

86-A  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA POSICIONADOR DE ANTENA  
PARABOLICA CONTROLADO POR  
MICROCOMPUTADORA.

## T E S I S

Que para obtener el título de  
Ingeniero Mecánico Electricista

p r e s e n t a

ROMAN VICTORIANO OSORIO COMPARAN  
OSCAR MANUEL GUTIERREZ GOMEZ



Director: M. I. Mario Peña Cabrera

México, D. F.

1987



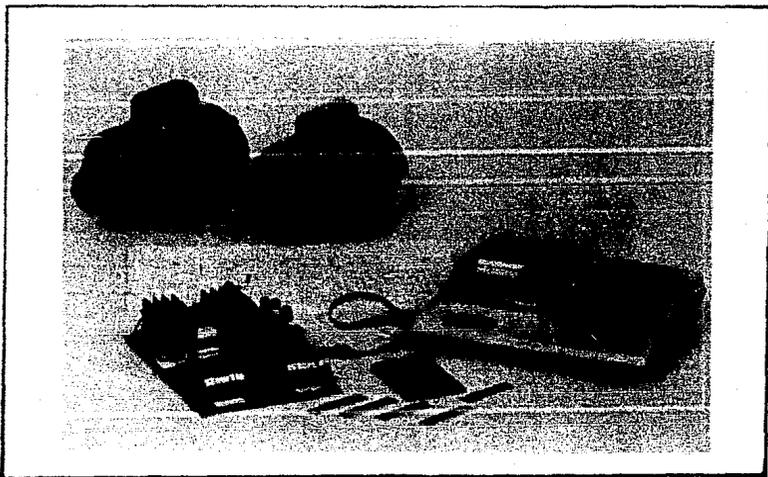
## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

SISTEMA POSICIONADOR  
DE ANTENA PARABOLICA  
CONTROLADO POR  
MICROCOMPUTADORA



# I N D I C E

0	INTRODUCCION	
1	DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO	1
1.1	Proceso de diseño	2
1.2	Diseño de ejes	5
1.3	Diseño de acoplamiento	9
1.4	Diseño de cuñas	11
1.5	Diseño de engranes	14
1.6	Cojinetes de rodamiento	28
2	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	38
2.1	Motores de inducción	38
2.2	Motores de jaula de ardilla	39
2.3	Motores de anillos rozantes	39
2.4	Cálculo de corriente en motores C.A.	40
2.5	Motores con condensador	42
2.5.1	Partes mecánicas y electricas del motor	44
2.5.2	Funcionamiento del motor	50
2.5.3	Arollamientos	52
3	CONTROL DE FASE DE C.A.	54
3.1	Principios del control de fase	54
3.2	Análisis de control de fase	57
3.2.1	Control de fase de carga inductiva de A.C.	61
3.3	Comutación en circuitos de A.C.	62
3.4	Método de control de motores	64
3.4.1	Control electrónico por medio de SCR'S	68
3.4.2	Teoria y operación de los SCR'S	69
3.4.2.1	Ejemplo del circuito de control de SCR	74

4	REGULACION DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR DE INDUCCION CON FRECUENCIA ESTATORICA FIJA.	78
4.1	Regulación de la tensión estátorica	78
4.1.1	Principio del regulador de corriente alterna, estudio con carga resistiva monofásica.	79
4.1.2	Carga monofásica resistiva e inductiva	83
4.1.3	Análisis de armónicos de corriente	85
4.1.4	Aplicaciones de la velocidad variable	89
5	DISEÑO DEL SISTEMA	93
5.1	Conceptos fundamentales	93
5.2	Vista del sistema de automatización	95
5.3	Controladores	97
5.3.1	Tipos de controladores	98
5.3.2	Controlador secuncial	98
5.3.3	Controlador de procesos	99
5.4	Sensores	100
5.4.1	Sensores de posición	101
5.5	Actuadores	104
5.6	Descripción del circuito	105
5.6.1	Control de la velocidad	107
5.6.2	Etapa de potencia	109
5.6.2.1	Circuito RC de disparo	110
5.6.2.2	Análisis de selección del triac	116
5.6.3	Módulos de entrada/salida (I/O)	119
5.6.3.1	Módulo de entrada	119
5.6.3.2	Módulo de salida	121
5.6.3.3	Control de los relevadores	123
5.6.3.4	Equipo de programación	127
5.6.3.5	Inversión de marcha	131
5.7	Descripción del sistema realimentado	135
5.7.1	Control de velocidad y frenado	137
5.7.2	Control de eventos	140

5.7.3	Codificador de la posición	141
5.7.4	Control de dirección	147
5.7.5	Codificador de velocidad	151
6	SOFTWARE DEL SISTEMA	155
6.1	Sistema no realimentado	155
	Descripción del sistema, no realimentado	
	Diagrama de flujo	157
	Modo de uso del programa	
	Ejemplos de movimiento	
	Consideraciones	
6.2	Sistema realimentado	
	Descripción del sistema realimentado	167
	CONCLUSIONES	173
	APENDICE A - GUIA DE SELECCION (TRIAC, DIAC)	177
	APENDICE B - LISTADOS DEL PROGRAMA	181
	BIBLIOGRAFIA	189

# Introducción

---

## OBJETIVO

La necesidad en el IIMAS UNAM de utilizar un sistema posicionador de antena parabólica en base a una microcomputadora, para formar parte de un proyecto de investigación, para obtener perfiles atmosféricos de temperatura, en el cual se utiliza un sistema de ecosondeo, nos situa en el renglon de este proyecto.

El objetivo principal es posicionar en un punto determinado en el espacio el foco de una antena parabólica, cuyo control se realice por medio de un microproce

sador, las trayectorias son establecidas con anterioridad y para éste fin son programadas como datos en la microcomputadora.

En los subsecuentes capítulos de ésta tesis se desglosan ampliamente los temas que describen el diseño, - implementación y acoplamiento de los sistemas, mecánico, eléctrico, electrónico y computacional que se tuvieron que tomar en consideración para la realización de éste proyecto.

En el capítulo primero se plantea el diseño del sig tema mecánico en función del movimiento que se requiere para manejar con mayor flexibilidad el desplazamiento - de la antena parabólica en sus coordenadas terrestres, - tanto en acimut o desplazamiento horizontal, como en -- elevación o movimiento vertical.

El capítulo segundo trata acerca de motores de co-- rriente alterna (CA) los cuales son utilizados en el -- proyecto por lo que los hace formar parte fundamental - en el sistema. Algunas ventajas de estos motores son: un costo menor que los de corriente directa (CD), se sa be que el motor de CA no es tan eficiente a bajas velocidades, pero se tiene la ventaja de poder controlar ma yor potencia, y si a lo anterior le agregamos el hecho-

de saber que un motor de CD sufre mas las consecuencias al medio ambiente, tendremos puntos importantes para se leccionar un motor de CA.

El capítulo tres hace énfasis en el control de fase de CA por medio del cual es como se lleva a cabo el con trol de la velocidad del motor.

En el capítulo cuatro se trató sobre la regulación de la velocidad del motor de inducción para una frecuen cia estatórica fija.

En el capítulo cinco y seis se presentan el hardware y el software del sistema posicionador sobre el cual se fundamenta el desarrollo de esta tesis. En estos ca pítulos se observa la forma en la cual se estructura el "hardware" o conjunto de elementos que intervienen en la elaboración del sistema. Para su explicación se expone en tres partes, que son; el "controlador", el cual provee la decisión que debe hacerse, los "sensores", -- por medio de los cuales se suministra la información de entrada al controlador y por último los "actuadores", o sea los medios por los cuales se suministra el control de la acción mecánica.

En este proyecto, se cuenta con dos alternativas de

uso del sistema posicionador, la primera de ellas se le denomina de "lazo abierto o sin realimentación" en la cual no se utilizan sensores en las partes móviles de la antena parabólica, esta alternativa en la que se hace uso de una computadora de bolsillo TI-59 y su respectiva impresora PC-100c, reduce los gastos de equipo de programación considerablemente, debido a la gran diferencia entre una computadora personal (PC) o de escritorio y ésta. Sin lugar a duda, la diferencia en cuanto a características es apreciable, no obstante, el uso de la TI-59 provee una posición completamente confiable, la cual la hace que sea una opción cuando se requiera una inversión mínima en equipo de programación. Una de las utilidades prácticas de este sistema, es que no solo se puede utilizar como posicionador de antena parabólica, su uso puede ser variado, como control de procesos o controlador programable a través de la variación del software en uso.

Para el sistema de "lazo cerrado o realimentado", se dispone de una microcomputadora Apple IIe, en el cual el sistema funciona en base a la información que el ordenador recibe, el ordenador ha de estar enterado de las posiciones y las orientaciones de todos sus movimientos, esto se logra a través de los sensores. La alternativa consiste en imprimir un código binario en el

dispositivo móvil y leérselo directamente al ordenador, sin embargo, independientemente de que el sistema sea -- realimentado o no, la compatibilidad del controlador -- electrónico permanece para cualquier sistema de cómputo por medio de una interfase de datos en paralelo estandarizada.

Por lo anterior el sistema adquiere mayor importancia en cuanto a su uso, al ponerla a disposición del -- usuario en dos planos económicos.

## Capitulo 1

# Diseño del Sistema Mecanico

---

" El diseño de Ingeniería ", es la creación de los planos necesarios para que las máquinas, las estructuras, los sistemas o los procesos desarrollen las funciones deseadas.

En el caso de este proyecto se requiere de proveer de movimiento a una antena parabólica por medio de dos movimientos básicos: el primero en "acimut", o sea un movimiento horizontal que emplea  $360^\circ$  y el segundo en "elevación", de tal forma que se logre un movimiento de  $180^\circ$ . Estos movimientos necesitan ser precisos, ya que de estos depende el correcto posicionamiento de la antena parabólica de acuerdo a coordenadas preestablecidas.

## 1.1 PROCESO DE DISEÑO

El diseño de una máquina debe seguir un plan semejante al que se muestra en la figura 1.1.

Después de haber establecido las especificaciones generales debe fijarse una disposición cinemática, o esqueleto, de la máquina. A continuación debe hacerse un análisis de fuerzas (incompleto debido a que las masas de las partes móviles no se conocen aún en los diseños en los cuales la dinámica es importante). Con esta información pueden diseñarse los componentes (tentativamente ya que las fuerzas no se conocen con exactitud). Posteriormente puede hacerse un análisis de fuerzas más exacto y un diseño más refinado. Las decisiones finales se ven afectadas por muchos factores diferentes a la resistencia y a la rigidez, tales como la apariencia, el peso, las limitaciones de espacio, la disponibilidad de materiales y técnicas de fabricación, etc.

"El diseño de máquinas" envuelve, entre otras consideraciones, el dimensionamiento apropiado de un elemento de una máquina para que soporte con seguridad el esfuerzo máximo que se produce en su interior cuando está sometido a alguna combinación de cargas de flexión, torsión, axiales o transversales. En general, los mate

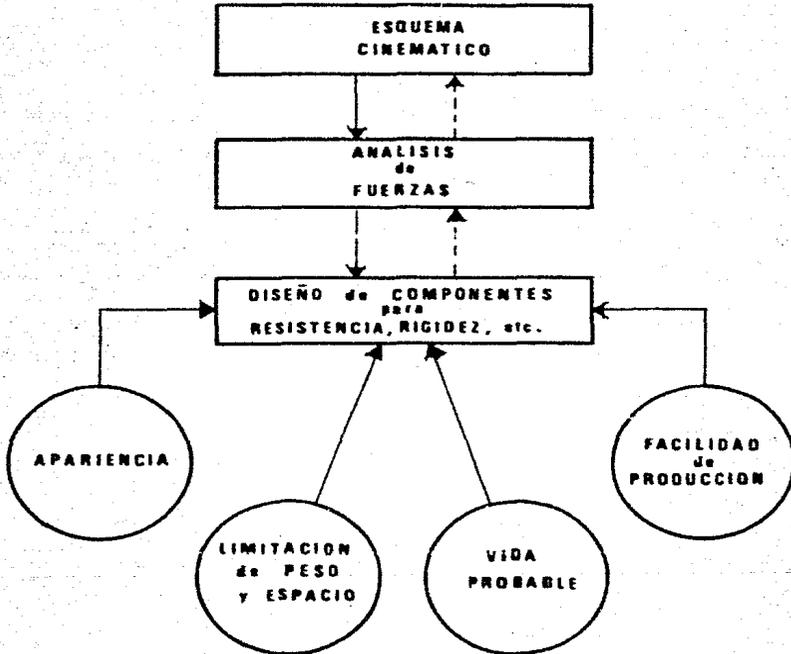


FIGURA 1.1 Proceso de Diseño

riales dúctiles, tales como los aceros blandos son débiles al esfuerzo cortante y se diseñan con base en el es fuerzo cortante máximo, por otra parte, los materiales frágiles tales como el hierro fundido y ciertos aceros duros, se diseñan normalmente con base en el esfuerzo normal máximo tanto de tracción como en compresión.

