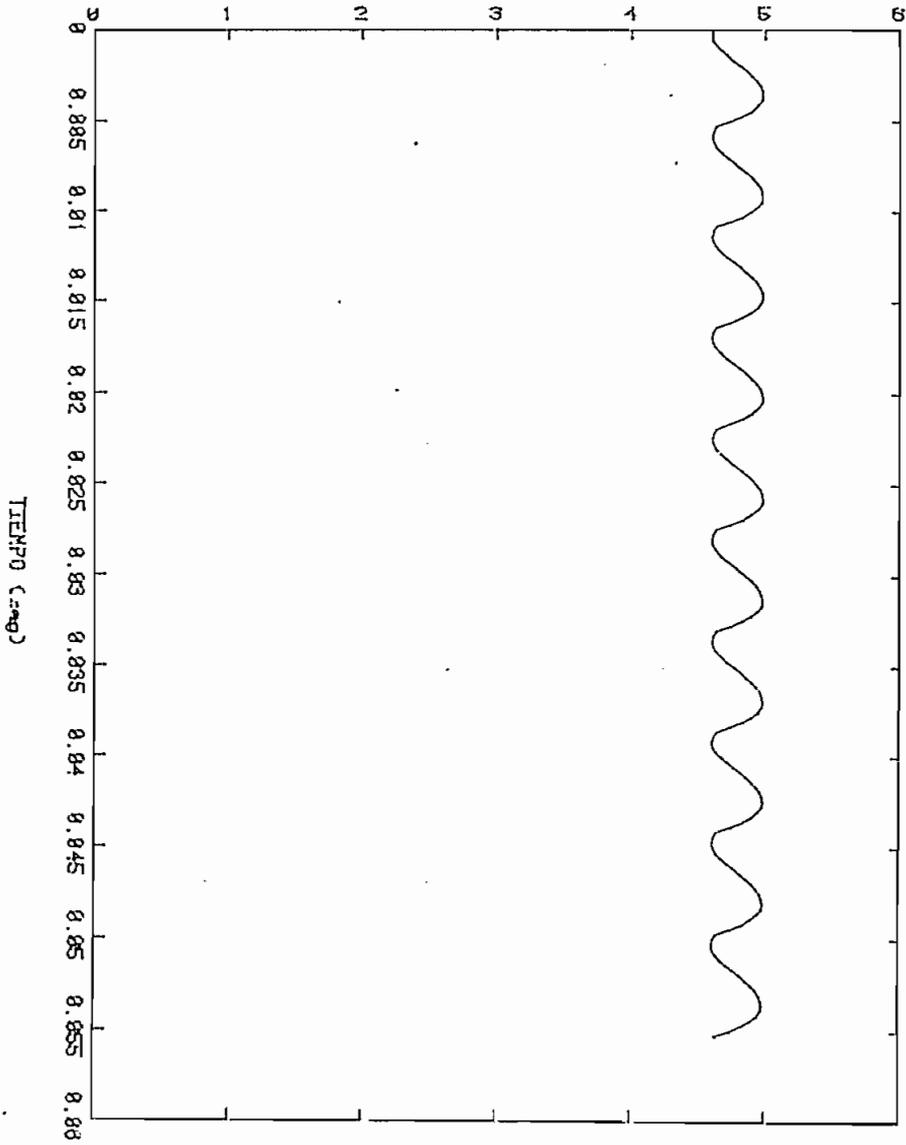
Al igual que en la primera prueba explicada, los transitorios extraños que se presentan en la señal de la velocidad se deben al ta cogenerador.

4.4. MOTOR SERIE - ESTADO ESTABLE - TROCEADOR

Los resultados experimentales fueron obtenidos bajo las si-

GRAFICO 4.7

CORRIENTE DE ARMADURA (Amp)



Rectificador de 3 pulsos - Angulo de retardo 10.

MOTOR SERIE - ESTADO ESTABLE

GRAFICO 4.8

VELOCIDAD (rad/seg)

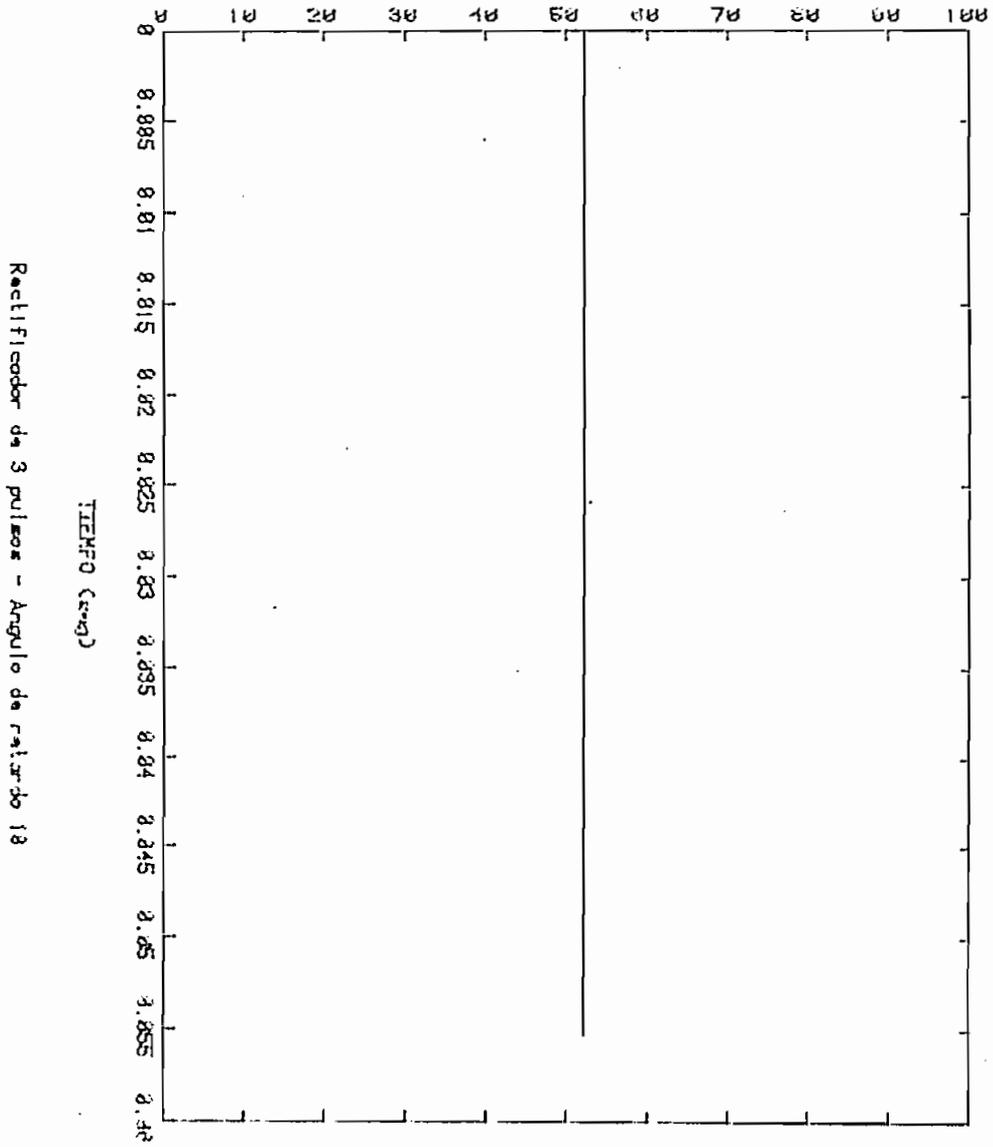
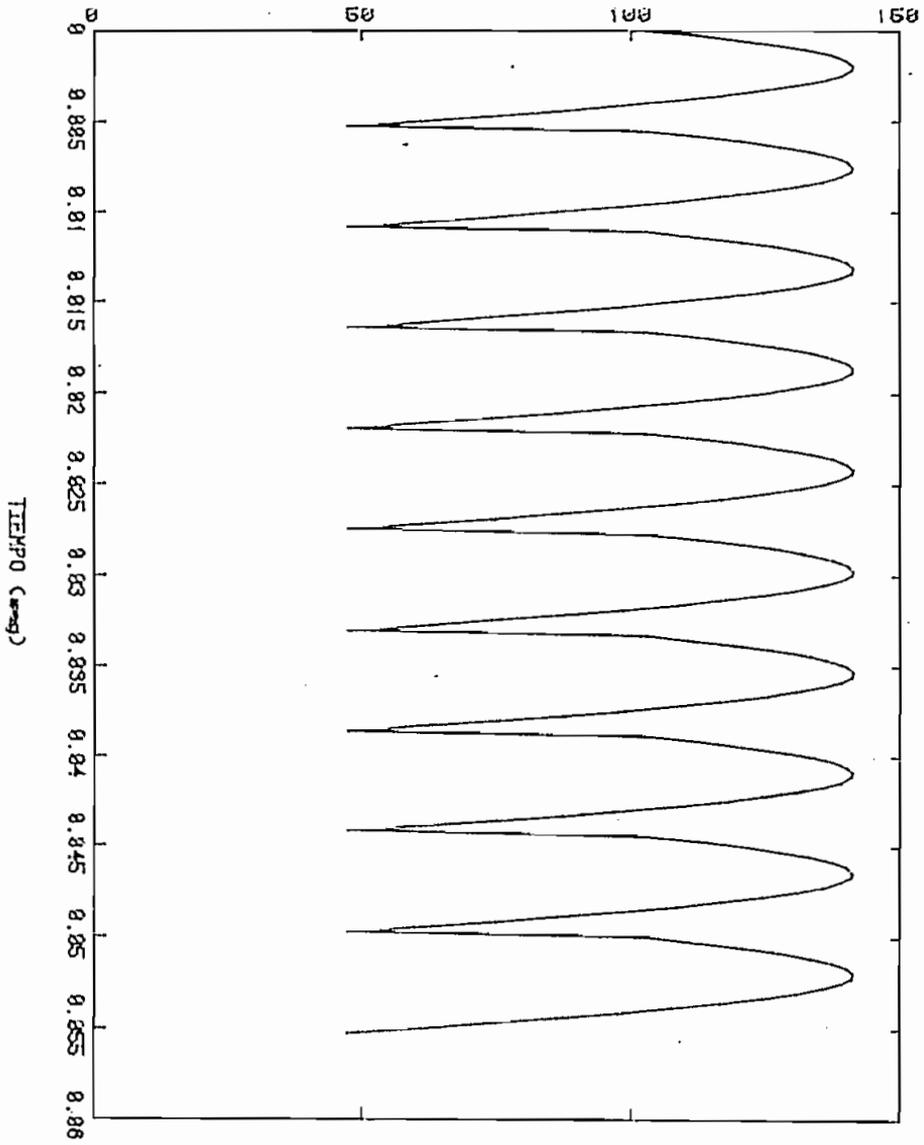


GRAFICO 4.9

VOLTAJE DE ARMADURA (V_a)



MOTOR SERIE - ESTADO ESTABLE

Rectificador de 3 pulsos - Angulo de retardo 18.

güentes condiciones:

Voltaje de alimentación del troceador: 67 V (DC)

Resistencia de arranque de la armadura: 1 Ω

Período: 4 ms

Tiempo de conducción del tiristor principal: 1.4 ms

Condensador de conmutación: 10 μ f

Voltaje de alimentación del campo del generador: 224.8 V (DC)

Resistencia del generador: 20 Ω

Los resultados experimentales se muestran en la fotografía 7 y los calculados en los gráficos 4.10, 4.11 y 4.12.

De la fotografía 7 y del gráfico 4.10 se puede observar que las formas de onda de la corriente de armadura son muy semejantes, - salvo los picos de corriente, que en la realidad tienen un valor mayor e incluso, en el gráfico no aparece el transitorio de corriente que se produce al iniciar la conducción el tiristor principal.

En la fotografía se ve que mientras conduce al diodo y antes de que se produzca el disparo del tiristor principal la corriente - tiene un valor de 5 A mientras que en el gráfico 4.10 la corriente en el mismo instante tiene un valor de 5.1 A, que significa un error del 2 %.

El momento en que se produce la conmutación la corriente experimental tiene un valor de aproximadamente 6.5 A mientras que el

dato calculado alcanza a un valor de 5.5 A. Existe un error de -15.38 %.



Fotografía N° 7

El pico de corriente máximo llega hasta un valor de 8 A mientras que en el programa llega hasta un valor de 5.7 A. Tal diferencia puede ser causada por el intervalo de integración tomado para la simulación y más que eso, problemas que presentan los tiristores en la conmutación.

En cuanto a la velocidad, en las pruebas se obtuvo aproximadamente 550 RPM mientras en el programa 590 RPM, lo que significa un error del 7.27 %.

La onda de voltaje de armadura que se presenta en el gráfico 4.12, presenta una cierta pendiente, el momento en que entra a la conducción el tiristor principal (cosa que no aparece en la realidad)

GRAFICO 4.10

CORRIENTE DE ARMADURA (amp)