En esta forma, y a lo largo de este capítulo se verá como y cuales son los factores que se consideraron para desarrollar cada una de las piezas mecánicas tales como; engranes, flechas, cojinetes, acoplamientos, etc.

ACEROS

De todos los productos de acero, el acero al carbono es el que se produce en cantidades mayores que cualquier otra aleación ferrosa.

LOS TIPOS DE ACERO SON:

" Acero de bajo contenido de carbono "

$$0 < C < 0.25\%$$

Caracterizado por no mas de 0.25% de carbono lo cual hace que este tipo de acero sea el más dúctil y blando, su aplicación principal radica en

la fabricación de carrocerías y chasis de autos así como la elaboración de hojalata, es soldable y forjable y además puede ser carbonizado.

" Aceros de contenido medio de carbono "

$$0.3 < C < 0.55\%$$

Este tipo de aceros se caracteriza por contener martensita pura y estos aceros se calientan y - enfrian para mejorar sus propiedades mecánicas- (templado). Tratado termicamente se utiliza - en la fabricación de flechas, cigueñales, engranes y rieles de ferrocarril. Buena resistencia al desgaste.

" Aceros de alto contenido de carbono "

$$0.55 < C < 0.95\%$$

Su principal utilidad esta en la fabricación de herramientas que necesitan alta dureza, tales - como herramientas de corte, resortes, alambres- de alta resistencia, etc.

## 1.2 DISEÑO DE EJES

Consiste básicamente en la determinación del diámetro correcto del eje, con esto, se asegura la rigidez y resistencia satisfactoria cuando el eje transmite poten

cia en diferentes condiciones de carga y operación. Generalmente los ejes tienen sección transversal circular y pueden ser huecos o macizos.

#### EJES DE MATERIALES DUCTILES

Basado en su resistencia esta controlado por la teoría del esfuerzo cortante máximo. La presentación siguiente se basa en ejes de materiales dúctiles y sección transversal circular. Los ejes de materiales frágiles deben diseñarse en base a la teoría del esfuerzo normal máximo. Generalmente, los ejes están sometidos a torsión, flexión y cargas axiales. Para cargas torsionales, el esfuerzo de torsión  $T_{xy}$  es:

PARA EJES MACIZOS

$$T_{xy} = M_t r / j = 16 M_t / \pi d^3$$

Para cargas de flexión, el esfuerzo de flexión  $s_b$  - ( tracción o compresión ) es:

$$s_b = M_b r / I = 32 M_b / \pi d^3$$

Para cargas axiales, el esfuerzo de compresión o tracción  $s_a$  es:

$$s_a = 4 F_a / \pi d^2$$

La ecuación general del código ASME para un eje macizo con carga axial pequeña o nula se define como:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_b} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

en la cual,

- Txy = esfuerzo cortante de torsión, | psi |  
 M<sub>t</sub> = momento de torsión | lb-pul |  
 M<sub>b</sub> = momento de flexión | lb-pul |  
 F<sub>a</sub> = carga axial | lb |  
 K<sub>b</sub> = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector.  
 K<sub>t</sub> = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión.

PARA EJES ESTACIONARIOS:

	K <sub>b</sub>	K <sub>t</sub>
carga aplicada gradualmente	1.0	1.0
carga aplicada repentinamente	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0

PARA EJES EN ROTACION:

	K <sub>b</sub>	K <sub>t</sub>
carga aplicada gradualmente	1.5	1.0
carga repentina (choque menor)	1.5 a 2.0	1.0 a 1.5
carga repentina (choque fuerte)	2.0 a 3.0	1.5 a 3.00

S<sub>b</sub> = esfuerzo de flexión (tensión o compresión), | psi |

S<sub>a</sub> = esfuerzo axial (tensión o compresión), | psi |

El código ASME especifica para ejes de acero comercial

$S_s$  (permisible) = 8000 psi para ejes sin cuñero.

$S_s$  (permisible) = 6000 psi para ejes con cuñero.

#### DISEÑO DE EJES POR RIGIDEZ TORSIONAL.

Se basa en el ángulo de giro permisible. La cantidad permisible de giro depende de la aplicación particular, y varía desde 0.08 grados/pie para ejes de máquinas herramientas hasta 1.0 grados/pie para ejes de transmisión.

$\theta = 584 M_t L / Gd^4$  para un eje circular macizo donde:

$\theta$  = ángulo de giro, [grados]

$L$  = longitud del eje, [pul]

$M_t$  = momento de torsión, [lb-pul]

$G$  = módulo de elasticidad en torsión, [psi]

$d$  = diámetro del eje, [pul]

Los momentos de torsión y de flexión son los factores principales que influyen en el diseño de ejes.

El momento de torsión que actúa sobre el eje puede determinarse como sigue:

$$M_t = \frac{hp \times 33 \times 12}{2 \pi \text{ rpm}} = \frac{63 \times hp}{\text{rpm}} \quad \text{[lb-pul]}$$

Para una transmisión por engranajes, el momento de torsión es:

$$M_t = F_t R$$

donde:

$F_t$  = fuerza tangencial en el radio primitivo, |lb|

$R$  = radio primitivo, |pul|

### 1.3 DISEÑO DE ACOPLAMIENTOS

Los acoplamientos se usan para conectar secciones de ejes o para conectar el eje de una máquina conductora con el de una máquina conducida. Esto permite una conexión permanente.

#### CLASIFICACION

La clasificación de los acoplamientos puede hacerse sobre la base de que los diseños sean rígidos o flexibles.

#### ACOPLAMIENTOS RIGIDOS

Este tipo de acoplamientos es recomendable para velocidades bajas en ejes alineados con precisión.

## ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES.

Los acoplamientos flexibles se usan para:

- a) Tener en cuenta pequeñas cantidades de desalineamiento no intencionales.
- b) Suministrar un "extremo flotante", esto es, un movimiento axial del eje.
- c) Aliviar el choque, suministrando transferencia de potencia por medio de resortes o para absorber algunas de las vibraciones en el acoplamiento.

Los acoplamientos pueden clasificarse también de acuerdo a su uso, especificándolos por la relación de las líneas centrales de los ejes conectados, los cuales pueden ser:

- 1) Colineales
- 2) Intersectadas (puede usarse una unión universal)
- 3) Paralelas pero no colineales. (Este tipo de acoplamiento debe evitarse en lo posible con cargas pesadas, a causa del rozamiento debido al deslizamiento.

Como los acoplamientos rígidos pueden transmitir flexión en un eje, se originan esfuerzos que producen fallas por fatiga, por lo que es deseable, proporcionar

buen alineamiento y localizar el acoplamiento en donde el momento de flexión sea practicamente nulo. Así, tanto los acoplamientos rígidos como los flexibles, se -- analizan generalmente solo para torsión.

Generalmente los acoplamientos pueden comprarse normalizados por los fabricantes.

#### 1.4 DISEÑO DE CUÑAS

Las cuñas se usan para prevenir el movimiento relativo entre un eje y el elemento conectado a través del cual se transmite un momento de torsión; aún cuando los engranes, las poleas, etc., están montados con un ajuste de interferencia, es aconsejable usar una cuña diseñada para transmitir el momento total.

LOS TIPOS MAS COMUNES DE CUÑAS SON:

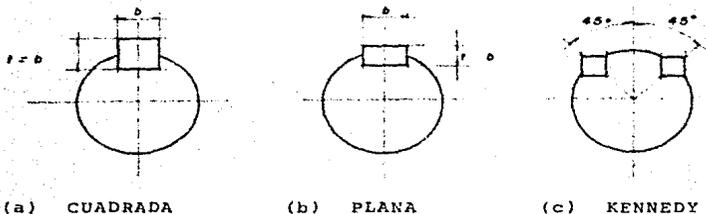


Figura 1.2 Diferentes tipos de cuñas

El ancho de la cuña cuadrada o plana es generalmente una cuarta parte del diámetro del eje. Estas cuñas pueden ser rectas o ahusadas aproximadamente  $1/8$  pul -- pie. La figura 1.3 muestra una cuña con cabeza. Cuando es necesario tener movimiento axial relativo entre el eje y la parte acoplada se usan cuñas y ranuras. Existen normas ASME y ASA para las dimensiones de la cuña y de la ranura.

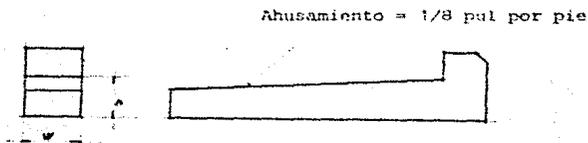


Figura 1.3 Cuña con cabeza

#### CUÑAS CUADRADAS Y PLANAS

El diseño de cuñas cuadradas y planas puede basarse en los esfuerzos cortantes y de compresión producidos en la cuña como resultado del momento de torsión transmitido. Las fuerzas que actúan sobre la cuña se muestran en la figura 1.4. Las fuerzas  $F'$  actúan como un par resistente para prevenir la tendencia de la cuña a rotar en el cuñero. La localización exacta de la fuerza  $F$  no es conocida y es conveniente suponer que actúan

tangencialmente a la superficie del eje. Esta fuerza - produce esfuerzos cortantes y de compresión en la cuña.

La resistencia al momento de torsión del eje  $T$  puede aproximarse por  $T = Fr$ , donde  $r$  es el radio del eje.

El esfuerzo cortante  $S_s$  en la cuña es:

$$S_s = \frac{T}{bl} = \frac{Fr}{blr} = \frac{1}{blr}$$

Donde  $L$  es la longitud de la cuña

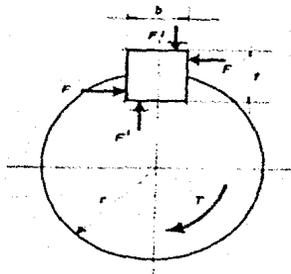


Figura 1.4 Fuerzas que actúan sobre la cuña

El momento de torsión del eje que puede soportar la cuña, desde el punto de vista del corte, es;

$$T_s = S_s bLr$$

El esfuerzo de compresión  $S_c$  en la cuña esta dado -  
por:

$$S_c = \frac{F}{(t/2) L} = \frac{Fr}{(t/2) Lr} = \frac{T}{(t/2) Lr}$$

El momento de torsión del eje que puede soportar la  
cuña, desde el punto de vista de la compresión, es;

$$T_c = S_c (t/2) Lr$$

Una cuña cuadrada puede soportar el mismo momento -  
de torsión del eje tanto desde el punto de vista del --  
corte como desde el punto de vista de la compresión.  
Esto se prueba igualando las dos ecuaciones del momento  
y usando la relación aproximada  $S_c = 2 S_s$  para aceros -  
dúctiles. Sobre la misma base, las cuñas planas más an-  
chas que profundas fallan en compresión, y las que son  
más profundas que anchas fallan en corte.

### 1.5 DISEÑO DE ENGRANES

Sin duda alguna el diseño de los engranes es la par  
te fundamental del diseño mecánico de la antena paráb-  
lica de ellos se transmitirá la fuerza del motor y la -  
fuerza necesaria para mantener la antena parabólica en-  
determinada posición, por esto, del diseño de los dien-

El esfuerzo de compresión  $S_c$  en la cuña esta dado - por:

$$S_c = \frac{F}{(t/2) L} = \frac{Fr}{(t/2) Lr} = \frac{T}{(t/2) Lr}$$

El momento de torsión del eje que puede soportar la cuña, desde el punto de vista de la compresión, es;

$$T_c = S_c ( t/2 ) Lr$$

Una cuña cuadrada puede soportar el mismo momento de torsión del eje tanto desde el punto de vista del -- corte como desde el punto de vista de la compresión. Esto se prueba igualando las dos ecuaciones del momento y usando la relación aproximada  $S_c = 2 S_s$  para aceros dúctiles. Sobre la misma base, las cuñas planas más anchas que profundas fallan en compresión, y las que son más profundas que anchas fallan en corte.