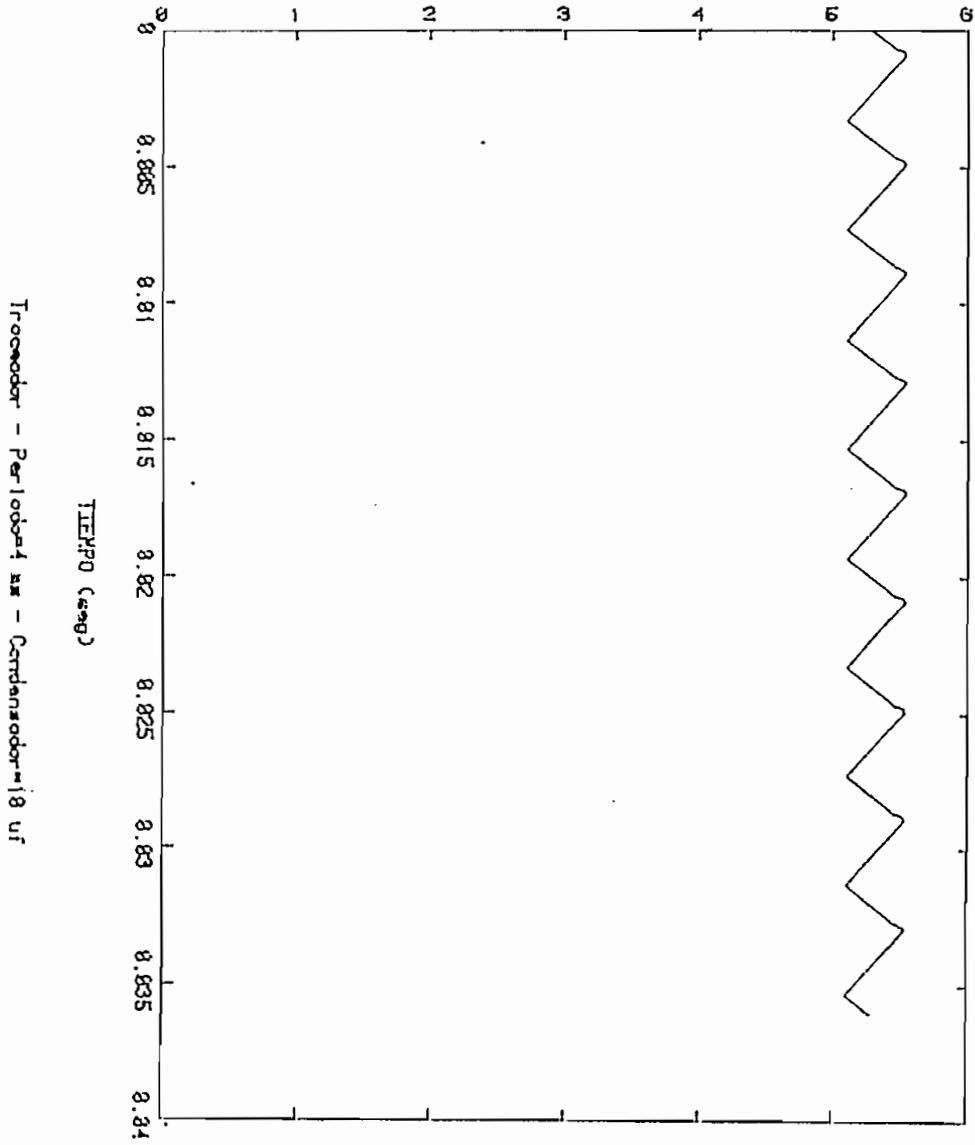
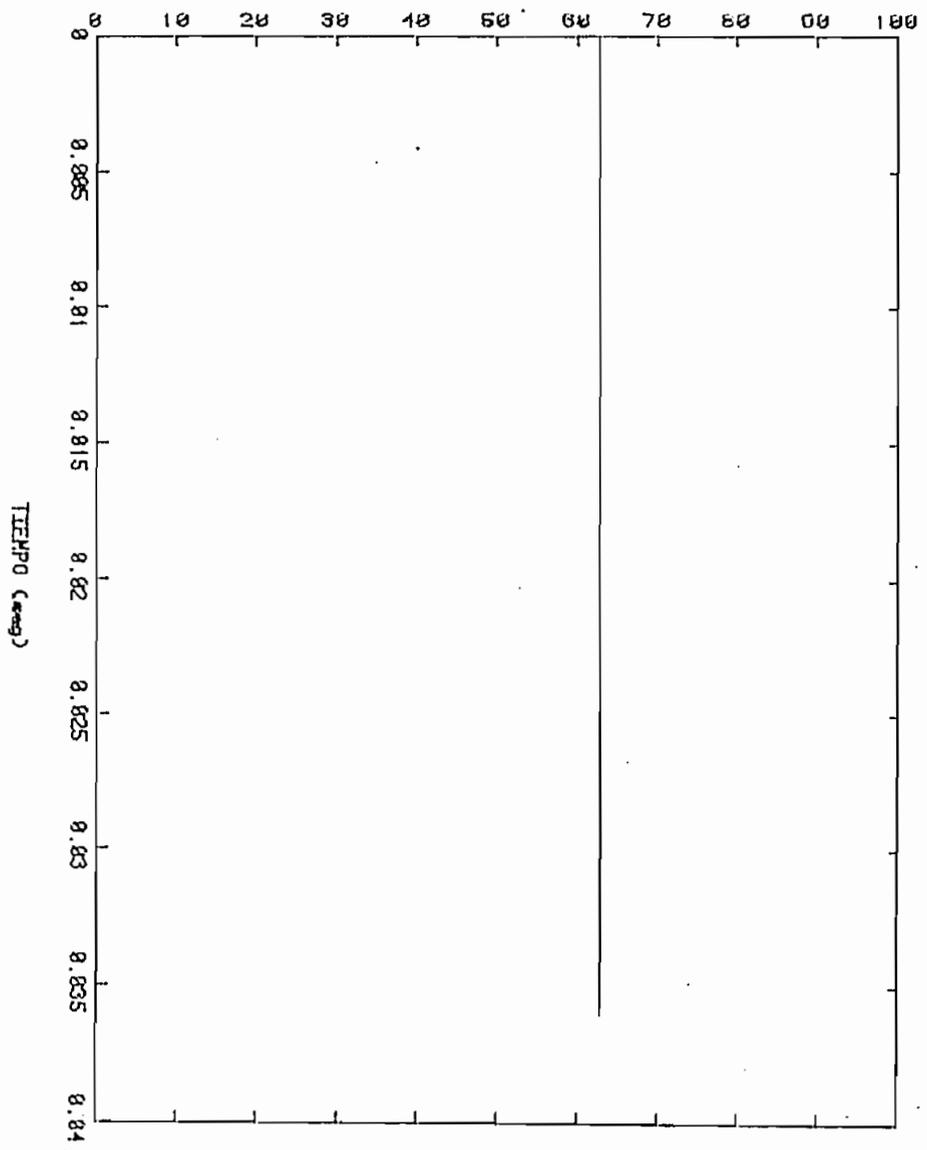


GRAFICO 4.11

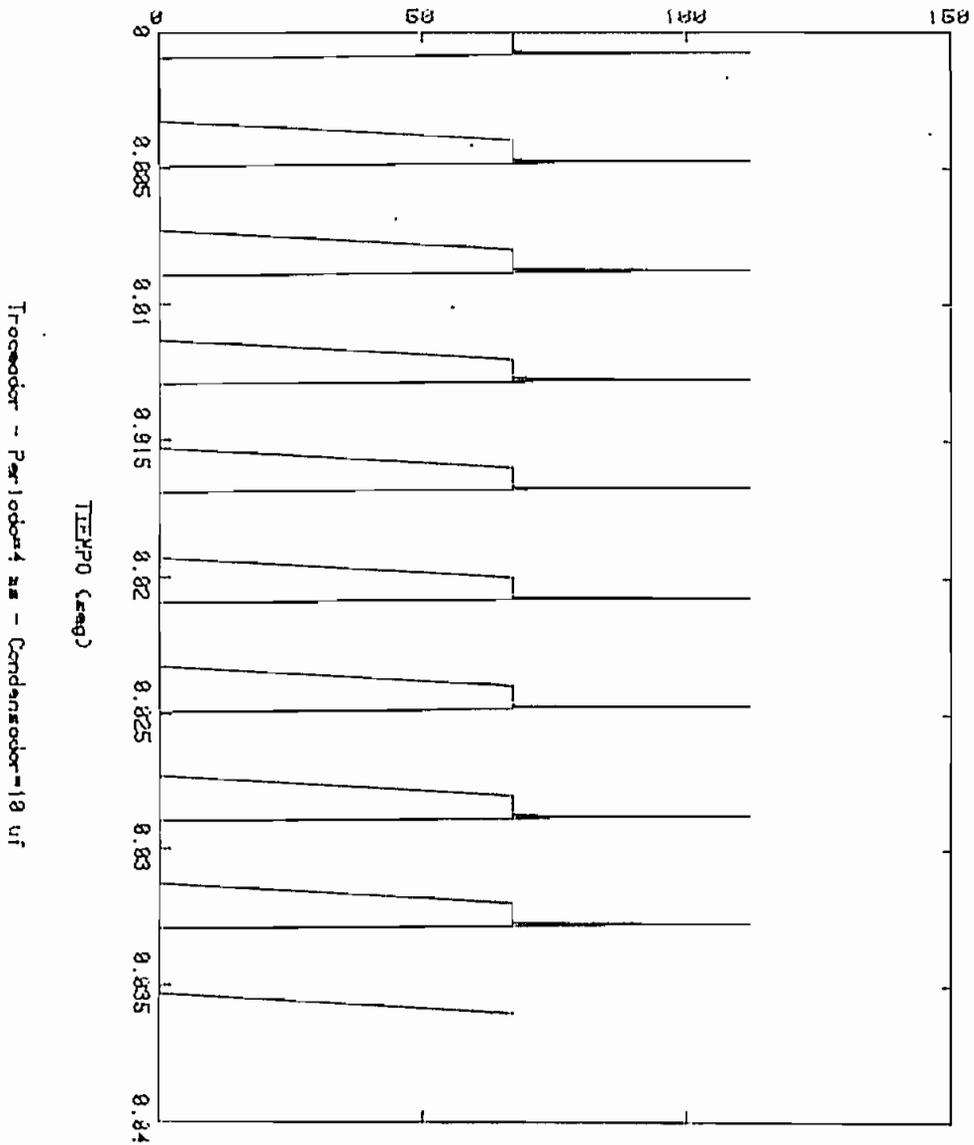
VELOCIDAD (rad/seg)



MOTOR SERIE - ESTADO ESTABLE

Troscador - Paríodo₁ = 2π - Condensador = 18 uF

GRAFICO 4.12
VOLTAJE DE ARMADURA (Veff)



esto se debe al intervalo de integración tomado para los cálculos.

De la comparación de resultados que se ha realizado, se puede notar que siempre existe una diferencia en la amplitud de la onda de corriente de armadura, cuyas causas ya han sido analizadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las comparaciones, realizadas se puede concluir que la simulación que se plantea en este trabajo presenta una gran exactitud, con respecto a la realidad, tomando en cuenta todas las suposiciones y consideraciones que se han hecho, como son: el comportamiento de la máquina no se ve afectado por el fenómeno de reacción de la armadura; la resistencia de armadura presenta un valor constante con respecto a la corriente que por ella circula; los semiconductores utilizados son interruptores ideales y no presentan problemas en el instante de su conmutación.

Se recomienda continuar este trabajo, haciendo un análisis - detallado del comportamiento de la máquina y sus transitorios, cuando esta, trabaja en los cuatro cuadrantes o implementar la simulación de un control, de lazo cerrado de torque y velocidad.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Rodríguez Luis, "Simulación Estadística", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1983.
- 2.- Sandoval Luis, "COMPORTAMIENTO DINAMICO DE MAQUINAS CORRIENTE CONTINUA INCLUIDA LA SATURACION MAGNETICA", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1981.
- 3.- Astudillo Jaime, "Estudio Teórico - Experimental de la Velocidad y Torque en un Motor DC Alimentado con Corriente Alterna Rectificada y Controlada en Fase", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1981.
- 4.- Thaler G.J. y Wilcox M.L., "Máquina Eléctricas", Limusa, México, 1974.
- 5.- Fitzgerald A.E, Kingsley C. Jr, Kustco A, "Electric Machinery" McGraw-Hill, Third Edition, New York, 1971.
- 6.- Westinghouse Electric Corporation, "Generalized Machine", Motor and Control Division, New York, 1958.
- 7.- "General Electric, SCR Manual", Fifth edition, General Elec-

A P E N D I C E A

PARAMETROS, DATOS Y CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA

Para las pruebas se utilizó la Máquina Generalizada Westinghouse que se dispone en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad, cuyos datos de placa se muestran a continuación:

ARMADURA 230 V - 8 A (DC-AC)

CAMPO (BOBINAS EN SERIE) 230 V - 3.6 A (DC-AC)

CAMPO (BOBINAS EN PARALELO) 115 V - 7.2 A (DC-AC)

Esta máquina tiene acoplada al eje otra (ROTOR DRIVE MOTOR), la cual haciéndole trabajar como generador, permite cargar a la máquina impulsora y sus datos de placa son:

ARMADURA 240 V - 10.8 A (DC)

CAMPO 240 V - 0.562 A (DC)

Los parámetros utilizados en el programa digital, en su gran mayoría, fueron obtenidos del manual, o de tesis anteriores, previa comprobación experimental y estos son:

Resistencia de armadura 1.452 Ω

Inductancia de armadura	0.05 H
Resistencia campo serie	0.7 Ω
Inductancia campo serie	0.1 H
Resistencia campo derivación	2.8 Ω
Inductancia campo derivación	0.4 H
Momento de inercia	0.011 Kg m ²

Sin embargo, fue necesario determinar curvas de magnetización tanto para la máquina serie como para la en derivación, las mismas - que se encuentran en las figura A.1. y A.2. respectivamente.

De las curvas anteriores y de la parte lineal de las mismas se puede calcular la inductancia rotacional siguiendo las siguientes relaciones:

$$E\emptyset = G_q \cdot I_d \cdot W$$

$$G_q = \frac{E\emptyset}{I_d \cdot W}$$

Donde $E\emptyset$ es el voltaje inducido, G_q la inductancia rotacional, I_d la corriente de campo y W la velocidad a la cual fue obtenida la curva de magnetización.

De estos cálculos se obtienen los siguientes valores:

$$G_q = 0.05124 \frac{V \cdot \text{rad}}{A}$$

$$G_q = 0.0419 \frac{V \cdot \text{rad}}{A}$$

MOTOR EN DERIVACION

MOTOR SERIE

En la comparación de resultados experimentales con datos calculados, en pruebas preliminares se dedujo que el procedimiento seguido para determinar la característica torque vs Velocidad, en la Tesis Comportamiento Dinámico de Máquinas de Corriente Continua Incluida la Saturación Magnética, se apartaba de la realidad, debido a la variación de la resistencia de armadura con la corriente; razón por la cual se siguió el siguiente procedimiento para determinar dicha curva:

- La ecuación de equilibrio mecánico, al momento en que la velocidad ha adquirido su estado estable e introduciendo el efecto del coeficiente de rozamiento viscoso en el torque (T) que pide la carga quedará de la siguiente manera:

$$J \frac{dW}{dt} = G_q I_d I_q - T$$

$$T = G_q I_d I_q$$

- Si se conoce G_q , I_d (corriente de campo) e I_q (corriente de armadura) se puede conocer el torque (T), Aplicando la relación anterior, en el cual se encuentran ya incluidas las pérdidas mecánicas.
- Por último se mide la velocidad

Es necesario tener en cuenta que en el motor serie la corriente de campo es igual a la de armadura.

Las características Torque vs Velocidad para el motor serie y para el motor shunt se encuentran en las figuras A.3 y A.4, teniendo como carga el generador que entrega su potencia a un reóstato de 20Ω .

La señal de velocidad, tanto para las pruebas experimentales como para la obtención de las funciones de torque fue tomada del tacogenerador de DC acoplada a la máquina en cuestión y su curva de calibración se indica en la figura A.5.

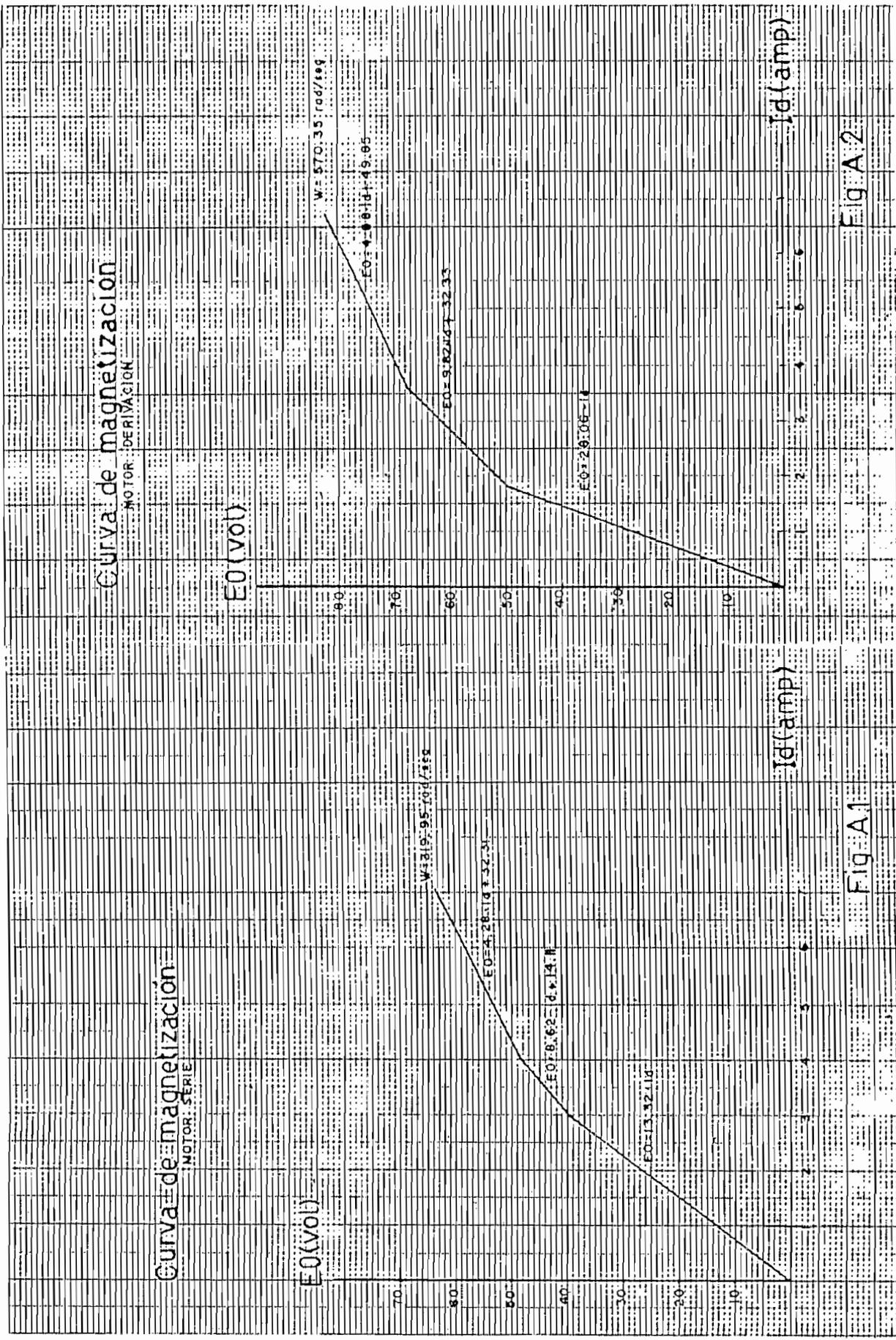


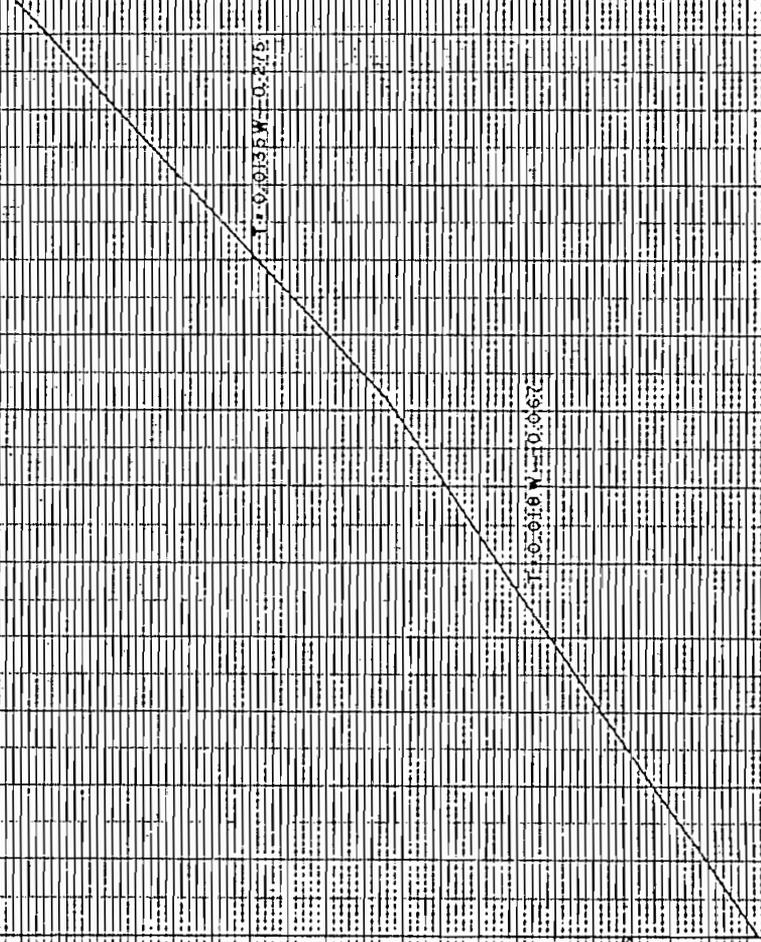
Fig. A1

Fig. A2

TORQUE DE CARGA VS VELOCIDAD

MOTOR SERIE

T (N/m)



$$T = 0.0135 W + 0.275$$

$$T = 0.016 W + 0.067$$

W (rad/seg)

Fig A.3

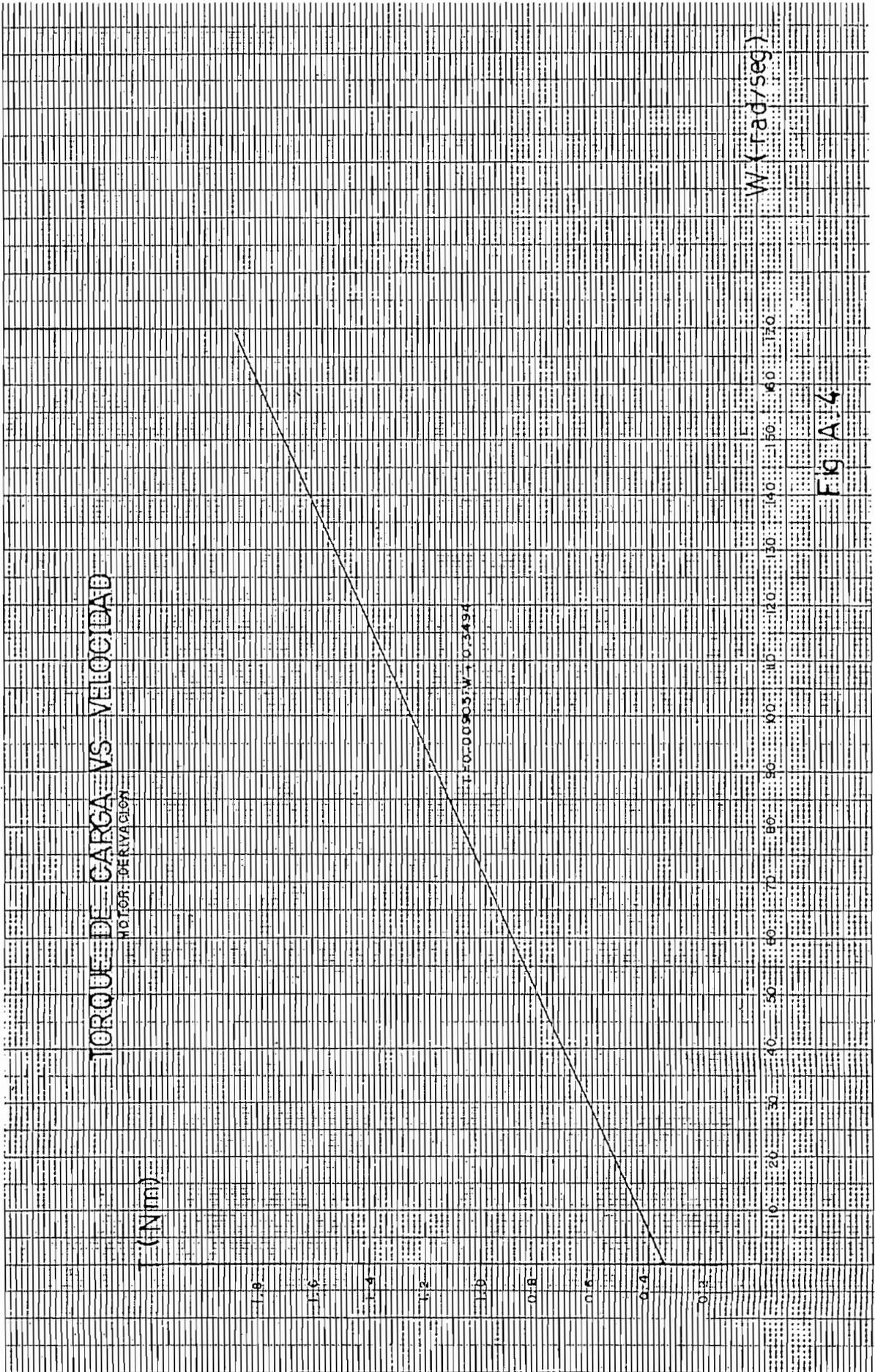
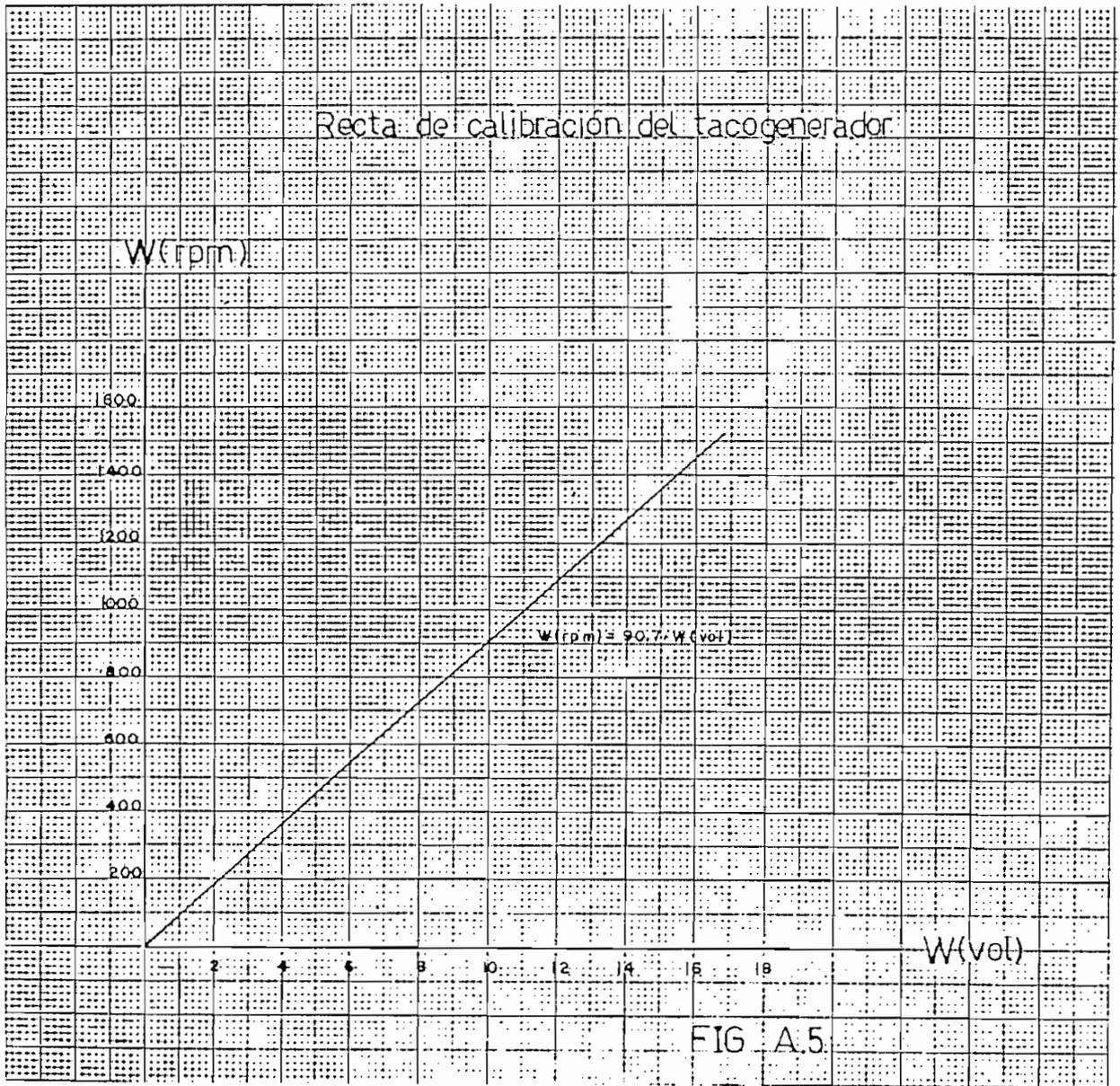


Fig A.4



A P E N D I C E B

M A N U A L D E U S O

El programa digital para la simulación del arranque y perturbaciones de una máquina de continua, tanto en su conexión serie como en su conexión en derivación, y alimentada por circuitos a tiristores está desarrollado en lenguaje BASIC para la microcomputadora Tektronix 4051.

El programa se encuentra en el diskette Nicolás Martínez/Tesis. Para su utilización es necesario montar el mismo en la UNIDAD \emptyset y cargar el programa principal de enlace "TESIS", mediante la instrucción:

```
OLD "TESIS"
```

Debido a que existe una relación interactiva entre la máquina y el usuario, el ingreso de datos y parámetros se hace una vez - que el programa está en ejecución y luego de que aparecen mensajes - en la pantalla del computador.

Las unidades, en que deben estar los datos, se detallan a continuación:

Voltaje	-	Voltios
Corriente	-	Amperios

Inductancia -	Henrios
Capacitancia-	Faradios
Velocidad -	Radianes/segundo
Resistencia -	Ohmios
Torque -	Newton.metro
Tiempo -	Segundos

Como ejemplo se supondrá que se desea simular el arranque de una máquina serie alimentada por un rectificador de 3 pulsos.

Una vez ejecutado el comando OLD "TESIS" es necesario iniciar el funcionamiento del programa a través del comando RUN, posteriormente aparecen una serie de mensajes que se indican a continuación:

- 1.- Motor shunt
- 2.- Motor serie

ESCOJA ? 2

LOS PARAMETROS ANTERIORMENTE UTILIZADOS FUERON:
*** *****

Resistencia de campo (ohm)	0.7
Resistencia de armadura (ohm)	1.452
Inductancia de campo (henrios)	0.1
Inductancia de armadura (henrios)	0.05
Resistencia de arranque de armadura (ohm)	20
Inductancia rotacional (Vol.seg/amp)	0.0419

Momento de inercia de rotor (Kg.m²) 0.11

DESEA CAMBIARLOS (SI o NO) ? N

1.- ARRANQUE

2.- PERTURBACION EN ESTADO ESTABLE

ESCOJA ? 1

1.- RECTIFICADOR 2 PULSOS

2.- RECTIFICADOR 3 PULSOS

3.- RECTIFICADOR 6 PULSOS

4.- RECTIFICADOR 2 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION

5.- RECTIFICADOR 3 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION

6.- RECTIFICADOR SEMICONTROLADO

7.- RECTIFICADOR 6 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION

8.- TROCEADOR

ESCOJA ? 2

VOLTAJE DE ALIMENTACION DE LA RED (VOL) ? 100

FRECUENCIA DE LA RED (1/SEG) ? 60

NUMERO DE PUNTOS ? 3400

NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION ? 20

ANGULO DE DISPARO ? 10.58

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ? NICO

Luego de haber ingresado todos estos datos al programa tarda en su ejecución, alrededor de 4 horas.