### 1.5 DISEÑO DE ENGRANES

Sin duda alguna el diseño de los engranes es la parte fundamental del diseño mecánico de la antena parabólica de ellos se transmitirá la fuerza del motor y la fuerza necesaria para mantener la antena parabólica en determinada posición, por esto, del diseño de los dien-

tes, donde se concentra la mayor cantidad de fuerzas --- componentes depende primordialmente el buen funciona--- miento de un engrane como se observa más adelante. Por último, la precisión que es parte fundamental del movimiento de la antena parabólica, involucra como factor principal el paso diametral ( $P_d$ ), por medio de el cual la relación entre los engranes se ajustará a la precisión requerida.

Se decidió por el uso de engranes rectos sobre los de tornillo sin fin, ya que con los primeros se logra mayor eficiencia en cuanto a pérdida por rozamiento.

#### PERDIDAS POR ROZAMIENTO

En engranes rectos, helicoidales y cónicos, generalmente son tan pequeñas que se puede considerar que estos engranajes operan con una eficiencia del 100%. Existen situaciones en que debe tenerse en cuenta el rozamiento en engranes rectos aunque sea pequeño, tal es el caso de la potencia que circula en un sistema planetario, en nuestro caso representado por el reductor de velocidad.

Los tornillos sin fin y los engranajes de tornillo sin fin no son tan eficientes como los engranajes rec---

tos, los helicoidales y los cónicos; por lo tanto, usualmente se tiene en cuenta el rozamiento para determinar las fuerzas componentes sobre los tornillos sin fin y sobre los engranajes de tornillo sin fin.

#### FUERZAS COMPONENTES

Las componentes se utilizan para calcular las reacciones sobre los cojinetes, las dimensiones del eje, etc.

Generalmente se determinan antes que la fuerza resultante del engrane, aunque ésta se puede hallar por medio de la suma vectorial de las componentes.

Las fuerzas componentes en un "engrane recto" son (ver la figura 1.5):

1) Fuerza tangencial  $F_t = M_t/r$  donde;

$M_t$  = momento en el engrane

$r$  = radio primitivo del engrane

2) Fuerza separadora o radial  $F_r = F_t \tan \phi$  donde;

$\phi$  es el ángulo de presión

Observese que la fuerza radial siempre está dirigida hacia el centro del engrane.

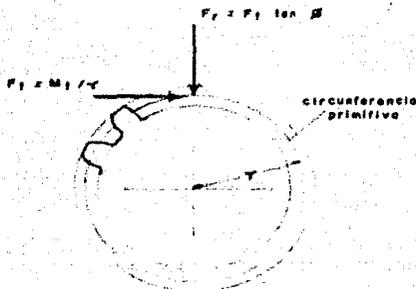


FIGURA 1.5 Fuerzas componentes en un engrane recto.

#### ENGRANES RECTOS (CILINDRICOS)

Los engranes rectos, constituyen un medio conveniente para transmitir potencia entre ejes paralelos con una relación de velocidad angular constante. El valor de la relación de velocidad es el mismo que se obtendría con dos cilindros imaginarios presionados uno contra el otro y girando sin deslizarse en su línea de contacto.

#### DEFINICIONES

" Paso circular" ( $P_c$ ).- es la distancia de un punto de un diente hasta el punto correspondiente de un diente adyacente medida sobre la circunferencia primitiva.

$$P_c = \pi D/N$$

D = diámetro primitivo en pulgadas.

N = número de dientes del engrane.

" Paso diametral " ( $P_d$ ).- es el número de dientes -  
de un engrane por pulgada de diámetro.

$$P_d = N/D$$

Observe que  $P_c \times P_d = \pi$

" Línea del engrane ".- es una línea normal al perfil de un par de dientes engranados en su punto de contacto.

" Angulo de Presión " ( $\phi$ ).- es el ángulo entre la línea del engrane y la tangente común a las circunferencias primitivas.

" Punto de tangencia ".- es el punto de tangencia de las circunferencias primitivas.

" Razón de las velocidades angulares "(o razón de transmisión).- es la razón de la velocidad angular del piñón a la velocidad angular del engrane acoplado. La razón de las velocidades angulares es inversamente proporcional a la razón de los números de dientes de los -

dos engranes y para el caso de engranes rectos es también proporcional a la razón de los diámetros primitivos.

Razón de las velocidades angulares =

$$N_g / N_p = D_g / D_p$$

#### LEY FUNDAMENTAL DEL ENGRANE

La normal común al perfil del diente en el punto de contacto debe pasar siempre por un punto fijo llamado - punto de tangencia, esto con el fin de mantener constante la razón de las velocidades angulares de los dos engranes. La curva evolvente satisface la ley del engrane y es la que se usa más a menudo en el perfil de los dientes de engranes. Frecuentemente, se utilizan en el perfil de los dientes de un engrane, una combinación de las curvas evolvente y cicloide, para evitar interferencia. En esta forma compuesta, aproximadamente el tercio central del perfil tiene forma evolvente, mientras que el resto es cicloidal.

INTERFERENCIA. Con ciertas condiciones, los perfiles de forma evolvente recubren o cortan los perfiles de los dientes del otro engrane. Esta interferencia se puede evitar si el radio de cabeza máximo de cada engrane

ne es igual o menor que:

$$\sqrt{\text{radio de la circunferencia de base}^2 + \text{distancia entre centros}^2 (\text{Sen } \beta)^2}$$

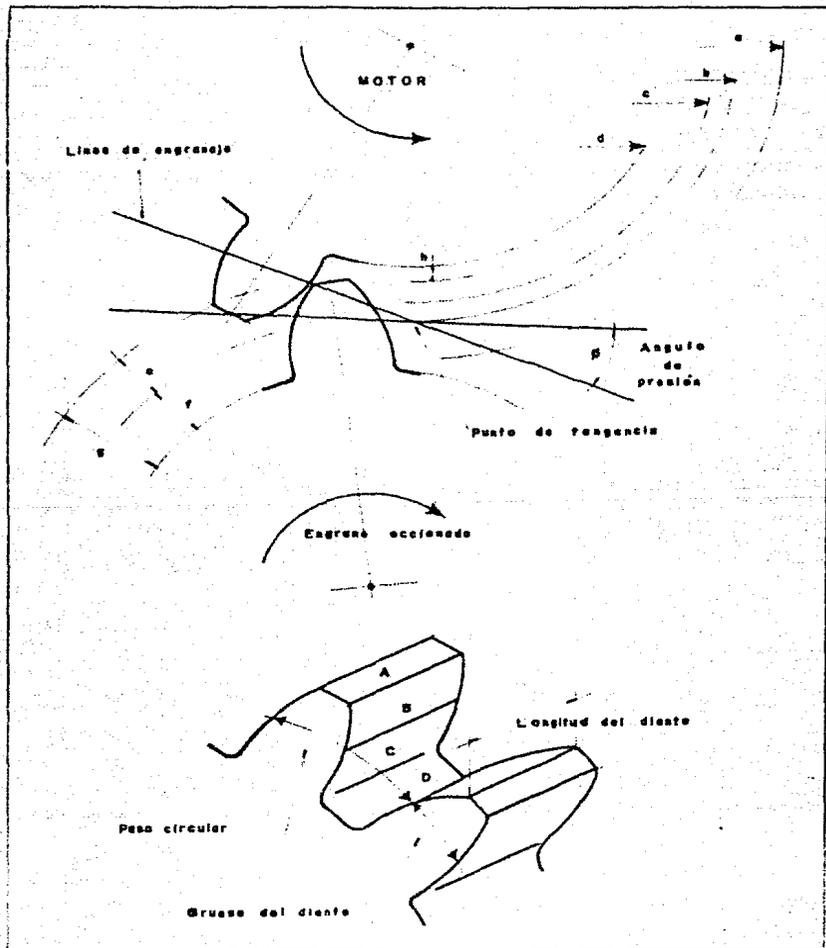


FIGURA 1.6 Terminología del diente de un engrane

Las partes principales de los dientes de un engrane se denominan como se indica en la figura 1.6, donde:

- a - circunferencia de cabeza
- b - circunferencia primitiva
- c - circunferencia de base
- d - circunferencia de pie o de raiz
- e - altura de cabeza
- f - altura de pie
- g - profundidad total
- h - huelgo
- A - Superficie de remate
- B - flanco de cabeza
- C - flanco de pie
- D - superficie de fondo

En la siguiente tabla figura 1.7 se observan las --  
proporciones de los dientes de engranes normalizados.

	14 1/2° Compuesto	14 1/2° Evolvente y Profundidad Total	20° Evolvente y Profundidad Total	20° Evolvente "Stub"
Altura de cabezo	1 / Pd	1 / Pd	1 / Pd	0.8 / Pd
Altura de pie mínimo	1.157 / Pd	1.157 / Pd	1.157 / Pd	1 / Pd
Profundidad Total	2.157 / Pd	2.157 / Pd	2.157 / Pd	1.8 / Pd
Huelgo	0.157 / Pd	0.157 / Pd	0.157 / Pd	0.2 / Pd

FIGURA 1.7 Proporción de los dientes de engranes normalizados

**PASOS NORMALIZADOS** - Los pasos diámetros normalizados que se utilizan comunmente son:  
 1 a 2, de 1/4 en 1/4; 2 a 4, de 1/2 en 1/2; 4 a 10, de 1 en 1; 10 a 20, de 2 en 2 y 20 a 40, de 4 en 4.

**OBJETIVOS DEL DISEÑO** El diseño del diente de un engrane consiste principalmente en determinar el "paso" y la "longitud del diente" necesarios para obtener.

#### RESISTENCIA DE LOS DIENTES DE UN ENGRANE.

"Ecuación de Lewis". Al comenzar la acción entre un par de dientes que engranan, el flanco del diente motor hace contacto con la punta del diente accionado. Despreciando el rozamiento, la carga total  $W_n$  es normal al perfil del diente y se supone que es conducida por este diente.  $W$ , la carga componente de  $W_n$  perpendicular a la línea media del diente, produce un esfuerzo de flexión en la base del diente. La componente radial  $W_r$  se desprecia. La parábola que se muestra en la figura 1.8 -- bosqueja una viga de resistencia constante. Por lo tanto, la sección más debil del diente es la sección A-A, donde la parábola es tangente al controno del diente.

Se supone que la carga esta uniformemente distribuida a través de toda la cara del diente.

El esfuerzo de flexión producido,  $s$  es

$$s = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{bt^2} = \frac{6Wh}{bt^2}$$

$$W = sb (t^2 / 6h) = sb(t^2 / 6h P_c) P_c$$

donde:

$$c = t/2, I = bt^3 / 12 \quad \text{y} \quad M = Wh$$

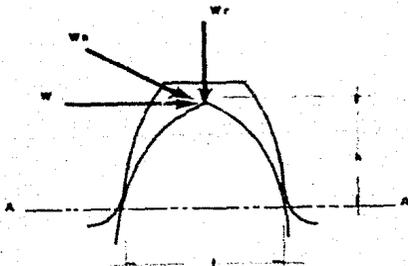


FIGURA 1.8 Viga de resistencia constante

La relación  $t^2/6h P_c$  es una cantidad adimensional - denominada el factor de forma ( $\gamma$ ) cuyos valores estan tabulados en la tabla I de la figura 1.9. Este factor de forma ( $\gamma$ ) es una función de la forma del diente, la cual a su vez depende del sistema de dientes utilizados

y del número de dientes del engrane.

Por conveniencia  $W$  se aproxima a la fuerza transmitida  $F$ , la cual se define como el momento de torsión dividido por el radio primitivo. Por consiguiente, reemplazado  $F$  por  $W$  y  $(\gamma)$  por  $t^2 / gh Pc$  obtenemos la forma usual de la ecuación de Lewis:

$$F = sb Pc \gamma$$

Para condiciones de diseño ordinarias, la longitud del diente,  $b$ , se limita a un máximo de 4 veces el paso circular. Haciendo  $b = \lambda Pc$ , donde  $\lambda \leq 4$ ,

$$F = s Pc^2 K \gamma = S \pi^2 K \gamma / Pd^2$$

En el diseño de un engrane, basado en la resistencia, puede conocerse o no el diámetro primitivo. Si el diámetro primitivo es conocido, se puede utilizar la siguiente forma de la ecuación de Lewis:

$$Pd^2 / \gamma = sK\pi^2 / F$$

donde

$s$  = esfuerzo permisible,  $k = 4$ , límite superior;

$F$  = fuerza transmitida =  $2 Mt / D$

Luego la expresión da un valor numérico "permisible" de la relación  $Pd^2 / \gamma$ , que controla el diseño, puesto que se basa en un esfuerzo permisible.

Si se desconoce el diámetro primitivo, se puede utilizar la siguiente forma de la ecuación de Lewis:

$$s = 2 M_t Pd^3 / K \pi^2 \gamma N$$

donde

- s = esfuerzo  $\leq$  esfuerzo permisible
- $M_t$  = momento de torsión en el engrane menos resistente.
- K = 4, límite superior
- N = número de dientes del engrane menos resistente.

Esta expresión nos da un valor del esfuerzo producido, en función del paso diámetral. El número mínimo de dientes, N, generalmente esta limitado a 15.

En los dos casos anteriores, el máximo paso diámetro posible proporcionará el diseño más económico. En general, cuando se conocen los diámetros, se diseña por el mayor número de dientes posibles, cuando no se conocen los diámetros, se diseña con los menores pasos diámetros posibles.

ESFUERZOS PERMISIBLES EN EL DIENTE. Los esfuerzos máximos permisibles en el diseño de dientes de engranes, dependen del material seleccionado y de la velocidad de la línea primitiva. Para engranes rectos;

$$\begin{aligned}
 s_{\text{permisible}} &= s_0 \left( \frac{500}{600+V} \right) \text{ para } V < 2000 \text{ pies/min.} \\
 &= s_0 \left( \frac{1200}{1200+V} \right) \text{ para } 2000 < V < 4000 \text{ pie/} \\
 &\quad \text{min.} \\
 &= s_0 \left( \frac{78}{78+V} \right) \text{ para } V > 4000 \text{ pies/min.}
 \end{aligned}$$

donde  $s_0$  es el coeficiente estático unitario corregido por los valores de la concentración media de esfuerzos del material del engrane (psi) y  $V$  es la velocidad en la línea primitiva. (pies/min.).

VALORES DE  $s_0$ .

Los valores de  $s_0$  de diferentes materiales para engranes están catalogados en las publicaciones de la American Gear Manufacturers Association, en manuales de ingeniería y textos de diseño. Para aceros al carbono  $s_0$  está comprendido entre 10 y 50 (psi) dependiendo del contenido de carbono y del tratamiento térmico.

Número de dientes	Forma evolvente ó compuesta a 14 — 1/2 ° y profundidad total	Forma evolvente a 20° y profundidad total	Forma evolvente "stub" a 20°
12	0.067	0.078	0.099
13	0.071	0.083	0.103
14	0.075	0.088	0.108
15	0.078	0.092	0.111
16	0.081	0.094	0.115
17	0.084	0.096	0.117
18	0.086	0.098	0.120
19	0.088	0.100	0.123
20	0.090	0.102	0.125
21	0.092	0.104	0.127
23	0.094	0.106	0.130
25	0.097	0.108	0.133
27	0.099	0.111	0.136
30	0.101	0.114	0.139
34	0.104	0.118	0.142
38	0.106	0.122	0.145
43	0.108	0.126	0.147
50	0.110	0.130	0.151
60	0.113	0.134	0.154
75	0.115	0.136	0.158
100	0.117	0.142	0.161
150	0.119	0.146	0.165
300	0.122	0.150	0.170
Crema- llera	0.124	0.154	0.175

TABLA I

FIGURA 1.9 Factor de forma ( $\mathcal{J}$ ) para utilizar en la ecuación de resistencia de Lewis.

## 1.6 COJINETES DE RODAMIENTOS

La aplicación de los cojinetes de rodamiento implica una selección, montaje, lubricación y protección adecuadas, con el fin de que el funcionamiento de los cojinetes, con las condiciones especificadas, sea satisfactorio.

La selección de un cojinete de rodamientos se hace con base en catálogos. Desafortunadamente los catálogos de los diferentes fabricantes no emplean, necesariamente, los mismos métodos para seleccionar un cojinete, debido, principalmente, a las diferencias de interpretación de los datos de ensayo y de las condiciones de servicio. Sin embargo, la clasificación de los cojinetes se basa en cierta teoría general que está bosquejada - en este capítulo y que modifican las diferentes compañías, de acuerdo con sus propias experiencias.

El montaje de cojinetes se puede hacer con base en uno de los diferentes procedimientos recomendados, y -- con frecuencia haciendo un control desde el punto de -- vista económico.

Los cojinetes de rodamiento se llaman también cojinetes antifricción, aunque el rozamiento en dichos coji-

netes es comparable al de un cojinete ordinario bien di  
señado que opere con condiciones de pelicula gruesa.

La decisión sobre que clasé de cojinete se debe emplear  
, es decir si se debe utilizar cojinete de rodamiento o  
un cojinete ordinario, puede tomarse con base en uno o  
másg de los siguientes factores:

- 1) Cuando los momentos de arranque son altos, los  
cojinetes de rodamiento son mas ventajosos, de-  
bido a la acción giratoria de las bolas o de --  
los rodillos.
- 2) Cuando hay limitación de espacio, se prefieren-  
los cojinetes de rodamiento si la dimensión axi  
al es limitada y se prefieren los cojinetes or-  
dinarios si esta limitada a la dimensión radial.
- 3) Los cojinetes de rodamiento dan una advertencia  
(haciendose ruidosos) cuando la falla es inmi--  
nente, mientras que en los cojinetes ordinarios  
la falla ocurre repentinamente, siendo mas de--  
sastrosos los resultados.
- 4) Los cojinetes de rodamiento pueden soportar car  
gas radiales y axiales combinadas (con excep---  
ción de los cojinetes de rodillos rectos ).

- 5) Los cojinetes de rodamiento pueden precargarse, si así se desea, con el fin de reducir las deformaciones en los cojinetes y obtener mayor exactitud.
- 6) El juego debe ser mucho menor en los cojinetes de rodamiento que en los cojinetes ordinarios a fin de obtener gran exactitud en la colocación de las partes de una máquina, tales como engranes.
- 7) Los cojinetes de rodamiento pueden engrasarse antes del montaje, con lo cual se evita el mantenimiento posterior.
- 8) Los cojinetes de rodamiento pueden soportar altas sobrecargas por períodos cortos.

#### COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

El coeficiente de rozamiento en los cojinetes de rodamientos varía con la velocidad, la carga, la cantidad de lubricación, el montaje y la temperatura de funcionamiento. Se puede utilizar un coeficiente constante para hacer cálculos aproximados con condiciones de lubricación favorables, llamadas condiciones normales -

de funcionamiento.

Los valores enumerados a continuación son los que -  
recomienda SKF: (Fabrica de Rodamientos Suecos)

$f = 0.0010$  para cojinetes autocaliniantes (carga radial)

$f = 0.0011$  para cojinetes de rodillos cilindricos -  
con rodillos cortos para guia de brida (carga radial)

$f = 0.0013$  para cojinetes de bolas para empuje axial (carga de empuje axial)

$f = 0.0015$  para cojinetes de una hilera de bolas --  
( carga radial).

$f = 0.0018$  para cojinetes de rodillos esfericos --  
(carga radial)

$f = 0.0018$  para cojinetes de rodillos cónicos.

Los coeficientes de rozamiento ocasionados por el -  
uso de aceites de alta viscosidad, una lubricación ma--  
yor que la óptima o el empleo de cojinetes nuevos, se--  
rán mayores que los que se enumeraron anteriormente.

Debe señalarse que un montaje incorrecto, como ocu--  
rriría cuando la interferencia entre el eje y el inte--  
rior del anillo del cojinete es mayor que la recomenda-

da por los fabricantes, puede causar una excesiva ligazón y excesivo rozamiento.

El momento de rozamiento está dado por

$$M_t = F_f \cdot ( D / 2 )$$

donde

$M_t$  = momento de rozamiento, en lb-pul

$F$  = carga radial o axial en lb

$f$  = coeficiente de rozamiento

$D$  = diámetro interno del cojinete

#### CAPACIDAD ESTÁTICA DE LOS COJINETES

La capacidad estática de los cojinetes depende de las condiciones subsiguientes a la aplicación de la carga estática, así como también de las dimensiones físicas. La capacidad estática de un cojinete que no gira después de aplicada la carga estática será mucho mayor que la de un cojinete que sí gire; las cargas muy pequeñas producirán deformaciones permanentes en el cuerpo rodante y en el camino de rodadura, que impiden el funcionamiento silencioso a altas velocidades, aunque el valor de rozamiento no se afecta apreciablemente ni el cojinete se avería.

La ecuación de Stribeck para la capacidad estática-  
"Co", para cojinetes de bolas, es:

$$C_o = \frac{K Z D^2}{5}$$

K = cte que depende del diámetro de las bolas

Z = número de bolas

D = diámetro de las bolas

La ecuación de la capacidad estática de un cojinete  
de rodillos rectos es:

$$C_o = \frac{K Z D L}{5}$$

K = constante

Z = número de rodillos

D = diámetro de los rodillos

L = longitud de los rodillos

Las siguientes definiciones y datos empleados en el  
método para evaluar las capacidades de carga estática -  
de cojinetes de bolas radiales, se tomaron de la AFBMA  
standard ( Methods of Evaluating Load Ratings of Ball -  
Bearing ).

Un método que generalmente se usa para evaluar las

capacidades de carga estática de cojinetes de bolas radiales, se determina de acuerdo a las siguientes definiciones:

- 1) La carga estática" se define como la carga que actúa sobre un cojinete que no gira.
- 2) Bajo la acción de cargas estáticas de magnitud moderada aparecen deformaciones permanentes en las bolas y en los anillos de rodadura, que aumentan gradualmente cuando la carga disminuye. Por consiguiente, la carga estática permisible depende de la magnitud permisible de la deformación permanente.

En ciertas aplicaciones, donde la rotación del cojinete es lenta y los requerimientos de lisura y rozamiento no son demasiado exactos, se puede permitir una deformación permanente - mucho mayor.

Con el fin de establecer capacidades comparativas, la "capacidad de base estática" se define como la carga estática radial que corresponde a una deformación permanente total de -- 0.0001 del diámetro de las bolas, que se produce

ce en la bola más cargada y en los puntos de con  
tacto de los anillos de rodadura con ésta.

- 3) La "carga estática equivalente" se define como la carga estática radial que si se aplica, produce la misma deformación permanente total en la bola más cargada y en los puntos de contacto de los anillos con ésta, que causaría la condición real de carga.

#### CAPACIDAD DINAMICA

La capacidad dinámica de un cojinete se base en la resistencia a la fatiga del material, que contrasta con la capacidad estática que se basa en la deformación per  
manente. Es importante observar que, en general, un co  
jinete que gira a baja velocidad tiene una capacidad -- normal más alta que la capacidad normal estática, ya -- que la deformación permanente que tiene lugar se distri  
buye más uniformemente, en consecuencia, con rotación - se puede tolerar una mayor cantidad de deformación permanente.

La duración de un cojinete puede definirse en función de las horas de rotación a cierta velocidad o bien en función del número de revoluciones.

## SELECCION DE UN COJINETE

Digamos unas palabras de advertencia con respecto a la selección de un cojinete. Como todos los fabricantes de cojinetes interpretan sus propios datos de una manera diferente y emplean diferentes bases de clasificación es necesario, que el diseñador esté completamente familiarizado con los procedimientos descritos en el catálogo que está utilizando.

$$\text{Duración deseada} = \left[ (3800 \text{ hr}) \left[ \frac{1000 \text{ rpm}}{N} \right] \right]$$

( en horas )

$$\left[ \frac{\text{capacidad según catálogo a}}{\frac{1000 \text{ rpm, lb}}{F}} \right]^4$$

donde N esta expresada en rpm

y F es la carga real, en lb

## INSTALACION DE COJINETES

Tiene muchas variaciones. El diseñador debe afrontar, generalmente, el problema de seleccionar una de -- las muchas posibles variaciones, tomando en cuenta el -- costo, la facilidad de montaje y desmontaje, la confiabilidad y el ajuste. No existen reglas fijas para de-- terminar el tipo específico de cojinetes que de debe em

plear en una aplicación dada o en un tipo de montaje.

#### R E F E R E N C I A S

- 1.- "Design of Machine Elements" - Virgil Morine Faired  
Fourth Edition - Edition by Mac Millan Company.
- 2.- "Design of Machines" - Rolland T. Hinkle - Prentice  
- Hall, Inc.
- 3.- "Diseño de Maquinas" - Hall, Holowenco, Laughlin -  
Mc Graw Hill.