Posteriormente se procede a la grafización que puede ser en pantalla o en papel.

Los resultados obtenidos de la ejecución de este programa se muestran en los gráficos 4.5 y 4.6.

Es necesario aclarar, que en el ejemplo presentado, el caracter después del signo de interrogación es el dato ingresado por el usuario.

LISTA DE VARIABLES

Al	Angulo de retardo con que se activan los tiristores en los rectificadores
C	Valor del condensador de conmutación del troceador
D2	Momento de inercia de la máquina
E \emptyset	Voltaje inducido saturado
E1	Voltaje de alimentación del troceador
F \emptyset	Frecuencia de la red de alimentación
F(1)	Derivada de la corriente de campo
F(2)	Derivada de la corriente de armadura (motor derivación) o de la velocidad (motor serie)
F(3)	Derivada de la velocidad (motor derivación)
G1	Inductancia rotacional
H	Intervalo de integración. Todas las variables cuyo primer caracter es H, representan intervalos de integración
II	Bandera que indica conducción continua o discontinua

- I2 Bandera que permite ir sólo una vez, en un período, a la subrutina de cruce por cero de la corriente
- I3 Bandera que indica que el voltaje de armadura es el inducido
- I4 Tiempo en que debe activarse un tiristor
- I5 Bandera que indica si en el rectificador existe el efecto del diodo de recuperación
- I6 Bandera que permite ir sólo una vez, en un período, a la subrutina de cambio de ángulo
- J1 Seleccionador del motor
- J2 Seleccionador del tipo de funcionamiento
- J3 Seleccionador de la fuente de alimentación
- J4 Seleccionador de la perturbación
- L1 Inductancia de campo
- L2 Inductancia de armadura
- M Determina en qué paso del proceso de integración se encuentran los cálculos
- M1 Número de puntos a calcularse en el intervalo de conducción del tiristor principal en el troceador
- M2 Número de puntos a calcularse en el intervalo de conducción del tiristor auxiliar en el troceador
- M3 Puntos a calcularse en el intervalo de conducción del diodo en el troceador
- N Número de ecuaciones diferenciales
- NØ Número de puntos totales a calcularse
- N1 Número de puntos por intervalo de posible conducción, a calcularse en los rectificadores
- N2 Contador del número de puntos totales calculados

N3	Contador del número de puntos calculados en un período
N4	Puntos que faltan por ser calculados, luego de una conducción discontinua
N5	Puntos a calcularse mientras la onda de voltaje de alimentación del rectificador no ha cruzado por cero
N6	Puntos que se calcularán, mientras dura el efecto del diodo de recuperación en los rectificadores
N7	Contador de puntos calculados antes de que el voltaje de <u>ali</u> mentación del rectificador cruce por cero
P	Todas las variables que comienzan con este conector son usadas para detectar el cruce por cero del voltaje de alimentación del troceador
R1	Resistencia de campo
R2	Resistencia de armadura
R3	Resistencia de arranque del campo
R4	Resistencia de arranque de la armadura
R5	Nueva resistencia de arranque de la armadura luego de producir la perturbación
T	Tiempo simulado. Tiempo del proceso Runge-Kutta
T2	Período de trabajo del troceador
T3	Torque de la carga
T4	Tiempo aproximado en que cruzará el voltaje de alimentación del troceador por cero
T6	Tiempo de conducción del tiristor principal en el troceador
T7	Tiempo al cual debe producirse la perturbación
T8	Nuevo torque constante luego de producirse la perturbación
VØ	Voltaje de alimentación de la red o voltaje pico de la red

- V1 Voltaje de alimentación al campo
- V2 Voltaje de alimentación a la armadura
- V3 Nuevo voltaje con que va a ser alimentado el campo luego de una perturbación
- W Frecuencia angular
- Y(1) Corriente de campo (motor derivación), o de armadura (motor serie)
- Y(2) Corriente de armadura (motor derivación), o velocidad (motor serie)
- Y(3) Velocidad (motor derivación), o voltaje sobre el condensador cuando el motor serie está alimentado por el troceador
- Y(4) Voltaje sobre el condensador de conmutación en el troceador.

```

100 PRINT "LJJ                      ESCUELA POLITECNICA NACIONAL"
105 PRINT "                      *****"
110 PRINT "JJ                      FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA"
115 PRINT "                      DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA"
120 PRINT "                      AREA DE CONTROL"
125 PRINT "JJ                      TESIS DE GRADO"
130 PRINT "                      *****"
135 PRINT "JJTITULO:      SIMULACION DIGITAL DE UNA MAQUINA DE CORRIENTE"
140 PRINT "                      CONTINUA, INCLUIDA LA SATURACION Y ALIMENTADA"
145 PRINT "                      POR CIRCUITOS A TIRISTORES"
150 PRINT "JJOBJETIVO:      Estudiar el comportamiento dinamico de la ma -"
155 PRINT "                      quina de corriente continua, tanto en su conexio -"
160 PRINT "                      serie, como shunt; considerando el efecto de la"
165 PRINT "                      saturacion magnetica, y alimentada por circuitos"
170 PRINT "                      rectificadores y troceador"
175 PRINT "JJJ                      RETURN (para continuar)"
180 INPUT X$
185 PRI "LJJMETODO:      Se utiliza un modelo matematico en funcion de"
190 PRINT "                      corrientes. Las ecuaciones diferenciales se re -"
195 PRINT "                      suelven por el metodo RUNGE-KUTTA de Cuarto Orden"
200 PRINT "JJJFECHA:      NOVIEMBRE, 1983"
205 PRINT "JJJAUTOR:      NICOLAS MARTINEZ C."
210 PRINT "JJJJJJJJ      RETURN (para continuar)"
215 INPUT X$
220 DIM F(4),PO(4),Y(4),SO(4),Z(3,4),Z1(3,4),Z2(3,4)
225 FOR X0=1 TO 4
230 FOR X1=1 TO 3
235 Z(X1,X0)=0
240 Z2(X1,X0)=0
245 NEXT X1
250 NEXT X0
255 REM SELECCION DEL TIPO DE MOTOR
260 PRINT "LJJJ1.-MOTOR SHUNT"
265 PRINT "I2.-MOTOR SERIE"
270 PRINT "JJJG                      ESCOJA ";
275 INPUT J1
280 IF J1=1 OR J1=2 THEN 300
285 GO TO 270
290 REM CARGA DEL PROCESO ITERATIVO EN LA LINEA 4000
295 REM LECTURA DE LOS PARAMETROS DEL MOTOR SELECCIONADO
300 GO TO J1 OF 305,335
305 Z9=MEMORY
310 APPEND "MOTODE";4000
315 OPEN "PARAMED";1,"R",X$
320 READ #1:R1,R2,L1,L2,G1,D2,R3,R4
325 CLOSE
330 GO TO 360
335 Z9=MEMORY
340 APPEND "MOTOSE";4000
345 OPEN "PARAMES";1,"R",X$
350 READ #1:R1,R2,L1,L2,G1,D2,R4
355 CLOSE
360 PRINT "LJJ                      LOS PARAMETROS ANTERIORMENTE UTILIZADOS FUERON:"
365 PRINT "                      *****"

```

```

370 PRINT "JJJRESISTENCIA DE CAMPO (ohm)                ";R1
375 PRINT "RESISTENCIA DE ARMADURA (ohm)              ";R2
380 PRINT "INDUCTANCIA DE CAMPO (ohm)                  ";L1
385 PRINT "INDUCTANCIA DE ARMADURA (henrios)          ";L2
390 IF J1=2 THEN 400
395 PRINT "RESISTENCIA DE ARRANQUE CAMPO (ohm)         ";R3
400 PRINT "RESISTENCIA DE ARRANQUE ARMADURA (ohm)    ";R4
405 PRINT "INDUCTANCIA ROTACIONAL (vol.seg/amp)       ";G1
410 PRINT "MOMENTO DE INERCIA DEL ROTOR (kg.m^2)      ";D2
415 PRINT "JJJJIIDEESEA CAMBIAR (si o no)G";
420 INPUT X$
425 IF X$="SI" OR X$="S" THEN 440
430 GO TO 590
435 REM INGRESO DE LOS NUEVOS PARAMETROS
440 PRINT "LJRESISTENCIA DE ARMADURA (ohm)          ";
445 INPUT R2
450 PRINT "RESISTENCIA DE CAMPO (ohm)                ";
455 INPUT R1
460 PRINT "INDUCTANCIA DEL CAMPO (henrios)            ";
465 INPUT L1
470 PRINT "INDUCTANCIA DE ARMADURA (henrios)        ";
475 INPUT L2
480 PRINT "INDUCTANCIA ROTACIONAL (vol.seg/amp)       ";
485 INPUT G1
490 PRINT "MOMENTO DE INERCIA DEL ROTOR (kg.m^2)      ";
495 INPUT D2
500 IF J1=2 THEN 515
505 PRINT "RESISTENCIA DE ARRANQUE DEL CAMPO (ohm)    ";
510 INPUT R3
515 PRINT "RESISTENCIA DE ARRANQUE DE LA ARMADURA (ohm)";
520 INPUT R4
525 GO TO J1 OF 530,560
530 KILL "PARAMED"
535 CREATE "PARAMED";195,0
540 OPEN "PARAMED";1,"F",X$
545 WRITE #1:R1,R2,L1,L2,G1,D2,R3,R4
550 CLOSE
555 GO TO 590
560 KILL "PARAMES"
565 CREATE "PARAMES";195,0
570 OPEN "PARAMES";1,"F",X$
575 WRITE #1:R1,R2,L1,L2,G1,D2,R4
580 CLOSE
585 REM SELECCION DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR Y CARGA DEL SUBPROGRAMA
590 PRINT "LJJJI1.- ARRANQUE"
595 PRINT "I2.- PERTURBACION EN ESTADO ESTABLE"
600 PRINT "JJJG                                     ESCOJA ";
605 INPUT J2
610 IF J2=1 OR J2=2 THEN 620
615 GO TO 600
620 GO TO J1 OF 625,660
625 IF J2=1 THEN 645
630 Z9=MEMORY
635 APPEND "MIP";690

```

```

640 GO TO 690
645 Z9=MEMORY
650 APPEND "MDA";690
655 GO TO 690
660 IF J2=1 THEN 680
665 Z9=MEMORY
670 APPEND "MSP";690
675 GO TO 690
680 Z9=MEMORY
685 APPEND "MSA";690
690 REM *****
1500 REM*****LINEA 1500
1505 REM SELECCION DE LA ALIMENTACION Y CARGA DEL PROGRAMA
1510 PRINT "LJJIJ1.-RECTIFICADOR 2 PULSOS"
1515 PRINT "I2.-RECTIFICADOR 3 PULSOS"
1520 PRINT "I3.-RECTIFICADOR 6 PULSOS"
1525 PRINT "I4.-RECTIFICADOR 2 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION"
1530 PRINT "I5.-RECTIFICADOR 3 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION"
1535 PRINT "I6.-RECTIFICADOR SEMICONTROLADO"
1540 PRINT "I7.-RECTIFICADOR 6 PULSOS CON DIODO DE RECUPERACION"
1545 PRINT "I8.-TROCEADOR"
1550 PRINT "JJJJG" ESCOJA OPCION ";
1555 INPUT J3
1560 IF J3=1 OR J3=2 OR J3=3 OR J3=4 OR J3=5 THEN 1575
1565 IF J3=6 OR J3=7 OR J3=8 THEN 1575
1570 GO TO 1550
1575 GO TO J3 OF 1580,1595,1610,1625,1640,1655,1670,1685
1580 Z9=MEMORY
1585 APPEND "REC2SD";1725
1590 GO TO 1720
1595 Z9=MEMORY
1600 APPEND "REC3SD";1725
1605 GO TO 1720
1610 Z9=MEMORY
1615 APPEND "REC6SD";1725
1620 GO TO 1720
1625 Z9=MEMORY
1630 APPEND "REC2CD";1725
1635 GO TO 1720
1640 Z9=MEMORY
1645 APPEND "REC3CD";1725
1650 GO TO 1720
1655 Z9=MEMORY
1660 APPEND "RECSCCD";1725
1665 GO TO 1720
1670 Z9=MEMORY
1675 APPEND "REC6CD";1725
1680 GO TO 1720
1685 DELETE 4000,8000
1690 IF J1=1 THEN 1710
1695 Z9=MEMORY
1700 APPEND "TROS";1725
1705 GO TO 1720
1710 Z9=MEMORY

```

1715 APPEND *TROC* ;1725
1720 DELETE 220,1720
1725 REM *****
4000 REM *****LINEA 4000

```

100 REM SUBPROGRAMA MDA
110 REM MOTOR DERIVACION ARRANQUE
120 REM INIIIALIZACION DE VARIABLES
130 Y(1)=0
140 Y(2)=0
150 Y(3)=0
160 PRI "LJJGVOLTAJE DE ALIMENTACION DEL CAMPO (voltios)      ";
170 INPUT V1
180 N=3
190 N2=0
200 M=0

```

```

100 REM SUBPROGRAMA MSP
110 REM MOTOR SERIE PERTURBACION
120 REM INGRESO DE CONDICIONES INICIALES Y SELECCION DE LA PERTURBACION
130 REM QUE SE DESEA
140 PRI "LJJCORRIENTE DEL MOTOR (amp)           ";
150 INPUT Y(1)
160 PRINT "VELOCIDAD (rad/ses)           ";
170 INPUT Y(2)
180 Y(2)=-Y(2)
190 N=2
200 N2=0
210 M=0
220 PRINT "LJJ1.-INCREMENTO BRUSCO DE LA CARGA"
230 PRINT "2.-VARIACION DE LA RESISTENCIA DE ARRANQUE"
240 PRINT "                JJESCOJA OPCIONG ";
250 INPUT J4
260 IF J4=1 OR J4=2 THEN 280
270 GO TO 240
280 PRINT "LJJTIEMPO AL CUAL SE PRODUCE LA PERTURBACION (ses) . ";
290 INPUT T7
300 IF J4=1 THEN 350
310 PRINT "JJLA RESISTENCIA DE ARRANQUE           , Ra=";R4
320 PRINT "CUAL ES EL NUEVO VALOR (Ohm)           . Ra=";
330 INPUT R5
340 GO TO 370
350 PRINT "CUAL ES EL NUEVO VALOR DE TORQUE (Nm) ";
360 INPUT T8
370 REM

```

```

100 REM SUBPROGRAMA MSA
110 REM MOTOR SERIE ARRANQUE
120 REM INICIALIZACION DE VARIABLES
130 Y(1)=0
140 Y(2)=0
150 N=2
160 N2=0
170 M=0

```

```

100 REM SUBPROGRAMA MSP
110 REM MOTOR SERIE PERTURBACION
120 REM INGRESO DE CONDICIONES INICIALES Y SELECCION DE LA PERTURBACION
130 REM QUE SE DESEA
140 PRI "LJJCORRIENTE DEL MOTOR (amp)                ";
150 INPUT Y(1)
160 PRINT "VELOCIDAD (rad/seg)                        ";
170 INPUT Y(2)
180 Y(2)=-Y(2)
190 N=2
200 N2=0
210 M=0
220 PRINT "LJJ1.-INCREMENTO BRUSCO DE LA CARGA"
230 PRINT "2.-VARIACION DE LA RESISTENCIA DE ARRANQUE"
240 PRINT "                JJESCOJA OPCIONG ";
250 INPUT J4
260 IF J4=1 OR J4=2 THEN 280
270 GO TO 240
280 PRINT "LJJTIEMPO AL CUAL SE PRODUCE LA PERTURBACION (seg) ";
290 INPUT T7
300 IF J4=1 THEN 350
310 PRINT "JJLA RESISTENCIA DE ARRANQUE                Rq=";R4
320 PRINT "CUAL ES EL NUEVO VALOR (Ohm)                Rq=";
330 INPUT R5
340 GO TO 370
350 PRINT "CUAL ES EL NUEVO VALOR DE TORQUE (Nm)        ";
360 INPUT T8
370 REM

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC2SD
110 REM RECTIFICADOR DE DOS PULSOS SIN DIBDO DE RETORNO
120 REM INGRESO DATOS : V0,F0,N0,N1,A1
130 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE LA ARMADURA (voltios) ";
140 INPUT V0
150 V0=SQR(2)*V0
160 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg) ";
170 INPUT F0
180 W=2*PI*F0
190 PRINT "NUMERO DE PUNTOS ";
200 INPUT N0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION ";
220 INPUT N1
230 PRINT "ANGULO DE DISPARO (deg) ";
240 INPUT A1
250 REM CREACION DEL ARCHIVO DE DATOS
260 PRINT "JGLNOMBRE DEL ARCHIVO ";
270 INPUT X$
280 CALL "FILE",0,X$,Y$
290 IF Y$="" THEN 340
300 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no) ";
310 INPUT Y$
320 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 260
330 KILL X$
340 CREATE X$(N0+10)*9+1,0
350 OPEN X$;1,"F",Y$
360 WRITE #1;N0
370 D0=0
380 K0=0
390 A1=A1*PI/180
400 T=A1/W
410 P1=1.0E-6
420 I2=2
430 GO TO 560
440 REM HA TERMINADO RUNGE? OCURRE EL PROXIMO DISPARO?
450 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 510
460 REM EXISTE CONDUCCION CONTINUA?
470 GO TO I1 OF 490,760
480 REM SELECCIONA LA FUNCION SINUSOIDAL DE ALIMENTACION
490 GO TO K0 OF 710,730
500 REM MINIMIZA EL ERROR DEL TIEMPO
510 T=I4
520 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 540
530 GO TO 560
540 IF I6=2 THEN 810
550 REM CAMBIO FUNCION SINUSOIDAL
560 K0=K0+1
570 REM CAMBIO DE PERIODO DE POSIBLE CONDUCCION
580 D0=D0+1
590 REM POSIBLE CAMBIO DE LAS BANDERAS SEGUN EL ESTADO DEL MOTOR
600 I1=1
610 N3=0
620 I3=2
630 I6=2

```

```

640 REM DETERMINACION DEL TIEMPO DEL PROXIMO DISPARO
650 I4=(PI*ID0+A1)/W
660 H=PI/W/N1
670 IF K0<=2 THEN 690
680 K0=1
690 GO TO 490
700 REM FUNCIONES SINUSOIDALES Y CAMBIO DE ESTADO BANDERA I3
710 U2=U0*SIN(W*T)
720 GO TO 740
730 U2=-U0*SIN(W*T)
740 GOSUB 4000
750 GO TO 450
760 I3=1
770 REM VA AL PROCESO ITERATIVO
780 GOSUB 4000
790 GO TO 450
800 REM SUBROUTINA DE CAMBIO DE ANGULO
810 FOR J=1 TO 3
820 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
830 Z1(J,2)=Z(J,4)
840 Z1(J,3)=1
850 Z1(J,4)=Z2(J,1)
860 NEXT J
870 Z1=INV(Z1)
880 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(U0*SIN(W*I4))))
890 T1=T1/2/Z1(1,4)
900 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(U0*SIN(W*I4))))
910 T2=T2/2/Z1(1,4)
920 IF T1>T THEN 960
930 H=T2-T
940 GO TO 970
950 REM CAMBIO DE H,I4,A1
960 H=T1-T
970 I6=1
980 I4=I4+H
990 A1=A1+W*H
1000 GOSUB 4000
1010 GO TO 450

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC2CD
110 REM RECTIFICADOR DE 2 PULSOS CON DIODO DE RETORNO
120 REM INGRESO DE PARAMETROS V0,F0,N0,N1,A1
130 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE ARMADURA (voltios) ";
140 INPUT V0
150 V0=SQR(2)*V0
160 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg) ";
170 INPUT F0
180 W=2*PI*F0
190 PRINT "NUMERO DE PUNTOS ";
200 INPUT N0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION ";
220 INPUT N1
230 PRINT "ANGULO DE DISPARO (des) ";
240 INPUT A1
250 REM CREACION DEL ARCHIVO DE DATOS
260 PRINT "LJJGNOMBRE DEL ARCHIVO ";
270 INPUT X$
280 CALL "FILE",0,X$,Y$
290 IF Y$="" THEN 340
300 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no) ";
310 INPUT Y$
320 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 260
330 KILL: X$
340 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
350 OPEN X$;1,"F",Y$
360 WRITE #1:N0
370 I0=0
380 K0=0
390 A1=A1*PI/180
400 T=A1/W
410 H=PI/W/N1
420 P1=1.0E-6
430 I2=2
440 N3=0
450 REM CALCULO DE LOS INTER. INTEGRACION SI LA ONDA DE VOLTAJE
460 REM CRUZA POR CERO
470 IF A1=0 THEN 540
480 N5=INT(N1*(PI-A1)/PI)
490 N6=N1-N5
500 H1=(PI-A1)/N5/W
510 H2=A1/N6/W
520 I5=2
530 GO TO 1080
540 I5=1
550 GO TO 730
560 REM HA TERMINADO RUNGE? OCURRE PROXIMO DISPARO?
570 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 660
580 REM EXISTE CONDUCCION CONTINUA?
590 GO TO I1 OF 610,920
600 REM LA ONDA DE VOLTAJE CRUZA POR CERO?
610 IF I5=2 THEN 970
620 REM SELECCION DE FUNCION SINUSOIDAL DE ALIMENTACION
630 GO TO K0 OF 870,890

```

```

640 REM EXISTIO CONDUCCION DISCONTINUA? LOS SEMICONDUCTORES ESTAN
650 REM POLARIZADOS DIRECTAMENTE?
660 T=I4
670 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 690
680 GO TO 710
690 IF I6=2 THEN 1110
700 REM ONDA DE VOLTAJE CRUZA POR CERO?
710 GO TO I5 OF 730,1080
720 REM CAMBIO DE FUNCION SINUSOIDAL
730 K0=K0+1
740 REM CAMBIO DE PERIODO
750 D0=D0+1
760 REM CAMBIO DE ESTADO DE LAS BANDERAS
770 I1=1
780 N3=0
790 I3=2
800 I6=2
810 N7=0
820 REM DETERMINACION DEL NUEVO TIEMPO DE DISPARO
830 I4=(PI*D0+A1)/W
840 IF K0<=2 THEN 860
850 K0=1
860 GO TO 630
870 V2=V0*SIN(W*T)
880 GO TO 900
890 V2=-V0*SIN(W*T)
900 GOSUB 4000
910 GO TO 570
920 I3=1
930 GOSUB 4000
940 GO TO 570
950 REM SE HA COMPLETADO RUNGE Y EL NUMERO DE PUNTOS DESDE EL DISPARO
960 REM HASTA EL CRUCE POR CERO DE LA ONDA DE VOLTAJE?
970 IF M=0 THEN 990
980 GO TO 1000
990 N7=N7+1
1000 IF N7=>N5 THEN 1030
1010 GO TO 630
1020 REM CAMBIO DE INTERVALO DE INTEGRACION (CONDUCE DIODO RECUPERA)
1030 H=H2
1040 V2=0
1050 GOSUB 4000
1060 GO TO 570
1070 REM COMIENZA INTERVALO CONDUCCION SCR
1080 H=H1
1090 GO TO 730
1100 REM SUBROUTINA DE CAMBIO DE ANGULO
1110 FOR J=1 TO 3
1120 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1130 Z1(J,2)=Z(J,4)
1140 Z1(J,3)=1
1150 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1160 NEXT J
1170 Z1=INV(Z1)

```

```

1180 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1190 T1=T1/2/Z1(1,4)
1200 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1210 T2=T2/2/Z1(1,4)
1220 IF T1>T THEN 1250
1230 H=T2-T
1240 GO TO 1260
1250 H=T1-T
1260 I6=1
1270 I4=I4+H
1280 A1=A1+W*H
1290 GOSUB 4000
1300 GO TO 570

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC3SD
110 REM RECTIFICADOR DE 3 PULSOS SIN DIODO DE RETORNO
120 REM SEMEJANTE A REC2SD
130 REM CAMBIA VALOR POSIBLE DE K0
140 REM     FUNCIONES SINUSOIDALES DE ALIMENTACION Y DE I4
150 REM     VOLTAJE MAXIMO V0
160 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE ARMADURA (voltios)      ";
170 INPUT V0
180 V0=SQR(2)*V0
190 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg)                          ";
200 INPUT F0
210 W=2*PI*F0
220 PRINT "NUMERO DE PUNTOS                                       ";
230 INPUT N0
240 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION          ";
250 INPUT N1
260 PRINT "ANGULO DE DISPARO (deg)                                       ";
270 INPUT A1
280 PRINT "LJGNOMBRE DEL ARCHIVO                                         ";
290 INPUT X$
300 CALL "FILE",0,X$,Y$
310 IF Y$="" THEN 360
320 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no)            ";
330 INPUT Y$
340 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 280
350 KILL X$
360 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
370 OPEN X$;1,"F",Y$
380 WRITE #1:NO
390 D0=0
400 K0=0
410 A1=A1*PI/180
420 T=(A1+PI/6)/W
430 F1=1.0E-6
440 I2=2
450 GO TO 530
460 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=F1 THEN 490
470 GO TO I1 OF 480,700
480 GO TO K0 OF 630,650,670
490 T=I4
500 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 520
510 GO TO 530
520 IF I6=2 THEN 730
530 K0=K0+1
540 D0=D0+1
550 I1=1
560 N3=0
570 I3=2
580 H=2*PI/3/W/N1
590 I4=(PI/6*(1+4*D0)+A1)/W
600 IF K0<=3 THEN 620
610 K0=1
620 GO TO 480
630 V2=V0*SIN(W*T)

```

```

640 GO TO 680
650 V2=V0*SIN(W*T-PI*2/3)
660 GO TO 680
670 V2=V0*SIN(W*T+PI*2/3)
680 GOSUB 4000
690 GO TO 460
700 I3=1
710 GOSUB 4000
720 GO TO 460
730 FOR J=1 TO 3
740 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
750 Z1(J,2)=Z(J,4)
760 Z1(J,3)=1
770 Z1(J,4)=Z2(J,1)
780 NEXT J
790 Z1=INV(Z1)
800 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
810 T1=T1/2/Z1(1,4)
820 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
830 T2=T2/2/Z1(1,4)
840 IF T1>T THEN 870
850 H=T2-T
860 GO TO 880
870 H=T1-T
880 I6=1
890 I4=I4+H
900 A1=A1+W*H
910 GOSUB 4000
920 GO TO 460

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC3CD
101 REM RECTIFICADOR DE 3 PULSOS CON DIODO DE RETORNO
110 REM SEMEJANTE REC2CD
120 REM CAMBIA POSIBLE VALOR DE K0
130 REM     FUNCIONES DE: ALIMENTACION ,I4, H1 Y H2
140 REM     VOLTAJE MAXIMO V0
150 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE LA ARMADURA (voltios)      ";
160 INPUT V0
170 V0=SQR(2)*V0
180 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg)                                ";
190 INPUT F0
200 W=2*PI*F0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS                                          ";
220 INPUT N0
230 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION            ";
240 INPUT N1
241 PRINT "ANGULO DE DISPARO (deg)                                         ";
242 INPUT A1
250 PRINT "LJGNOMBRE DEL ARCHIVO                                           ";
260 INPUT X$
270 CALL "FILE",0,X$,Y$
280 IF Y$="" THEN 330
290 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no)              ";
300 INPUT Y$
310 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 250
320 KILL X$
330 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
340 OPEN X$;1,"F",Y$
350 WRITE #1:N0
360 I0=0
370 K0=0
400 A1=A1*PI/180
410 T=(A1+PI/6)/W
420 H=PI/3/W/N1*2
430 P1=1.0E-6
440 I2=2
450 N3=0
460 IF A1<=PI/6 THEN 530
470 N5=INT(N1*(PI*5-6*A1)/PI/4)
480 N6=N1-N5
490 H1=(PI*5/6-A1)/N5/W
500 H2=(A1-PI/6)/N6/W
510 I5=2
520 GO TO 930
530 I5=1
540 GO TO 640
550 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 590
560 GO TO I1 OF 570,810
570 IF I5=2 THEN 840
580 GO TO K0 OF 740,760,780
590 T=I4
600 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 620
610 GO TO 630
620 IF I6=2 THEN 950

```

```

630 GO TO I5 OF 640,930
640 K0=K0+1
650 D0=D0+1
660 I1=1
670 N3=0
680 I3=2
690 N7=0
700 I4=(PI/6*(1+4*D0)+A1)/W
710 IF K0<=3 THEN 730
720 K0=1
730 GO TO 580
740 V2=V0*SIN(W*T)
750 GO TO 790
760 V2=V0*SIN(W*T-PI*2/3)
770 GO TO 790
780 V2=V0*SIN(W*T+PI*2/3)
790 GOSUB 4000
800 GO TO 550
810 I3=1
820 GOSUB 4000
830 GO TO 550
840 IF M=0 THEN 860
850 GO TO 870
860 N7=N7+1
870 IF N7=>N5 THEN 890
880 GO TO 580
890 H=H2
900 V2=0
910 GOSUB 4000
920 GO TO 550
930 H=H1
940 GO TO 640
950 FOR J=1 TO 3
960 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
970 Z1(J,2)=Z(J,4)
980 Z1(J,3)=1
990 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1000 NEXT J
1010 Z1=INV(Z1)
1020 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1030 T1=T1/2/Z1(1,4)
1040 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1050 T2=T2/2/Z1(1,4)
1060 IF T1>T THEN 1090
1070 H=T2-T
1080 GO TO 1100
1090 H=T1-T
1100 I6=1
1110 I4=I4+H
1120 A1=A1+W*H
1130 GOSUB 4000
1140 GO TO 550

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC6SD
110 REM RECTIFICADOR DE 6 PULSOS SIN DIODO DE RETORNO
120 REM SEMEJANTE REC2SD, CAMBIA MISMOS PARAMETROS QUE EN REC3SD
130 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE ARMADURA (voltios)";
140 INPUT V0
150 V0=SQR(6)*V0
160 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg)";
170 INPUT F0
180 W=2*PI*F0
190 PRINT "NUMERO DE PUNTOS";
200 INPUT N0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION";
220 INPUT N1
230 PRINT "ANGULO DE DISPARO (deg)";
240 INPUT A1
250 PRINT "JLGNOMBRE DEL ARCHIVO";
260 INPUT X$
270 CALL "FILE",0,X$,Y$
280 IF Y$="" THEN 330
290 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no)";
300 INPUT Y$
310 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 250
320 KILL X$
330 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
340 OPEN X$;1,"F",Y$
350 WRITE #1:N0
360 I0=0
370 K0=0
380 A1=A1*PI/180
390 T=(A1+PI/6)/W
400 P1=1.0E-6
410 I2=2
420 GO TO 500
430 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 460
440 GO TO I1 OF 450,730
450 GO TO K0 OF 600,620,640,660,680,700
460 T=I4
470 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 490
480 GO TO 500
490 IF I6=2 THEN 760
500 K0=K0+1
510 I0=I0+1
520 I1=1
530 N3=0
540 I3=2
550 H=PI/3/W/N1
560 I4=(PI/6*(1+2*I0)+A1)/W
570 IF K0<=6 THEN 590
580 K0=1
590 GO TO 450
600 V2=V0*SIN(W*T+PI/6)
610 GO TO 710
620 V2=V0*SIN(W*T-PI/6)
630 GO TO 710