## Capítulo 2

# Motores de C.A.

---

Los motores de corriente alterna se dividen en dos grandes grupos:

- 1) Sincronos
- 2) Asíncronos o de Inducción

A su vez, los asíncronos o de inducción se dividen en motores tipo jaula de ardilla y motores de anillos rozantes, también conocidos como de rotor devanado.

### 2.1 MOTORES DE INDUCCION

El motor de jaula de ardilla es considerado como motor de velocidad constante. El de anillos rozantes es-

de velocidad variable. Los motores de inducción polifásicos se pueden conectar en forma directa. La desventaja consiste en que al arrancar el motor absorben una excesiva corriente, especialmente cuando lo hacen con carga, dicha corriente de arranque llega a ser hasta de cuatro veces la corriente de placa o de plena carga.

## 2.2. MOTORES DE JAULA DE ARDILLA

Son los de uso común, y son recomendables cuando se requiere de una velocidad constante, después de un par de arranque.

## 2.3 MOTORES DE ANILLOS ROZANTES

A pesar de tener un alto par de arranque, toman en ese instante poca corriente de la línea, por esta razón, se recomienda sean usados para cuando la carga inicial es intensa y en motores grandes cuando el efecto de una corriente de arranque y un alto factor de potencia son deseables. Una vez teniendo los datos anteriores, hay que tener presente que todos los motores eléctricos traen de fábrica sus características completas grabadas en una placa metálica pegada a la carcasa, a dichas características se les conoce técnicamente como "Datos de Placa", en lo que se indica marca y nombre del fa--

bricante, potencia, corriente, tensión, velocidad, potencia, etc.

#### 2.4 CALCULO DE CORRIENTE EN MOTORES DE A.C.

Para el cálculo de la corriente de los motores eléctricos se disponen de formulas directas.

#### F O R M U L A S

##### Monofásicos

$$I = \frac{H.P. \times 746}{E_n \times N \times f.p.} \dots\dots\dots ( 1 )$$

$$I = \frac{W}{E_n \times f.p.} \dots\dots\dots ( 2 )$$

##### Trifásicos

$$I = \frac{H.P. \times 746}{\sqrt{3} E_f \times N \times f.p.} \dots\dots\dots ( 1 )$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E_f \times f.p.} \dots\dots\dots ( 2 )$$

POTENCIA INDICADA	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD MOTORES	
	H. P.	MONOFASICO (WATTS)
1/20	60	
1/16	80	
1/8	150	
1/6	202	
1/4	293	264
1/3	395	355
0.50	527	507
0.75	780	740
1.00	993	953
1.50	1480	1418
2.00	1935	1844
2.50	2390	2290
3.00	2766	2726
5.00		4490
7.00		6293
7.50		6577
10.00		8674
15.00		12860
20.00		16953
25.00		21188
30.00		24725
40.00		32609
50.00		40756

RENDIMIENTOS PROMEDIOS CONSIDERADOS  
 MINIMO 85.85%                      MAXIMO 89.96%

NOTA: Para motores de más de 50 H.P. multiplicar por  
 800 watts para obtener la carga a considerar.

TABLA No. I      EQUIVALENCIAS DE MOTORES ELECTRICOS

$$I = \sqrt{3} E_f \times I \times f.p. \dots\dots\dots( 3 )$$

En donde :

- I : Corriente en Amperes
- EN : Tensión en volts entre fase y neutro
- ef : Tensión en volts entre fases
- Fp : Factor de potencia, expresado en décimos
- N : Eficiencia del motor
- W : Total de watts que toman los motores de la línea  
( Ver tabla anexa No.I )

## 2.5 MOTORES DE CONDENSADOR

Los mototes de condensador trabajan con corriente alterna y se construyen para potencias desde 1/20 de HP. hasta 10 HP. Su empleo se ha generalizado para el accionamiento de refrigeradores, compresores, quemadores de aceite y máquinas de lavar ropa, por citar algunos. Esta clase de motores constan de cuatro partes principales, a saber; una parte giratoria llamada "rotor", - una fija llamada " estator", dos "escudos o tapas", fijos a la carcaza mediante tornillos y tuercas y , finalmente un interruptor centrífugo dispuesto en el interior del motor. El condensador se cita como parte adicional, éste conectado en serie con el arrollamiento de --

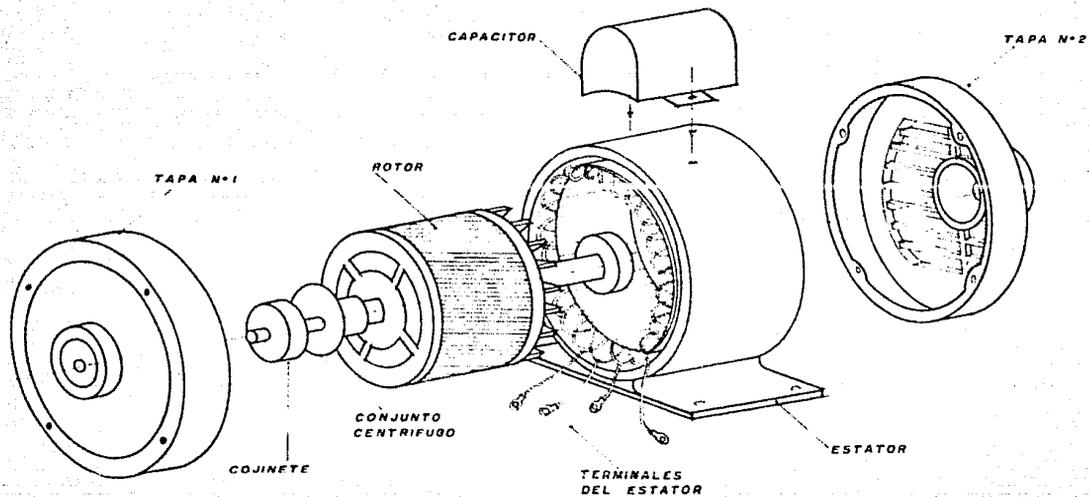


FIGURA 2.1 Partes Mecánicas v Electricas del Motor

arranque o auxiliar. Este condensador va generalmente montado sobre el motor, tal como se indica en la figura 2.1; se acostumbra también a disponerlo a un lado o en el interior de la carcasa. El motor con condensador -- produce mayor par de arranque y absorbe menos corriente que el motor de "fase partida" (mismas características que el del condensador exceptuando éste); se alimenta, generalmente, con corriente monofásica de luz o fuerza.

#### 2.5.1 PARTES ELECTRICAS Y MECANICAS DEL MOTOR

##### ROTOR

El rotor, como por ejemplo el ilustrado en la figura 2.1, consta de tres elementos esenciales. Uno de estos es un paquete de laminas o chapas de hierro, de calidad especial, que constituye el núcleo. El segundo elemento es el eje sobre el que ca dispuesto el núcleo a presión. El tercer elemento es el devanado en cortocircuito mediante dos aros de cobre, uno a cada extremo del núcleo. En ciertos tipos de motores el rotor lleva un arrollamiento de una pieza, de aluminio fundido. De este tipo es el rotor representando en la figura 2.1.

##### ESTATOR

El estator de un motor se compone de un núcleo de chapas con ranuras semicerradas, una armadura de fundi-

ción o "carcaza" donde van montadas las chapas a presión, y dos arrollamientos de conductor de cobre aislado, dispuestos en las ranuras, llamados "arrollamientos de régimen y arrollamientos de arranque". En la figura 2.1 se representa un estator, y en la 2.2 un esquema de los dos citados arrollamientos. Al arrancar el motor, ambos arrollamientos se hallan conectados a la red de alimentación, pero una vez alcanzada cierta velocidad, el arrollamiento de arranque queda automáticamente desconectado mediante el interruptor centrífugo, que como ya se dijo, va montado en el interior del motor.

#### ESCUDOS O TAPAS

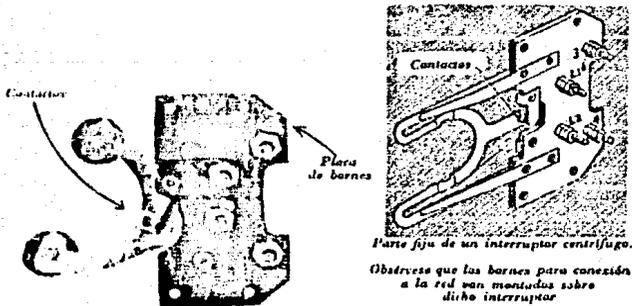
Los escudos, representados en la figura 2.1, van sujetos a la carcaza mediante tornillos o tuercas y sirven principalmente para mantener el rotor en posición adecuada. Cada escudo lleva practicado un orificio para el cojinete, ya sea de bolas o de fricción, donde descansa el eje del rotor. La misión de los cojinetes, uno de cada escudo, es la de mantener el rotor bien centrado a fin de que no roce con el estator y además reducir el rozamiento al mínimo.

#### INTERRUPTOR CENTRIFUGO

El interruptor centrífugo va montado en el interior



FIGURA 2.2 Arrollamientos del Estator de un Motor



Las partes fijas de un tipo de interruptor centrífugo, consistente en una horquilla o pieza en U montada sobre una placa de bornes.

FIGURA 2.3 Parte Fija del Interruptor Centrífugo

del motor. Su función es la de desconectar el arrollamiento de arranque en cuanto el rotor ha alcanzado una velocidad prevista. El tipo más corriente consta de -- dos partes principales, una fija, que se representa en la figura 2.3 y otra giratoria. La parte fija se halla junto al escudo frontal del motor y lleva dos contactos , siendo su funcionamiento análogo al de un interruptor unipolar corriente. La parte giratoria o móvil va dispuesta sobre el rotor, tal como indica la figura 2.4.

El funcionamiento de un interruptor centrífugo puede explicarse del modo siguiente: cuando el motor se - halla en reposo (fig.2.5), se cierran los dos contactos de la parte fija del interruptor centrífugo debido a la presión que la parte móvil ejerce sobre ellos. Al alcanzar, aproximadamente, los  $3/4$  de la velocidad de régimen, la parte giratoria deja de presionar sobre los - citados contactos, quedando así automáticamente desconectado el arrollamiento de arranque de la red de alimentación.

Hay también otro tipo de interruptor centrífugo, de empleo frecuente, en el que la parte fija consta de dos segmentos semicirculares de cobre, montados en la parte interior del escudo frontal y aislados uno de el otro. La parte rotativa consiste en tres dedos de cobre que -

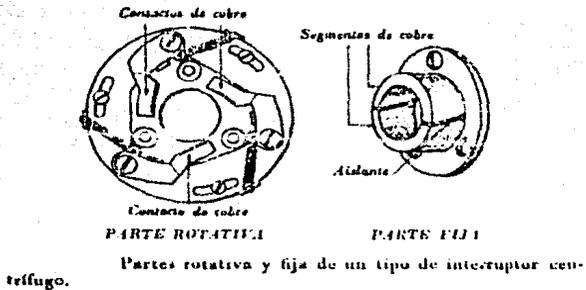


FIGURA 2.4 Mecanismo Rotativo del Interruptor Centrifugo.

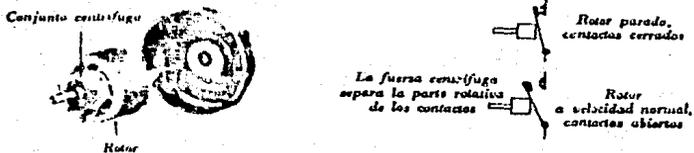


FIGURA 2.5 Dos Fases del funcionamiento de un interruptor Centrifugo.

se deslizan por los segmentos fijos cuando el motor se encuentra en período de arranque. Este tipo de interruptor se representa en la figura 2.5 . Durante el arranque los sitados dedos ponen en corto circuito los segmentos, quedando así conectado el arrollamiento de arranque a la red. Al alcanzar aproximadamente el 75% de la velocidad de régimen. por efecto de la fuerza centrífuga , los dedos se separan de los segmentos, quedando desconectado el arrollamiento de arranque.

#### EL CONDENSADOR

El condensador actúa, en esencia, como un almacén de energía eléctrica. Todos los condensadores, cualquiera que sea su clase, poseen mayor o menor facultad de almacenaje, facultad que viene medida por la capacidad. Eléctricamente todos los condensadores son similares, - diferenciándose únicamente por su construcción mecánica.