```

```

640 V2=V0*SIN(W*T-PI/2)
650 GO TO 710
660 V2=V0*SIN(W*T-5*PI/6)
670 GO TO 710
680 V2=V0*SIN(W*T+5*PI/6)
690 GO TO 710
700 V2=V0*SIN(W*T+PI/2)
710 GOSUB 4000
720 GO TO 430
730 I3=1
740 GOSUB 4000
750 GO TO 430
760 FOR J=1 TO 3
770 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
780 Z1(J,2)=Z(J,4)
790 Z1(J,3)=1
800 Z1(J,4)=Z2(J,1)
810 NEXT J
820 Z1=INV(Z1)
830 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
840 T1=T1/2/Z1(1,4)
850 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
860 T2=T2/2/Z1(1,4)
870 IF T1>T THEN 900
880 H=T2-T
890 GO TO 910
900 H=T1-T
910 I6=1
920 I4=I4+H
930 A1=A1+W*H
940 GOSUB 4000
950 GO TO 430

```

```

100 REM SUBPROGRAMA REC6CD
110 REM RECTIFICADOR DE 6 PULSOS CON DIODO DE RETORNO
120 REM SEMEJANTE REC2CD. CAMBIA MISMOS PARAMETROS QUE EN REC3CD
130 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE ARMADURA (voltios)          ";
140 INPUT V0
150 V0=SQR(6)*V0
160 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED      (1/seg)                          ";
170 INPUT F0
180 W=2*PI*F0
190 PRINT "NUMERO DE PUNTOS          ";
200 INPUT N0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION          ";
220 INPUT N1
230 PRINT "ANGULO DE DISPARO (deg)          ";
240 INPUT A1
250 PRINT "JLGNOMBRE DEL ARCHIVO          ";
260 INPUT X$
270 CALL "FILE",0,X$,Y$
280 IF Y$="" THEN 330
290 PRINT "JJEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no)          ";
300 INPUT Y$
310 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 250
320 KILL X$
330 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
340 OPEN X$;1,"F",Y$
350 WRITE #1:NO
360 I0=0
370 K0=0
380 A1=A1*PI/180
390 T=(A1+PI/6)/W
400 H=PI/3/W/N1
410 F1=1.0E-6
420 I2=2
430 N3=0
440 IF A1<=PI/3 THEN 510
450 N5=INT(N1*(PI*2-3*A1)/PI)
460 N6=N1-N5
470 H1=(PI*2/3-A1)/N5/W
480 H2=(A1-PI/3)/N6/W
490 I5=2
500 GO TO 970
510 I5=1
520 GO TO 620
530 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=F1 THEN 570
540 GO TO I1 OF 550,850
550 IF I5=2 THEN 880
560 GO TO K0 OF 720,740,760,780,800,820
570 T=I4
580 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 600
590 GO TO 610
600 IF I6=2 THEN 990
610 GO TO I5 OF 620,970
620 K0=K0+1
630 I0=I0+1

```

```

640 I1=1
650 N3=0
660 I3=2
670 N7=0
680 I4=(PI/6*(1+2*D0)+A1)/W
690 IF K0<=6 THEN 710
700 K0=1
710 GO TO 560
720 V2=V0*SIN(W*T+PI/6)
730 GO TO 830
740 V2=V0*SIN(W*T-PI/6)
750 GO TO 830
760 V2=V0*SIN(W*T-PI/2)
770 GO TO 830
780 V2=V0*SIN(W*T-5*PI/6)
790 GO TO 830
800 V2=V0*SIN(W*T+5*PI/6)
810 GO TO 830
820 V2=V0*SIN(W*T+PI/2)
830 GOSUB 4000
840 GO TO 530
850 I3=1
860 GOSUB 4000
870 GO TO 530
880 IF M=0 THEN 900
890 GO TO 910
900 N7=N7+1
910 IF N7=>N5 THEN 930
920 GO TO 560
930 H=H2
940 V2=0
950 GOSUB 4000
960 GO TO 530
970 H=H1
980 GO TO 620
990 FOR J=1 TO 3
1000 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1010 Z1(J,2)=Z(J,4)
1020 Z1(J,3)=1
1030 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1040 NEXT J
1050 Z1=INV(Z1)
1060 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1070 T1=T1/2/Z1(1,4)
1080 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1090 T2=T2/2/Z1(1,4)
1100 IF T1>T THEN 1130
1110 H=T2-T
1120 GO TO 1140
1130 H=T1-T
1140 I6=1
1150 I4=I4+H
1160 A1=A1+W*H
1170 GOSUB 4000

```

1180 GO, TO 530

```

100 REM SUBPROGRAMA RECSCCD
110 REM RECTIFICADOR TRIFASICO SEMICONTROLADO
120 REM INGRESO DE PARAMETROS:V0,F0,N0,N1,A1
130 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION DE LA ARMADURA (voltios)";
140 INPUT V0
150 V0=SQR(6)*V0
160 PRINT "FRECUENCIA DE LA RED (1/seg)";
170 INPUT F0
180 W=2*PI*F0
190 PRINT "NUMERO DE PUNTOS";
200 INPUT N0
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS POR INTERVALO DE CONDUCCION";
220 INPUT N1
230 PRINT "ANGULO DE DISPARO";
240 INPUT A1
250 REM CREACION DEL ARCHIVO DE DATOS
260 PRINT "JLGNOMBRE DEL ARCHIVO";
270 INPUT X$
280 CALL "FILE",0,X$,Y$
290 IF Y$="" THEN 340
300 PRINT "JJEEXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO (si o no)";
310 INPUT Y$
320 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 260
330 KILL X$
340 CREATE X$;(N0+10)*9+1,0
350 OPEN X$;1,"F",Y$
360 WRITE #1:N0
370 I0=0
380 K0=0
390 A1=A1*PI/180
400 T=(A1+PI/6)/W
410 P1=1.0E-6
420 I2=2
430 REM CALCULO DE LOS INTERVALOS DE INTEGRACION
440 IF A1<PI/3 THEN 510
450 N5=INT(N1*(PI-A1)*3/2/PI)
460 N6=N1-N5
470 H1=(PI-A1)/N5/W
480 H2=(3*A1-PI)/3/N6/W
490 I5=2
500 GO TO 1170
510 I5=1
520 GO TO 690
530 REM HA TERMINADO RUNGE? OCURRE PROXIMO DISPARO ?
540 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 630
550 REM EXISTE CONDUCCION CONTINUA?
560 GO TO I1 OF 580,1010
570 REM EL ANGULO DE DISPARO ES MAYOR QUE 60
580 IF I5=2 THEN 1060
590 REM SELECCION DE LA FUNCION SINUSOIDAL
600 GO TO K0 OF 880,900,920,940,960,980
610 REM EXISTIO CONDUCCION DISCONTINUA?
620 REM LOS SEMICONDUCTORES ESTAN POLARIZADOS DIRECTAMENTE?
630 IF I3=1 AND E0>ABS(V0*SIN(W*I4)) THEN 650

```

```

640 GO TO 670
650 IF I6=2 THEN 1290
660 REM ONDA DE VOLTAJE CRUZA POR CERO
670 GO TO 15 OF 690,1170
680 REM CAMBIO FUNCION SINUSOIDAL
690 K0=K0+1
700 REM CAMBIO DE PERIODO
710 D0=D0+1
720 REM CAMBIO DEL ESTADO DE LAS BANDERAS
730 I1=1
740 N3=0
750 I3=2
760 IF K0<=6 THEN 790
770 K0=1
780 REM ENTRA A LA CONDUCCION UN TIRISTOR O UN DIODO?
790 IF INT(K0/2)*2<>K0 THEN 840
800 REM DETERMINACION DEL NUEVO INTERVALO DE CONDUCCION
810 I4=(PI/6*(1+2*D0)+A1)/W
820 H=(PI/3+A1)/W/N1
830 GO TO 600
840 I4=PI/6*(1+2*D0)/W
850 H=(PI/3-A1)/W/N1
860 IF H<=PI THEN 690
870 GO TO 600
880 V2=V0*SIN(W*T+PI/6)
890 GO TO 990
900 V2=V0*SIN(W*T-PI/6)
910 GO TO 990
920 V2=V0*SIN(W*T-PI/2)
930 GO TO 990
940 V2=V0*SIN(W*T-5*PI/6)
950 GO TO 990
960 V2=V0*SIN(W*T+5*PI/6)
970 GO TO 990
980 V2=V0*SIN(W*T+PI/2)
990 GOSUB 4000
1000 GO TO 540
1010 I3=1
1020 GOSUB 4000
1030 GO TO 540
1040 REM SE HA COMPLETADO RUNGE Y EL NUMERO DE PUNTOS DESDE EL DISPARO
1050 REM HASTA EL CRUCE POR CERO DE LA ONDA DE VOLTAJE?
1060 IF M=0 THEN 1080
1070 GO TO 1090
1080 N7=N7+1
1090 IF N7=>N5 THEN 1120
1100 GO TO 600
1110 REM CAMBIO DE INTERVALO DE INTEGRACION (EFECTO DIODO RECUPERACION)
1120 H=H2
1130 V2=0
1140 GOSUB 4000
1150 GO TO 540
1160 REM COMIENZA INTERVALO DE CONDUCCION SCR
1170 H=H1

```

```

1180 N7=0
1190 K0=K0+2
1200 D0=D0+2
1210 I1=1
1220 N3=0
1230 I3=2
1240 IF K0<=6 THEN 1260
1250 K0=2
1260 I4=(PI/6*(1+2*D0)+A1)/W
1270 GO TO 600
1280 REM SUBROUTINA DE CAMBIO DE ANGULO
1290 FOR J=1 TO 3
1300 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1310 Z1(J,2)=Z(J,4)
1320 Z1(J,3)=1
1330 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1340 NEXT J
1350 Z1=INV(Z1)
1360 T1=-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1370 T1=T1/2/Z1(1,4)
1380 T2=-Z1(2,4)+SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*(Z1(3,4)-ABS(V0*SIN(W*I4))))
1390 T2=T2/2/Z1(1,4)
1400 IF T1>T THEN 1430
1410 H=T2-T
1420 GO TO 1440
1430 H=T1-T
1440 I6=1
1450 I4=I4+H
1460 A1=A1+W*H
1470 GOSUB 4000
1480 GO TO 540

```

```

100 REM SUBPROGRAMA MOTODE
110 REM ECUACIONES DIFERENCIALES DEL MOTOR DERIVACION Y PROCESO RUNGE
120 REM SE PRODUCE LAS PERTURBACIONES
130 IF J2=1 THEN 220
140 IF T7>T THEN 220
150 GO TO J4 OF 160,180,200
160 T3=T8
170 GO TO 310
180 V1=V3
190 GO TO 220
200 V1=0
210 REM SIMULACION DE LA CARGA
220 Y3=ABS(Y(3))
230 T3=0,009058128*Y3+0,349495206
240 IF T3<=G1*Y(1)*Y(2) THEN 270
250 T3=G1*Y(1)*Y(2)
260 GO TO 310
270 IF SGN(Y(1))=SGN(Y(3)) THEN 290
280 GO TO 310
290 T3=-T3
300 REM INTRODUCCION DE LA SATURACION
310 GOSUB 930
320 REM EXISTE CONDUCCION CONTINUA? SE FORZA LA CORRIENTE ARMADURA A 0
330 IF I3=1 THEN 350
340 GO TO 370
350 V2=E0
360 REM ECUACIONES CON QUE SE MODELA LA MAQUINA
370 F(1)=(V1-(R1+R3)*Y(1))/L1
380 F(2)=(V2-E0-(R2+R4)*Y(2))/L2
390 F(3)=(T3-G1*Y(1)*Y(2))/D2
400 REM RUNGE-KUTTA
410 M=M+1
420 GO TO M OF 430,500,550,610
430 FOR J=1 TO N
440 S0(J)=Y(J)
450 P0(J)=F(J)
460 Y(J)=S0(J)+0,5*H*F(J)
470 NEXT J
480 T=T+0,5*H
490 RETURN
500 FOR J=1 TO N
510 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
520 Y(J)=S0(J)+0,5*H*F(J)
530 NEXT J
540 RETURN
550 FOR J=1 TO N
560 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
570 Y(J)=S0(J)+H*F(J)
580 NEXT J
590 T=T+0,5*H
600 RETURN
610 FOR J=1 TO N
620 Y(J)=S0(J)+(P0(J)+F(J))*H/6
630 NEXT J

```

```

640 M=0
650 REM ALMACENAMIENTO DE LOS 3 ULTIMOS VALORES DE LAS VARIABLES
660 FOR J=1 TO 3
670 Z(1,J)=Z(2,J)
680 Z(2,J)=Z(3,J)
690 Z(3,J)=Y(J)
700 NEXT J
710 Z(1,4)=Z(2,4)
720 Z(2,4)=Z(3,4)
730 Z(3,4)=T
740 REM CRUZO LA CORRIENTE DE ARMADURA POR CERO?
750 IF I1=1 AND Y(2)<=0 THEN 770
760 GO TO 780
770 IF I2=2 THEN 1110
780 IF I2=2 THEN 860
790 REM CAMBIO DEL INTERVALO EN CASO DE CONDUCCION DISCONTINUA
800 N4=N1-N3
810 H=(I4-T)/N4
820 I2=2
830 Y(2)=0
840 I1=2
850 REM CONTADOR DEL NUMERO DE PUNTOS TOTALES
860 N2=N2+1
870 IF N2>NO THEN 1260
880 REM CONTADOR DEL NUMERO DE PUNTOS POR PERIODO DE POSIBLE CONDUCCION
890 N3=N3+1
900 WRITE #1;Y(1),Y(2),Y(3),V2,T
910 RETURN
920 REM SUBROUTINA QUE INTRODUCE LA SATURACION
930 Y4=ABS(Y(3))
940 Y5=ABS(Y(1))
950 IF Y5<1.8 THEN 990
960 IF Y5<3.6 THEN 1010
970 E0=(4.88*Y5+49.85)*Y4/570.35
980 GO TO 1020
990 E0=28.06*Y5*Y4/570.35
1000 GO TO 1020
1010 E0=(9.82*Y5+32.33)*Y4/570.35
1020 Z2(1,1)=Z2(2,1)
1030 Z2(2,1)=Z2(3,1)
1040 Z2(3,1)=E0
1050 IF SGN(Y(1))=SGN(Y(3)) THEN 1070
1060 RETURN
1070 E0=-E0
1080 RETURN
1090 REM SUBROUTINA CON LA CUAL SE ENCUENTRA APROXIMADAMENTE
1100 REM EL CRUCE DE LA CORRIENTE POR CERO
1110 FOR J=1 TO 3
1120 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1130 Z1(J,2)=Z(J,4)
1140 Z1(J,3)=1
1150 Z1(J,4)=Z(J,2)
1160 NEXT J
1170 Z1=INV(Z1)

```

```

1180 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
1190 FOR J=1 TO 3
1200 Y(J)=Z(2,J)
1210 NEXT J
1220 T=Z(2,4)
1230 I2=1
1240 H=T1-T
1250 RETURN
1260 CLOSE
1270 DELETE 10,1270
1280 APPEND "GRAFICO";1290
1290 REM

```

```

100 REM SUBPROGRAMA MOTOSE
110 REM ECUACIONES DIFERENCIALES DEL MOTOR SERIE Y PROCESO RUNGE
120 REM SEMEJANTE SUBPROGRAMA MOTODE
130 REM CAMBIA: SIMULACION DE LA CARGA
140 REM     SUBROUTINA DE INTRODUCCION DE LA SATURACION
150 REM     LAS BANDERAS CAMBIAN DE ESTADO DE ACUERDO A Y(1)
160 REM     EXISTEN DOS ECUACIONES DIFERENCIALES
170 REM     PERTURBACIONES QUE SE PUEDEN SIMULAR
180 IF J2=1 THEN 240
190 IF T7>T THEN 240
200 GO TO J4 OF 210,230
210 T3=T8
220 GO TO 310
230 R4=R5
240 Y3=ABS(Y(2))
250 IF Y3<71.61 THEN 280
260 T3=0.018366102*Y3-0.067259938
270 GO TO 290
280 T3=0.013576673*Y3+0.275712671
290 IF T3<=G1*Y(1)*Y(1) THEN 310
300 T3=G1*Y(1)*Y(1)
310 GOSUB 830
320 IF I3=1 THEN 340
330 GO TO 350
340 U2=E0
350 F(1)=(U2-(R1+R2+R4)*Y(1)-E0)/(L1+L2)
360 F(2)=(T3-G1*Y(1)^2)/D2
370 M=M+1
380 GO TO M OF 390,460,510,570
390 FOR J=1 TO N
400 S0(J)=Y(J)
410 P0(J)=F(J)
420 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
430 NEXT J
440 T=T+0.5*H
450 RETURN
460 FOR J=1 TO N
470 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
480 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
490 NEXT J
500 RETURN
510 FOR J=1 TO N
520 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
530 Y(J)=S0(J)+H*F(J)
540 NEXT J
550 T=T+0.5*H
560 RETURN
570 FOR J=1 TO N
580 Y(J)=S0(J)+(P0(J)+F(J))*H/6
590 NEXT J
600 M=0
610 FOR J=1 TO 2
620 Z(1,J)=Z(2,J)
630 Z(2,J)=Z(3,J)

```

```

640 Z(3,J)=Y(J)
650 NEXT J
660 Z(1,4)=Z(2,4)
670 Z(2,4)=Z(3,4)
680 Z(3,4)=T
690 IF I1=1 AND Y(1)<=0 THEN 710
700 GO TO 720
710 IF I2=2 THEN 980
720 IF I2=2 THEN 780
730 N4=N1-N3
740 H=(I4-T)/N4
750 I2=2
760 Y(1)=0
770 I1=2
780 N2=N2+1
790 IF N2>N0 THEN 1130
800 N3=N3+1
810 WRITE #1:Y(1),Y(2),V2,T
820 RETURN
830 Y4=ABS(Y(2))
840 IF Y(1)<3 THEN 900
850 IF Y(1)<4.2 THEN 880
860 E0=(4.28*Y(1)+32.31)*Y4/319.95
870 GO TO 910
880 E0=(8.62*Y(1)+14.11)*Y4/319.95
890 GO TO 910
900 E0=13.32*Y(1)*Y4/319.95
910 Z2(1,1)=Z2(2,1)
920 Z2(2,1)=Z2(3,1)
930 Z2(3,1)=E0
940 IF SGN(Y(2))=1 THEN 960
950 RETURN
960 E0=-E0
970 RETURN
980 FOR J=1 TO 3
990 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1000 Z1(J,2)=Z(J,4)
1010 Z1(J,3)=1
1020 Z1(J,4)=Z(J,1)
1030 NEXT J
1040 Z1=INV(Z1)
1050 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
1060 FOR J=1 TO 2
1070 Y(J)=Z(2,J)
1080 NEXT J
1090 T=Z(2,4)
1100 I2=1
1110 H=T1-T
1120 RETURN
1130 CLOSE
1140 DELETE 10,1140
1150 APPEND "GRAFICO";1160
1160 REM

```

```

100 REM SUBPROGRAMA TROD
110 REM MOTOR DERIVACION ALIMENTADO POR TROCEADOR
120 REM INGRESO DE PARAMETROS E1,T2,T6,C,N0,M1,M2,M3
130 PRINT "LJJVOLTAGE DE ALIMENTACION (voltios) ";
140 INPUT E1
150 PRINT "PERIODO (seg) ";
160 INPUT T2
170 PRINT "TIEMPO DE CONDUCCION DE TH1 (seg) ";
180 INPUT T6
190 PRINT "VALOR DEL CONDENSADOR (faradios) ";
200 INPUT C
210 PRINT "NUMERO DE PUNTOS ";
220 INPUT N0
230 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO ";
240 INPUT X$
250 CALL "FILE",0,X$,Y$
260 IF Y$="" THEN 310
270 PRINT "EXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO";
280 INPUT Y$
290 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 230
300 KILL X$
310 CREATE X$(N0+10)*9+1,0
320 OPEN X$;1,"F",Y$
330 WRITE #1:N0
340 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION TH1 ";
350 INPUT M1
360 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION TH2 ";
370 INPUT M2
380 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION DIODO ";
390 INPUT M3
400 FOR X1=1 TO 3
410 FOR X2=1 TO 2
420 Z2(X1,X2)=0
430 NEXT X2
440 NEXT X1
450 I0=1
460 N2=0
470 F3=2
480 F4=1
490 I3=2
500 F5=1
510 K0=0
520 H1=T6/M1
530 F1=1.0E-6
540 I1=1
550 I2=2
560 N3=0
570 T=0
580 GO TO 650
590 REM HA TERMINADO RUNGE? OCURRE PROXIMO DISPARO?
600 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=F1 THEN 650
610 REM EXISTE CONDUCCION CONTINUA?
620 GO TO I1 OF 640,1020
630 REM SELECCION DEL INTERVALO EN QUE SE ENCUENTRA EL SISTEMA

```

```

640 GO TO K0 OF 940,960,990
650 K0=K0+1
660 IF K0<=3 THEN 740
670 K0=1
680 D0=D0+1
690 I1=1
700 I3=2
710 F5=1
720 N3=0
730 REM SELECCION DEL INTERVALO DE CONDUCCION
740 GO TO K0 OF 750,780,850
750 H=H1
760 I4=T6+T2*(D0-1)
770 GO TO 640
780 T4=2*E1*KC/Y(2)
790 Y(4)=0
800 H=T4/M2
810 F3=1
820 N=N+1
830 I4=T6+T4+T2*(D0-1)
840 GO TO 640
850 T=I4
860 I4=D0*T2
870 F5=2
880 H=(I4-T)/M3
890 IF H>F1 THEN 920
900 PRINT "FALLA LA CONMUTACION (Presione RETURN)";
910 INPUT X$
920 N=N-1
930 GO TO 640
940 V2=E1
950 GO TO 1000
960 V2=2*E1-Y(4)
970 IF M=0 AND F3=2 THEN 650
980 GO TO 1000
990 V2=0
1000 GOSUB 1220
1010 GO TO 600
1020 I3=1
1030 GO TO 1000
1040 REM SUBROUTINA DE CRUCE POR CERO DEL VOLTAJE
1050 FOR J=1 TO 3
1060 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1070 Z1(J,2)=Z(J,4)
1080 Z1(J,3)=1
1090 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1100 NEXT J
1110 Z1=INV(Z1)
1120 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
1130 V2=Z2(2,1)
1140 T=Z(2,4)
1150 H=T1-T
1160 Y(4)=Z2(2,2)
1170 Y(1)=Z(2,1)

```

```

1180 Y(2)=Z(2,2)
1190 Y(3)=Z(2,3)
1200 F4=2
1210 REM SEMEJANTE A MOTODE. CAMBIA NUMERO DE ECUACIONES
1220 IF J2=1 THEN 1300
1230 IF T7>T THEN 1300
1240 GO TO J4 OF 1250,1270,1290
1250 T3=T8
1260 GO TO 1380
1270 V1=V3
1280 GO TO 1300
1290 V1=0
1300 Y3=ABS(Y(3))
1310 T3=0.009058128*Y3+0.349495206
1320 IF T3<=G1*Y(1)*Y(2) THEN 1350
1330 T3=G1*Y(1)*Y(2)
1340 GO TO 1380
1350 IF SGN(Y(1))=SGN(Y(3)) THEN 1370
1360 GO TO 1380
1370 T3=-T3
1380 GOSUB 2070
1390 IF I3=1 THEN 1410
1400 GO TO 1420
1410 V2=E0
1420 F(1)=(V1-(R1+R3)*Y(1))/L1
1430 F(2)=(V2-E0-(R2+R4)*Y(2))/L2
1440 F(3)=(T3-G1*Y(1)*Y(2))/D2
1450 IF P3=2 THEN 1470
1460 F(4)=Y(2)/C
1470 M=M+1
1480 GO TO M OF 1490,1560,1610,1670
1490 FOR J=1 TO N
1500 S0(J)=Y(J)
1510 F0(J)=F(J)
1520 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
1530 NEXT J
1540 T=T+0.5*H
1550 RETURN
1560 FOR J=1 TO N
1570 F0(J)=F0(J)+2*F(J)
1580 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
1590 NEXT J
1600 RETURN
1610 FOR J=1 TO N
1620 F0(J)=F0(J)+2*F(J)
1630 Y(J)=S0(J)+H*F(J)
1640 NEXT J
1650 T=T+0.5*H
1660 RETURN
1670 FOR J=1 TO N
1680 Y(J)=S0(J)+(F0(J)+F(J))*H/6
1690 NEXT J
1700 M=0
1710 FOR J=1 TO 3

```

```

1720 Z(1,J)=Z(2,J)
1730 Z(2,J)=Z(3,J)
1740 Z(3,J)=Y(J)
1750 NEXT J
1760 Z(1,4)=Z(2,4)
1770 Z(2,4)=Z(3,4)
1780 Z(3,4)=T
1790 IF I1=1 AND Y(2)<=0 THEN 1810
1800 GO TO 1820
1810 IF I2=2 THEN 2200
1820 IF I2=2 THEN 1880
1830 M4=M3-N3
1840 H=(I4-T)/M4
1850 I2=2
1860 Y(2)=0
1870 I1=2
1880 IF P3=2 THEN 1790
1890 Z2(1,1)=Z2(2,1)
1900 Z2(2,1)=Z2(3,1)
1910 Z2(3,1)=V2
1920 Z2(1,2)=Z2(2,2)
1930 Z2(2,2)=Z2(3,2)
1940 Z2(3,2)=Y(4)
1950 IF P3=1 AND V2<=P1 THEN 1970
1960 GO TO 1980
1970 IF P4=1 THEN 1050
1980 IF P4=1 THEN 1790
1990 P3=2
2000 P4=1
2010 N2=N2+1
2020 IF N2>N0 THEN 2350
2030 WRITE #1;Y(1),Y(2),Y(3),V2,T
2040 IF P5=1 THEN 2060
2050 N3=N3+1
2060 RETURN
2070 Y4=ABS(Y(3))
2080 Y5=ABS(Y(1))
2090 IF Y5<1.8 THEN 2130
2100 IF Y5<3.6 THEN 2150
2110 E0=(4.88*Y5+49.85)*Y4/570.35
2120 GO TO 2160
2130 E0=28.06*Y5*Y4/570.35
2140 GO TO 2160
2150 E0=(9.82*Y5+32.33)*Y4/570.35
2160 IF SGN(Y(1))=SGN(Y(3)) THEN 2180
2170 RETURN
2180 E0=-E0
2190 RETURN
2200 FOR J=1 TO 3
2210 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
2220 Z1(J,2)=Z(J,4)
2230 Z1(J,3)=1
2240 Z1(J,4)=Z(J,2)
2250 NEXT J

```

```

2260 Z1=INV(Z1)
2270 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
2280 FOR J=1 TO 3
2290 Y(J)=Z(2,J)
2300 NEXT J
2310 T=Z(2,4)
2320 I2=1
2330 H=T1-T
2340 RETURN
2350 CLOSE
2360 DELETE 10,2360
2370 APPEND "GRAFICO";2380
2380 REM

```

F.
C.

```

100 REM SUBPROGRAMA TROS
110 REM MOTOR SERIE ALIMENTADO POR TROCEADOR
120 REM SEMEJANTE TROD
130 REM CAMBIA NUMERO DE ECUACIONES
140 REM LAS BANDERAS CAMBIAN DE ACUERDO A Y(1)
150 REM EL PROCESO DE INTEGRACION SEMEJANTE A MOTOSE
160 PRINT "LJJVOLTAJE DE ALIMENTACION (voltios)";
170 INPUT E1
180 PRINT "PERIODO (ses)";
190 INPUT T2
200 PRINT "TIEMPO DE CONDUCCION DE TH1 (ses)";
210 INPUT T6
220 PRINT "VALOR DEL CONDENSADOR (faradios)";
230 INPUT C
240 PRINT "NUMERO DE PUNTOS";
250 INPUT NO
260 PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO";
270 INPUT X$
280 CALL "FILE",0,X$,Y$
290 IF Y$="" THEN 340
300 PRINT "EXISTE ESE ARCHIVO DESEA DESTRUIRLO";
310 INPUT Y$
320 IF Y$="NO" OR Y$="N" THEN 260
330 KILL X$
340 CREATE X$(NO+10)*9+1,0
350 OPEN X$;1,"F",Y$
360 WRITE #1;NO
370 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION TH1";
380 INPUT M1
390 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION TH2";
400 INPUT M2
410 PRINT "NUMERO DE PUNTOS/INTERVALO DE CONDUCCION DIODO";
420 INPUT M3
430 FOR X1=1 TO 3
440 FOR X2=1 TO 2
450 Z2(X1,X2)=0
460 NEXT X2
470 NEXT X1
480 I0=1
490 N2=0
500 P3=2
510 P4=1
520 I3=2
530 P5=1
540 K0=0
550 H1=T6/M1
560 P1=1.0E-6
570 I1=1
580 I2=2
590 N3=0
600 T=0
610 GO TO 650
620 IF M=0 AND ABS(T-I4)<=P1 THEN 650
630 GO TO I1 OF 640,1010