- Condensadores con dielectrico de papel.
- Condensadores en aceite
- Condensadores electrolíticos

#### CAPACIDAD

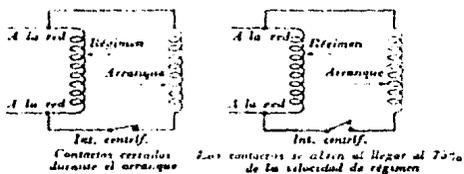
La capacidad de un condensador se mide en microfara

dios ( u F ). Un condensador puede ser de 10 ó 150 u F, según su tamaño y tipo. Por el uso prolongado ir por ca lentamientos excesivos, un condensador puede perder capa cidad; en tal caso deberá ser substituido por otro nuevo , ya que de no ser así el motor no tendría el par de ar ranque adecuado. En muchos motores se utiliza el condensador únicamente como elemento de arranque y por tal motivo se denomina " condensador de arranque ". En otros tipos de motores el condensador se emplea durante el -- arranque y continua luego trabajando durante la marcha. A esta clase se les llama " condensadores de arranque y régimen " .

#### 2.5.2 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

En la figura 2.6 se representa el circuito de un motor con condensador de arranque. Durante el arranque, - los arrollamiento de régimen y de arranque van conectados en paralelo a la red, pues el interruptor centrífugo permanece cerrado. El segundo arrollamiento se halla conectado en serie con el condensador y el interruptor.

Al alcanzar el motor el 75% de la velocidad de régimen, el interruptor centrífugo se abre y desconecta el arrollamiento de arranque y el condensador, funcionando el motor únicamente con el arrollamiento de régimen.

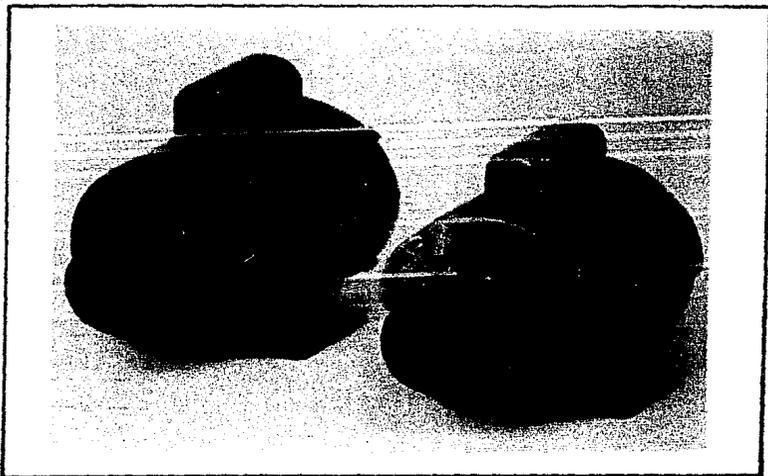


Modificación que introduce un interruptor centrifugo en el circuito de un motor.

Contactos cerrados durante el arranque

Los contactos se abren al llegar al 75% de la velocidad de régimen.

FIGURA 2.6 Circuito de un Motor con Condensador de Arranque.



DOS TIPOS DE MOTORES DE CONDENSADOR

Para producir en un motor de éste tipo un par de -- arranque, hay que crear en su interior un campo magnético giratorio. Esto se consigue defasando las corrientes que circulan por los dos arrollamientos en  $90^\circ$  eléctricos. El condensador se utiliza para que la corriente en el arrollamiento de arranque alcance su valor máximo antes de que la que circula por el arrollamiento de régimen sea máxima. En resumen, el condensador efectúa el defasaje entre ambas corrientes, produciéndose así un campo magnético giratorio en el estator que a su vez induce una corriente en arrollamiento del rotor y como consecuencia el movimiento de este último.

### 2.5.3 ARROLLAMIENTOS

El tipo más usual de motor con condensador de arranque lleva dos arrollamientos en el estator; uno de régimen y otro de arranque. El arrollamiento de régimen va siempre alojado en el fondo de las ranuras y el de arranque encima de aquel, pero corrido a  $90^\circ$  grados eléctricos; o sea, cada polo de arranque va dispuesto entre dos polos de régimen. Si se examina el arrollamiento de arranque de un motor con condensador de arranque, se observará que en general el hilo empleado es de sección al go menor que el del arrollamiento de régimen.

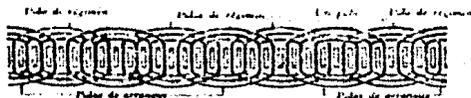
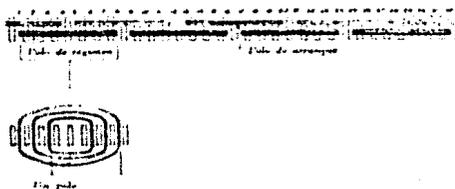
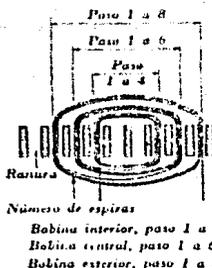


Diagrama del estator de la figura 23 con sus ranuras y bobinas, tal como aparecería des-arrrollándolo sobre una superficie plana. Cada polo del enrollamiento de arranque se encuentra entre dos polos del enrollamiento de régimen.



Cada polo consta de tres bobinas, y cada bobina va alojada en dos ranuras separadas por otras.

Paso de las tres bobinas que forman un polo.



Sistema para representar los pasos de las bobinas en un motor tetrapolar de 32 ranuras. El número de espigas en cada bobina puede también consignarse en el diagrama.

## Capítulo 3

# Control de Fase de C.A.

---

### 3.1 PRINCIPIOS DEL CONTROL DE FASE.

" El control de fase " es el proceso de switcheo rápido de ON - OFF con el cual se controla una fracción - de cada ciclo conectado a una fuente de poder o a una carga.

Este es un control de alta eficiencia por medio del cual la potencia promedio es controlada para poder ser suministrada a la carga, que se puede considerar en muchos casos como, lámparas, ventiladores, motores, fuentes de poder de D.C., etc. El control es resultado de la gobernación de el ángulo de fase de la señal de A.C. , por medio del disparo del Thyristor. El thyristor --

tendrá conducción cada medio ciclo, dependiendo del tipo de control y de las necesidades que se requieran.

Existen muchas formas posibles de control de fase con el thyristor como se observa en las figuras 3.1. El simple control de media onda de la figura 3.1.a. Se usa un SCR para el control de riujo de corriente en una dirección solamente. Este circuito es usado para cargas que requieren un control de potencia desde 0 a 1/2-ciclo se observa que tiene componentes de corriente directa. La adición de un rectificador, (fig. 3.1.b) provee un medio ciclo mezclado de potencia con el cual tendremos control mínimo de potencia media hasta plena potencia con una fuerte componente de D.C. a media potencia.

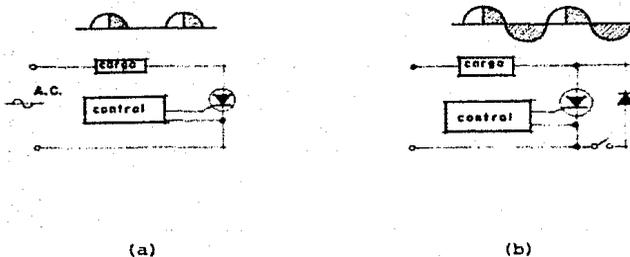


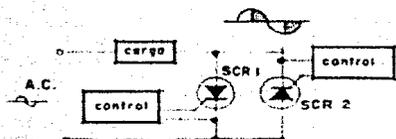
FIGURA 3.1 (a) Control de media onda. (b) Control de media onda y suma de media onda.

El uso de dos SCR's, figura 3.1.c controla desde cero a plena potencia y requiere dos señales de disparo aisladas para el circuito de control de la señal, la señal tiene que ser simétrica con la cual se evitará las componentes de D.C.

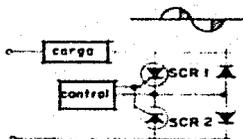
Una forma de control alterna de onda completa es como se ob--serva en la figura 3.1.d. Este circuito tiene la ventaja de que - el catodo es común para ambos disparos de control del gate, sin embargo el uso de los rectificadores previniendo un voltaje de reverusa provocando una caída en los SCR's con lo cual se reduce la efi--ciencia del circuito.

El circuito mas flexible, figura 3.1.e. usa un SCR dentro de un puente rectificador y puede ser usado para el control de A.C. - u onda completa rectificada de D.C. La pérdida en los rectifica--dores nuevamente nos presenta un problema en la conmutación algu--nas veces, se considera como pérdida menor pero aún esta presente.

Sin duda alguna el circuito mas eficiente y sin riesgo de pér--didas lo considera el de la figura 3.1.f compuesto por un thyris--tor bidireccional ( triac ), por medio del cual es mas eficiente - el control de fase de la potencia de A.C., y solo usando un circuito de control de disparo del gate, el cual mantendrá el control --tanto en el medio ciclo positivo como en el medio ciclo negativo.



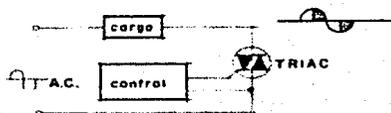
(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURA 3.1 (c) control de media onda (d) control de onda completa (e) control de onda completa (f) control de onda completa para A.C. o D.C.

### 3.2 ANALISIS DE CONTROL DE FASE

La capacidad n6minal de SCR's y rectificadores es determinada en terminos de corriente promedio y facil comprobarlo con un ampe

rimetro de D.C. Las cargas de A.C. son mas aplicables con el RMS, o valor de corriente efectivo, asi tenemos que la capacidad nominal de un triac es definida en términos de corriente RMS.

La figura 3.2 muestra la relación como función de ángulo de fase ( $\alpha$ ), momento de encendido, promedio, RMS, y voltaje de pico de la potencia en una carga resistiva. Puesto que el thyristor es un switch por medio del cual se aplicará el voltaje a la carga, el valor de la corriente dependerá de la impedancia de la carga.

Ejemplo: si es usado un triac la corriente RMS podrá ser de 10 amperes con un ángulo de conducción de  $67^\circ$  en cada medio ciclo, para un ángulo total de conducción de  $113^\circ$ . Esto corresponde a dos SCR's en conexión inversa paralela o un SCR y cuatro diodos en un puente de diodos, pero el triac reduce la potencia de los componentes en uno solo, de ahí que se decida por el manejo de un triac para el caso de control de fase, en nuestro caso esto es conveniente pues sin duda alguna nos lleva a economizar el circuito y a hacerlo mas eficiente.

Una particular importancia en el análisis de esta carta es la no linealidad de estas curvas. La primera esta  $30^\circ$  después de cada medio ciclo contribuye solo al 6% ( 1.5% cada una ) de el total de la potencia en cada ciclo. Consecuentemente, un disparo tiene un rango de  $30^\circ$  a  $150^\circ$  lo cual produce un control de la potencia — desde el 3% a 97% a plena potencia, excluyendo el voltaje de gata- ( drop ) en el semiconductor.

## AC PHASE CONTROL

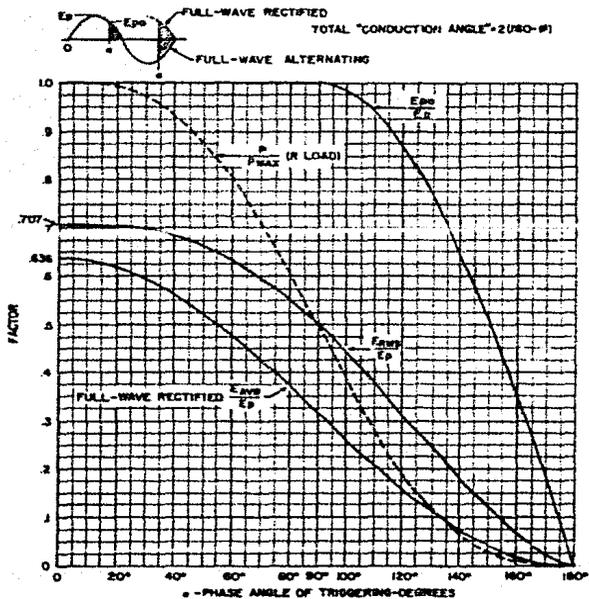


FIGURA 3.2 Carta de análisis simétrico de onda completa.