```

```

640 GO TO K0 OF 930,950,980
650 K0=K0+1
660 IF K0<=3 THEN 730
670 K0=1
680 D0=D0+1
690 I1=1
700 I3=2
710 P5=1
720 N3=0
730 GO TO K0 OF 740,770,840
740 H=H1
750 I4=T6+T2*(D0-1)
760 GO TO 640
770 T4=2*E1*C/Y(1)
780 Y(3)=0
790 H=T4/M2
800 P3=1
810 N=N+1
820 I4=T6+T4+T2*(D0-1)
830 GO TO 640
840 T=I4
850 I4=D0*T2
860 P5=2
870 H=(I4-T)/M3
880 IF H>P1 THEN 910
890 PRINT "FALLA LA CONMUTACION (Presione RETURN)";
900 INPUT X$
910 N=N-1
920 GO TO 640
930 U2=E1
940 GO TO 990
950 U2=2*E1-Y(3)
960 IF M=0 AND P3=2 THEN 650
970 GO TO 990
980 U2=0
990 GOSUB 1180
1000 GO TO 620
1010 I3=1
1020 GO TO 990
1030 FOR J=1 TO 3
1040 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
1050 Z1(J,2)=Z(J,4)
1060 Z1(J,3)=1
1070 Z1(J,4)=Z2(J,1)
1080 NEXT J
1090 Z1=INV(Z1)
1100 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
1110 U2=Z2(2,1)
1120 T=Z(2,4)
1130 H=T1-T
1140 Y(3)=Z2(2,2)
1150 Y(1)=Z(2,1)
1160 Y(2)=Z(2,2)
1170 P4=2

```

```

1180 IF J2=1 THEN 1240
1190 IF T7>T THEN 1240
1200 GO TO J4 OF 1210,1230
1210 T3=T8
1220 GO TO 1310
1230 R4=R5
1240 Y3=ABS(Y(2))
1250 IF Y3<71.61 THEN 1280
1260 T3=0.018366102*Y3-0.067259938
1270 GO TO 1290
1280 T3=0.013576673*Y3+0.275712671
1290 IF T3<=G1*Y(1)*Y(1) THEN 1310
1300 T3=G1*Y(1)*Y(1)
1310 GOSUB 2000
1320 IF I3=1 THEN 1340
1330 GO TO 1350
1340 V2=E0
1350 F(1)=(V2-(R1+R2+R4)*Y(1)-E0)/(L1+L2)
1360 F(2)=(T3-G1*Y(1)^2)/D2
1370 IF P3=2 THEN 1390
1380 F(3)=Y(1)/C
1390 M=M+1
1400 GO TO M OF 1410,1480,1530,1590
1410 FOR J=1 TO N
1420 S0(J)=Y(J)
1430 P0(J)=F(J)
1440 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
1450 NEXT J
1460 T=T+0.5*H
1470 RETURN
1480 FOR J=1 TO N
1490 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
1500 Y(J)=S0(J)+0.5*H*F(J)
1510 NEXT J
1520 RETURN
1530 FOR J=1 TO N
1540 P0(J)=P0(J)+2*F(J)
1550 Y(J)=S0(J)+H*F(J)
1560 NEXT J
1570 T=T+0.5*H
1580 RETURN
1590 FOR J=1 TO N
1600 Y(J)=S0(J)+(P0(J)+F(J))*H/6
1610 NEXT J
1620 M=0
1630 FOR J=1 TO 2
1640 Z(1,J)=Z(2,J)
1650 Z(2,J)=Z(3,J)
1660 Z(3,J)=Y(J)
1670 NEXT J
1680 Z(1,4)=Z(2,4)
1690 Z(2,4)=Z(3,4)
1700 Z(3,4)=T
1710 IF I1=1 AND Y(1)<=0 THEN 1730

```

```

1720 GO TO 1740
1730 IF I2=2 THEN 2120
1740 IF I2=2 THEN 1800
1750 M4=M3-N3
1760 H=(I4-T)/M4
1770 I2=2
1780 Y(1)=0
1790 I1=2
1800 IF P3=2 THEN 1930
1810 Z2(1,1)=Z2(2,1)
1820 Z2(2,1)=Z2(3,1)
1830 Z2(3,1)=V2
1840 Z2(1,2)=Z2(2,2)
1850 Z2(2,2)=Z2(3,2)
1860 Z2(3,2)=Y(3)
1870 IF P3=1 AND V2<=P1 THEN 1890
1880 GO TO 1900
1890 IF P4=1 THEN 1030
1900 IF P4=1 THEN 1930
1910 P3=2
1920 P4=1
1930 T1=61*Y(1)^2
1940 N2=N2+1
1950 IF N2>N0 THEN 2270
1960 WRITE #1;Y(1),Y(2),V2,T
1970 IF P5=1 THEN 1990
1980 N3=N3+1
1990 RETURN
2000 Y4=ABS(Y(2))
2010 IF Y(1)<3 THEN 2050
2020 IF Y(1)<4.2 THEN 2070
2030 E0=(4.28*Y(1)+32.31)*Y4/319.95
2040 GO TO 2080
2050 E0=13.32*Y(1)*Y4/319.95
2060 GO TO 2080
2070 E0=(8.62*Y(1)+14.11)*Y4/319.95
2080 IF SGN(Y(2))=1 THEN 2100
2090 RETURN
2100 E0=-E0
2110 RETURN
2120 FOR J=1 TO 3
2130 Z1(J,1)=Z(J,4)*Z(J,4)
2140 Z1(J,2)=Z(J,4)
2150 Z1(J,3)=1
2160 Z1(J,4)=Z(J,1)
2170 NEXT J
2180 Z1=INV(Z1)
2190 T1=(-Z1(2,4)-SQR(Z1(2,4)^2-4*Z1(1,4)*Z1(3,4)))/2/Z1(1,4)
2200 FOR J=1 TO 2
2210 Y(J)=Z(2,J)
2220 NEXT J
2230 T=Z(2,4)
2240 I2=1
2250 H=T1-T

```

2260 RETURN
 2270 CLOSE
 2280 DELETE 10,2270
 2290 APPEND "GRAFICO";2300
 2300 REM

```

100 REM          ***** GRAFICO          *****
110 PRINT "LJJJJ          GRAFICO "
120 PRINT "JJ          NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ? G";
130 INPUT W$
140 OPEN W$;1,"R",Y$
150 READ #1:NO
160 DELETE Y,X,Z
170 DIM Y(5),X(5),Z(5)
180 FOR J=1 TO 5
190 X(J)=0
200 Y(J)=0
210 NEXT J
220 FOR J=1 TO NO
230 IF J1=2 THEN 340
240 FOR K=1 TO 4
250 READ #1:T
260 IF K<>3 THEN 280
270 T=-T
280 IF X(K)=>T THEN 300
290 X(K)=T
300 IF Y(K)<=T THEN 320
310 Y(K)=T
320 NEXT K
330 GO TO 430
340 FOR K=1 TO 3
350 READ #1:T
360 IF K<>2 THEN 380
370 T=-T
380 IF X(K)=>T THEN 400
390 X(K)=T
400 IF Y(K)<=T THEN 420
410 Y(K)=T
420 NEXT K
430 READ #1:T
440 NEXT J
450 CLOSE 1
460 IF J1=2 THEN 550
470 PRINT "JJ1.-GRAFICO DE CORRIENTE DE CAMPO "
480 PRINT "2.-GRAFICO DE CORRIENTE DE ARMADURA "
490 PRINT "3.-GRAFICO DE VELOCIDAD "
500 PRINT "4.-GRAFICO DE VOLTAJE DE ALIMENTACION "
510 PRINT "          JJ ESCOJA OPCION G";
520 INPUT J
530 IF J=1 OR J=2 OR J=3 OR J=4 THEN 620
540 GO TO 510
550 PRINT "LJJ1.-GRAFICO DE CORRIENTE"
560 PRINT "2.-GRAFICO DE VELOCIDAD"
570 PRINT "3.-GRAFICO DE VOLTAJE DE ALIMENTACION"
580 PRINT "          JJESCOJA OPCION G ";
590 INPUT J
600 IF J=1 OR J=2 OR J=3 THEN 620
610 GO TO 580
620 PRINT "L"
630 PRINT "JJL          DATO MIN.:";Y(J)

```

```

640 PRINT "          DATO MAX.:";X(J)
650 PRINT "JJ          TIEMPO MIN. :0"
660 PRINT "          TIEMPO MAX.:";T
670 PRINT "JJ          PARAMETROS DEL WINDOW "
680 PRINT "          EN EL EJE X ? G ";
690 INPUT W3,W4
700 PRINT "          EN EL EJE Y ? G ";
710 INPUT W5,W6
720 PRINT "JJ          INTERVALO DE MARCAS "
730 PRINT "J          EN EL EJE X ? G ";
740 INPUT M1
750 PRINT "J          EN EL EJE Y ? G ";
760 INPUT M2
770 M3=0
780 M4=0
790 PRINT "LJJJJ          DESEA GRAFICO EN LA PANTALLA (SI o NO) ? G";
800 INPUT A$
810 IF A$="SI" OR A$="S" THEN 880
820 PRINT "LG          PREPARE EL GRAFIZADOR (RETURN PARA CONTINUAR)"
830 INPUT X$
840 U3=1
850 X9=0.8*1.792
860 Y9=0.8*2.816
870 GO TO 910
880 U3=32
890 X9=0.8*2.328
900 Y9=0.8*3.072
910 PRINT @1,17;X9,Y9
920 A5=(W4-W3)/M1+1
930 A6=(W6-W5)/M2+1
940 PRINT "JJ          TITULO DEL GRAFICO ? G";
950 INPUT A$
960 PRINT "JJ          VARIABLE QUE SE GRAFIZA EN EL EJE Y ";
970 INPUT S$
980 PAGE
990 GOSUB 2180
1000 OPEN W$;1,"R",Y$
1010 READ #1:NO
1020 IF J1=2 THEN 1140
1030 READ #1;Z(1),Z(2),Z(3),Z(4),T
1040 Z(3)=-Z(3)
1050 T1=T
1060 MOVE @U3:0,Z(J)
1070 FOR J2=1 TO NO-1
1080 READ #1;Z(1),Z(2),Z(3),Z(4),T
1090 Z(3)=-Z(3)
1100 T=T-T1
1110 DRAW @U3:T,Z(J)
1120 NEXT J2
1130 GO TO 1240
1140 READ #1;Z(1),Z(2),Z(3),T
1150 Z(2)=-Z(2)
1160 T1=T
1170 MOVE @U3:0,Z(J)

```

```

1180 FOR J2=1 TO N0-1
1190 READ #1:Z(1),Z(2),Z(3),T
1200 Z(2)=-Z(2)
1210 T=T-T1
1220 DRAW @U3:T,Z(J)
1230 NEXT J2
1240 CLOSE 1
1250 GOSUB 2180
1260 MOVE @U3:W3,W5
1270 FOR J=1 TO A5
1280 DRAW @U3:W3+(J-1)*M1,W5
1290 SCALE 1,1
1300 RDRAW @U3:0,1
1310 Y#=STR(W3+(J-1)*M1)
1320 Y#=REF(" ",1,1)
1330 RMOVE @U3:-LEN(Y#)/2*X9,-1.5*Y9
1340 PRINT @U3:Y#;
1350 GOSUB 2180
1360 MOVE @U3:W3+(J-1)*M1,W5
1370 NEXT J
1380 MOVE @U3:W3,W5
1390 FOR J=1 TO A6
1400 DRAW @U3:W3,W5+(J-1)*M2
1410 SCALE 1,1
1420 RDRAW @U3:1,0
1430 Y#=STR(W5+(J-1)*M2)
1440 Y#=REF(" ",1,1)
1450 RMOVE @U3:-Y9,-LEN(Y#)/2*X9
1460 PRINT @1,25:90
1470 PRINT @U3:Y#;
1480 PRINT @1,25:0
1490 GOSUB 2180
1500 MOVE @U3:W3,W5+(J-1)*M2
1510 NEXT J
1520 AXIS @U3:M1,M2,W4,W6
1530 A9=LEN(A#)
1540 A1=-A9/2*X9
1550 MOVE @U3:(W3+W4)/2,W6
1560 SCALE 1,1
1570 RMOVE @U3:A1,3*Y9
1580 PRINT @U3:A#;
1590 GOSUB 2180
1600 MOVE @U3:(W3+W4)/2,W6
1610 SCALE 1,1
1620 RMOVE @U3:A1,2.1*Y9
1630 FOR J=1 TO A9
1640 PRINT @U3:"=";
1650 NEXT J
1660 GOSUB 2180
1670 R#="TIEMPO (ses)"
1680 MOVE @U3:(W3+W4)/2,W5
1690 SCALE 1,1
1700 RMOVE @U3:-LEN(R#)/2*X9,-3.5*Y9
1710 PRINT @U3:R#

```

```

1720 GOSUB 2180
1730 R$=S$
1740 MOVE @U3:W3,(W5+W6)/2
1750 SCALE 1,1
1760 RMOVE @U3:-3.2*Y9,-LEN(R$)/2*X9
1770 PRINT @1,25:90
1780 PRINT @U3:R$
1790 PRINT @1,25:0
1800 GOSUB 2180
1810 MOVE @U3:W3,W6
1820 PRINT "JJ          DESEA ESCRIBIR LEYENDAS (SI O NO):G ";
1830 INPUT C$
1840 IF C$="NO" OR C$="N" THEN 2100
1850 PRINT "JJ          TITULO DE LA LEYENDA:G ";
1860 INPUT D$
1870 PRINT "JJ          DIRECCION DE ESCRITURA REFERIDA AL EJE X:G "
1880 PRINT "J          LADO INFERIOR: 1"
1890 PRINT "J          LADO LATERAL IZQUIERDO: 2"
1900 PRINT "JJ          ESCOJA:G ";
1910 INPUT X0
1920 A2=-LEN(D$)/2*X9
1930 GOSUB 2180
1940 GO TO X0 OF 2000,1950
1950 MOVE @U3:W3,(W5+W6)/2
1960 SCALE 1,1
1970 RMOVE @U3:-6*Y9,A2
1980 PRINT @1,25:90
1990 GO TO 2030
2000 MOVE @U3:(W3+W4)/2,W5
2010 SCALE 1,1
2020 RMOVE @U3:A2,-6.3*Y9
2030 PRINT @U3:D$;
2040 PRINT @1,25:0
2050 GOSUB 2180
2060 MOVE @U3:W3,W6
2070 PRINT "JJ          DESEA ESCRIBIR LEYENDAS (SI O NO):G ";
2080 INPUT C$
2090 IF C$="SI" OR C$="S" THEN 1850
2100 GOSUB 2180
2110 MOVE @U3:W3,W6
2120 PRINT "LJJJ          DESEA OTRO GRAFICO ? G";
2130 INPUT R$
2140 IF R$="SI" OR R$="S" THEN 2160
2150 END
2160 IF J1=1 THEN 470
2170 GO TO 550
2180 REM *** SUBROUTINA DE WINDOW Y VIEPORT ***
2190 IF U3=32 THEN 2220
2200 VIEWPORT 15,140,15,90
2210 GO TO 2230
2220 VIEWPORT 20,120,20,90
2230 WINDOW W3,W4,W5,W6
2240 RETURN

```