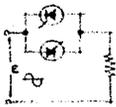
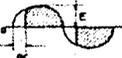
CIRCUITO (ACI)		FORMAS DE ONDA DE LA CARGA	VOLTAJE POSITIVO EN SCR	VOLTAJE PICO NEGATIVO	MAX. VOL. CARGA	VOLT. DE CARGA RETARDO DE DISPARO VS. ANGULO $\alpha$	ANGULO DE DISPARO DESDE ON A OFF	MAX. ESTADO DE CORRIENTE ESTABLE EN SCR	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DEL VOLTAJE DE CARGA (f = frecuencia de alimentación)
NOMBRE	CONEXIONES			ON SCR	ON SCR			VALOR-AC	
TRIAC o SCR'S INVERSO PARALELO CON CARGA RESISTIVA			E	E	$E_m \frac{E}{E^2}$	$E \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{2}}$	180°	$\frac{E_m}{2.2 R}$ o $\frac{E}{\pi R}$	f

FIGURA 3.3 En esta figura se representa de mejor manera las ecuaciones de voltaje y corriente, así como de voltaje encendido y ángulo de conducción. Para cargas inductivas el voltaje y la corriente dependerán de  $WL/R$  así como de  $R$  y  $\omega$ .

### 3.2.1. CONTROL DE FASE DE CARGA INDUCTIVA DE A.C.

Si la carga a considerar es netamente inductiva se observaran las siguiente señales. Se observa que la forma de onda de la corriente decrece considerablemente. Y como se esperaba, este ablandamiento en la señal fué provocado por el decaimiento del factor de forma con lo cual el pico de la forma de onda sufrió una reducción y su duración se extendió.

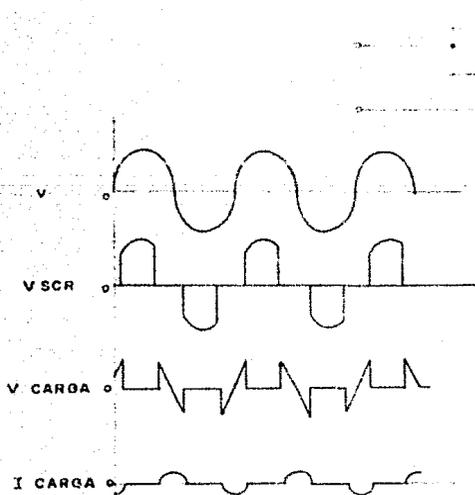


FIG. 3.4 Control de fase de onda completa carga inductiva.

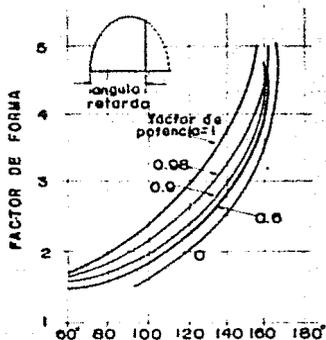


FIG. 3.5 Retardo de ángulo (grados).

### 3.3. CONMUTACION EN CIRCUITOS DE A.C.

La conmutación de thyristores en A.C. no es gran problema, debido a que se cuenta con el medio ciclo negativo que es suministrado por la fuente de poder, como nos podemos dar cuenta el ciclo negativo es favorable para el apagado del SCR.

Cabe hacer mención que en un circuito de D.C. es necesario -- que al mandar los impulsos de disparo al gate si se hacen con D.C. , será necesario dar un tiempo de encendido y uno de apagado para cada ciclo ( positivo y negativo ), este tipo de disparos son más comunes cuando se desea un control por frecuencia.

De esta forma nos encontramos con una gran ventaja al trabajar con disparos del gate por medio de A.C. ya que en cada ciclo -- con solo mandar un pulso el thyristor tendrá un tiempo de encendido y apagado ( ON - OFF ), el tiempo máximo de apagado será el momento en el cual finalice el ciclo ya sea positivo o negativo.

En algunos casos pueden presentarse problemas en la conmutación de A.C., como resultado de un insuficiente tiempo de OFF, o -- por un excesivo voltaje de gota (  $dv/dt$  ) en el principio o fin de cada ciclo. Esto se presenta como consecuencia del voltaje y frecuencia en la fuente de alimentación o como un problema de la inductancia de la carga. Son los principales factores determinantes para que ocurra esto. (  $dv/dt$  ).

Considerando el circuito que contiene el triac de la figura 3.6 con una carga inductiva, observamos que el momento en el cual sobre pasa el nivel cero el triac conduce y se produce la commutación — ( punto A ). El periodo de cambio de este voltaje es dependiente — de la inductancia y capacitancia de la carga del circuito, se considera como el tiempo de recuperación del thyristor, pués se puede observar que la commutación no ocurre en el mismo tiempo de la señal-de entrada ( fuente de alimentación ).

En algunos casos la transición es considerada como el resulta-do de el apagado de el triac,  $L di/dt$ , cuando la corriente de gota-es mantenida  $I_H$ , y se produce el sobre tiro. La implementación de un circuito RC en paralelo con el triac o con la carga, puede reducir el  $dv/dt$  o reducirlo en un límite aceptable. La magnitud de C. es determinada por la impedancia de la carga y la limitación del  $dv/dt$  en el triac. El valor de la resistencia estará en términos — de la oscilación en LC, con un valor mínimo determinado por el pico-repetitivo de la corriente en el triac, cuando el triac descarga el capacitor. En algunos casos este circuito RC es usado como medio — de protección, mismo que se observará en el diagrama que correspon-de al diseño del circuito en el capítulo 5 .

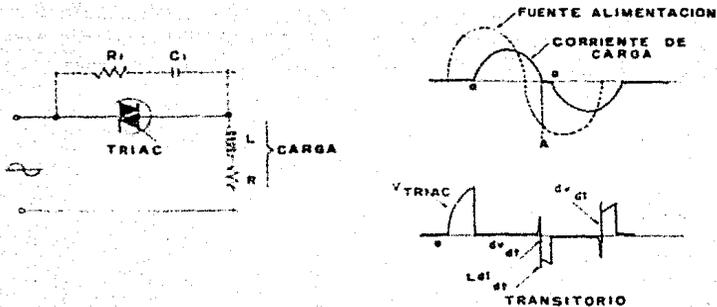


FIGURA 3.6 Supresión de  $dv/dt$  y transitorio para cargas inductivas.

### 3.4. METODO DE CONTROL DE MOTORES

El sistema de control provee al motor de una señal de ON o de una de OFF, sin dañar el motor, o manejar -- cualquier cosa a su conveniencia. En suma, el control de velocidad y el torque dependen del tipo de aplicación que se les desea dar.

## FORMAS MAS COMUNES

Las formas mas comunmente usadas para controlar motores son las que se muestran en las siguientes figuras. La primera figura tiene la particularidad de usar alta corriente, por medio de contactos mecánicos (polo sencillo) por medio del interruptor que se observa en la figura 3.7.a, podemos cambiar de ON a OFF. Este tipo de interruptores es montado directamente en la máquina y es controlado por un operador o por alguna otra máquina similar que realice dicha operación.

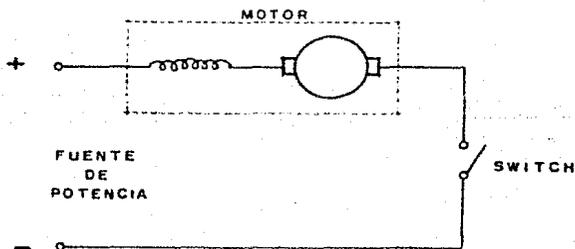


FIGURA 3.7.a Control directo por medio de un switch.

En la figura 3.7.b el circuito de potencia del motor es completado por un relevador de alta corriente entre sus contacto. La bobina del relevador requiere solo

una pequeña corriente para operar. Este esquema puede ser utilizado para operación remota, para evitar que la corriente no tenga que correr por largas distancias de los cables de distribución, entre el switch del control y el motor. Estos están provistos por un aislamiento de seguridad para operar el control del relevador y que este opere normalmente con una fuente de poder de 24 -- volts de A.C.

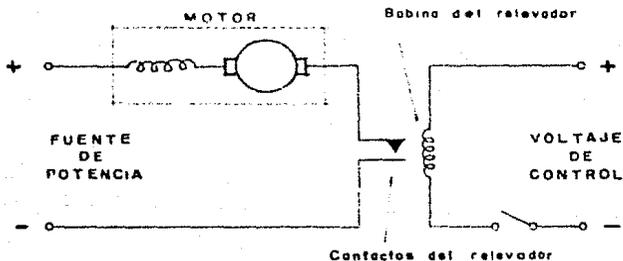


FIGURA 3.7.b Control por medio de relevador.

Otro circuito electrónico de control es similar al de la figura 3.7.c aquí la corriente del embobinado del relevador se suministra a través de un circuito de estado sólido llamado driver del relevador. La entrada del driver es normalmente una señal digital, para encenderlo (ON) con un "1", esta señal es del rango de 2.4 a 5 volts, y para apagarlo (OFF) con señal lógica "0" que -

esta en un rango de 0 a 0.8 volts. El driver de la figura 3.7.c produce una inversión de la señal lógica de entrada, si es un 1 producirá un 0 y viceversa.

Cuando esta encendido y tenga una señal lógica de "1" a la entrada, la corriente fluirá a través del driver esto a su vez producirá una salida por medio de la cual se energizará la bobina del relevador y de esta forma se cerraran los contactos que harán funcionar el motor. Cuando se presente una señal lógica "0" OFF la salida del driver mantendrá abierto el switch y la bobina no se energizará, esto a su vez, produce que el relevador no funcione permaneciendo sus contactos abiertos y como consecuencia el motor no funcione. La bobina del relevador almacena cierta carga cuando el relevador es energizado la carga almacenada produce un pulso de alto voltaje a través de la bobina, este voltaje puede dañar el driver del relevador y se puede evitar adicionando al circuito un supresor de voltaje de pico, que consiste usualmente de un diodo en paralelo con la bobina del relevador, como se puede apreciar en la figura siguiente. Se observa que la finalidad del diodo es que en caso de una corriente superior al lo que pueda soportar el embobinado del relevador el diodo protegerá a este embobinado.

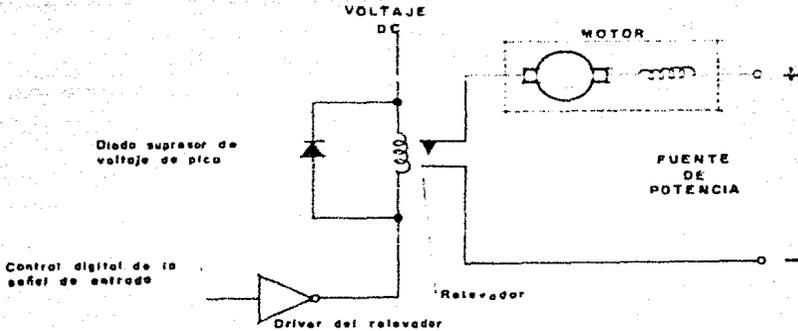


FIGURA 3.7.c Control electrónico

### 3.4.1 CONTROL ELECTRONICO POR MEDIO DE SCR'S.

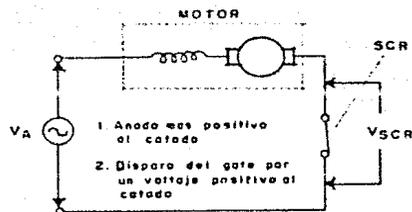
El control electrónico de alta corriente y alto voltaje comenzó con la manufactura de los semiconductores de estado sólido llamados rectificadores controlados de silicio (SCR, silicon controlled rectifier), es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga, para nuestro caso puede reemplazar directamente a los contactos-

del relevador o a los switches de contacto mecánico.

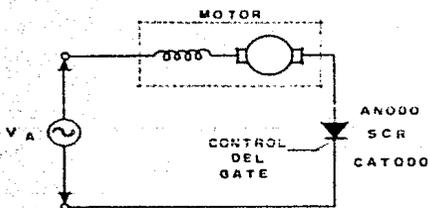
### 3.4.2 TEORIA Y OPERACION DE LOS SCR's.

En la figura 3.8.a tenemos conectado un SCR para -- controlar un motor de corriente alterna. El SCR toma - el lugar de los contactos del relevador de la figura an- terior 3.7.c, éste esta provisto de tres terminales, -- anodo, cátodo y gate. El SCR es un dispositivo que con- duce la corriente en un solo sentido (unidireccional), - cuando conduce corriente el anodo es más positivo que - el cátodo y esto produce un disparo (encendido) por un - voltaje en el gate, este voltaje es positivo con respec- to al cátodo. Esta condición (SCR ON) esta representa- da en la figura 3.8.b. Si esta condición no se cumple, el dispositivo actuará como un circuito abierto por el - cual no fluira corriente, esta condición es (SCR OFF) - como se ve en la figura 3.8.c. Esta operación es deta- llada en la figura 3.9.

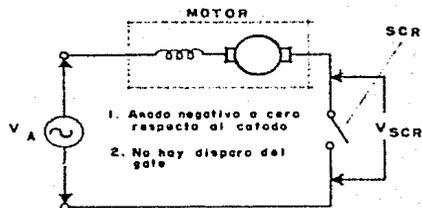
Como el voltaje de entrada aplicada en la figura -- 3.9.a es positivo, hace que el anodo del SCR sea positi- vo con respecto al catodo por lo tanto el SCR no condu- ce debido a que el voltaje no ha sido aplicado a el ga- te o puerta. Por consecuencia el SCR tiene alta resis- tencia yel voltaje aplicado al circuito aparecerá através del SCR como se muestra en la figura 3.9.d. Al mismo -



(b) SCR ON



(a) Circuito básico



(c) SCR OFF

FIGURA 3.8 Control Electrónico de un Motor de A.C., y su relación circuital entre la fuente de voltaje, un SCR y la carga.

tiempo un voltaje de pulso  $t_1$ , es aplicado al gate (normalmente su duración puede ser de un mínimo de 20  $\mu\text{seg.}$ ) , esto ocasiona que se produzca una corriente lo cual - tendrá como efecto que el SCR conduzca. el SCR es acti vado ON como efecto de baja resistencia para el flujo - de corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente, actúa como un interruptor cerrado. La corriente de flujo del circuito se representa en la figura 3.9.c.

Si el pulso de gate ocurre en el tiempo  $t_0$ , este - aparecerá retrasado hasta el tiempo de  $t_1$ , el SCR condu cirá y la corriente de carga fluirá por el medio ciclo - positivo del voltaje aplicado. del cualquier forma como el SCR es puesto en conducción hasta  $t_1$ , el flujo de la corriente de carga solo partirá por el medio ciclo - positivo como se ve en la figura 3.9.c, si el SCR no es disparado hasta un tiempo  $t_3$ , entonces la corriente de - carga fluirá solo por muy poca porción del medio ciclo - positivo. el promedio distribuido de potencia podrá -- ser absolutamente bajo comparado a la potencia suminis trada si el SCR es disparado desde el tiempo  $t_0$ . De es ta forma es como se lleva a cabo el control de la poten cia en la electrónica del SCR. Cuando se aplique el -- voltaje de la figura 3.9.a y se llega a 0 en ese momen - to entra la parte alterna negativa, el voltaje del ano - do del SCR caera a 0 y entonces será positivo con res--

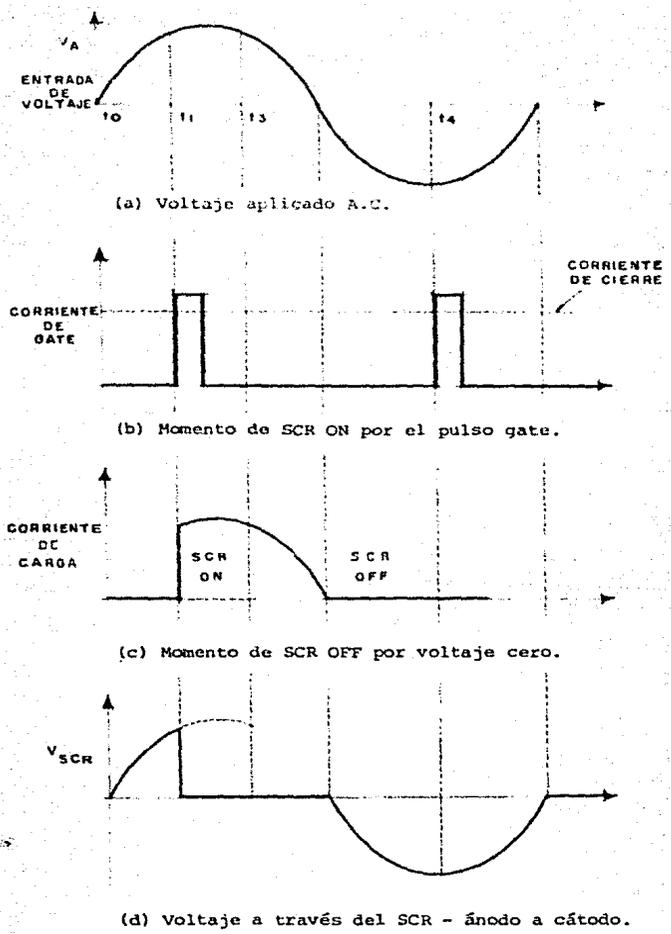


FIGURA 3.9 Digrama de tiempo de operación del SCR.

pecto al cátodo. Una corriente mínima se hará presente, se le llama corriente de mantenimiento, fluirá en el SCR para mantener durante poco tiempo encendido ON el SCR después de que este es disparado. Cuando el voltaje aplicado llega a 0 el SCR es puesto en ON, si la corriente de mantenimiento no es lo suficientemente grande, el SCR se apagará OFF se tendrá alta resistencia y no habrá corriente que fluya a través de él, por consiguiente no hay corriente en la carga, figura 3.9.c y el voltaje aplicado se representará en el SCR como se ve en la figura 3.9.d. Además la corriente de carga no fluirá hasta que el ánodo del SCR sea positivo y sea disparado con una corriente de gate suficientemente grande (voltaje gate acátodo  $V_{GK} = 0.6$  a  $0.8$  V y corriente de gate  $I_G = 0.1$  a  $20$  mA, necesarios para cerrar un SCR.

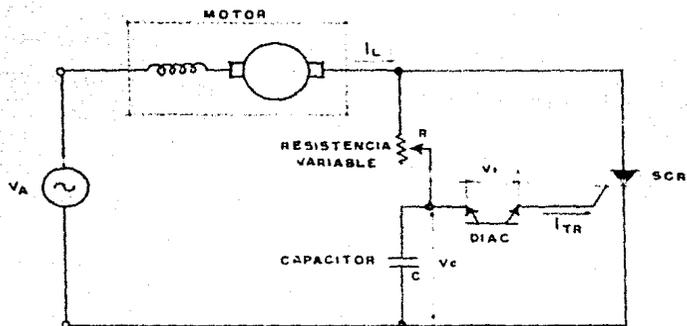
Una vez cerrado el SCR, no es necesario que continúe fluyendo corriente por el gate. El SCR permanece ON por el tiempo que fluya corriente a través de sus terminales principales, de ánodo a cátodo. Cuando la corriente de ánodo a cátodo ( $I_A$ ) caiga por debajo de algún valor mínimo, denominada corriente de mantenimiento, simbolizada por  $I_{HO}$ , el SCR se OFF. Esto generalmente ocurre cuando el voltaje de A.C. de alimentación pasa por 0 hacia su zona negativa. Para la mayoría de --

los SCR's de mediana potencia, IHO es del orden de 10 mA.

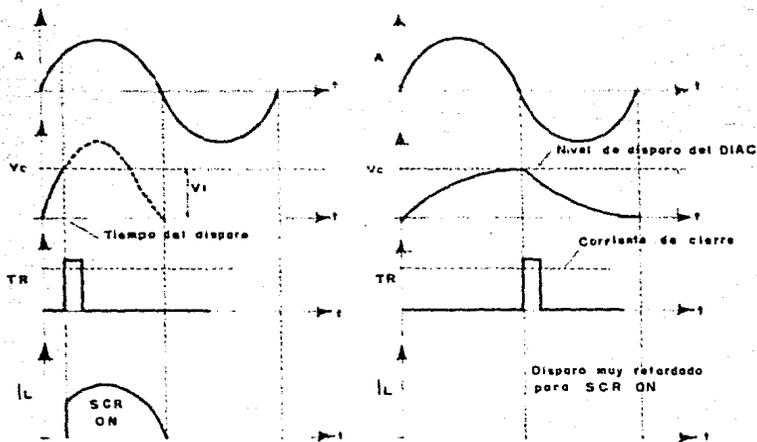
#### 3.4.2.1 EJEMPLO DEL CIRCUITO DE CONTROL DEL SCR

Un circuito de control básico para controlar motores de inducción de una fase, basada en resistencia-capacidad (RC) constante de tiempo, se ve en la figura 3.10.a. Un SCR controla la corriente de carga a través del motor. El tiempo de disparo es controlado por un potenciómetro, un capacitor y un dispositivo de estado-sólido llamado DIAC. Un DIAC es semejante a un diodo-zener. Este puede tener un voltaje de ruptura determinado para poder conducir. La diferencia con el zener, es que éste solo conduce en una dirección, y el DIAC -- conduce en ambas direcciones, en otras palabras se puede decir que no tiene polaridad. Como resultado este es un dispositivo importante para establecer el voltaje de ruptura en un circuito de A.C.

Esencialmente este actúa con un voltaje constante  $V_1$ , en serie con el gate del SCR para establecer un disparo en el umbral para el SCR. El diac no conducirá -- hasta que la constante de voltaje  $V_1$  es excedida; por lo tanto, el SCR no podrá ser disparado hasta que  $V_c$  exceda a  $V_1$ .



(a) Circuito de control



(b) Resistencia pequeña

(c) Resistencia alta

FIGURA 3.10 Control del motor por medio de la constante R.C.

El SCR no conducirá hasta que sea disparado por una corriente  $I_{TR}$ , como se ve en la figura 3.10.a mayor que la corriente de cierre. Cuando el voltaje a través del capacitor  $V_c$  exceda a  $V_1$  (voltaje del diac) y se presente una corriente  $I_{TR}$ , el SCR es activado y se conseguirá una baja resistencia lo cual se reflejara en una corriente  $I_L$ , (corriente de carga), que fluye a través del motor. La secuencia de eventos se puede observar en la figura 3.10.b.

El voltaje del capacitor  $V_c$ , se incrementa, esto -- determinado por la constante de tiempo  $RC$  de la resistencia variable  $R$ , y el capacitor  $C$  en la carga del circuito. La constante de tiempo es el producto de la resistencia en ohms, y el capacitor en faradios. En este circuito el valor de la capacitancia es fija, por lo -- que la constante de tiempo  $RC$  es variada por el ajuste de la resistencia variable que tiende a cambiar su valor de resistencia. Si la resistencia es pequeña, el capacitor se carga rapidamente y el  $V_c$  se presentará suficiente para encender el SCR. Si la resistencia es alta tomará más tiempo cargar el capacitor, lo suficiente para llegar al nivel de disparo. En la figura 3.10.b -- la resistencia es pequeña, el levantamiento de  $V_c$  es rápido y el SCR se enciende muy cerca del principio del ciclo alterno del voltaje aplicado. En la figura 3.10.c

la resistencia es grande, la carga o levantamiento del capacitor es lenta, y el SCR nunca es encendido porque el voltaje a través del SCR es cero, o sea que nunca se cierra, cuando la corriente de flujo gate sea suministrada, no podrá ser mantenida y por lo tanto el SCR no se encenderá.

La velocidad y el torque pueden ser controlados por medio de la variación de la corriente de carga (IL), entre los límites de la figura 3.10.b y 3.10.c. los pulsos de corriente ocurren cada medio ciclo son iguales y representan el valor promedio de la corriente en el motor. Como resultado la velocidad del motor es controlada por medio de la variación de la resistencia variable de la figura 3.10.a, ya sea manual o automáticamente. siempre manteniendo como principio la constante de carga del capacitor en función del circuito RC.

#### R E F E R E N C I A S

- 1.- "Scr Manual Sixth Edition" - D. R. Grafham, F. B. Golden - General Electric 1979.
- 2.- "Using The Triac for Control of Ac Power" - J. H. Galloway - General Electric.
- 3.- " Phase Control of SCR'S with Transformer and Other Inductive Ac Loads" - F. W. Cutzwiller, J. D. Meng - General Electric.

## Capítulo 4

# Regulación de la Velocidad del Motor de Inducción con Frecuencia Estatorica Fija

---

Existen dos posibilidades:

- Regulación de la tensión estatórica (motores de jaula)
- Regulación de la corriente rotórica (motores de anillos)

### 4.1 REGULACION DE LA TENSION ESTATORICA.

En la actualidad es posible regular de forma continua, sin caída de tensión notable, la tensión estatórica de un motor asíncrono, lo que permite ajustar su conexión y obtener de esta forma la regulación de la velo

cidad del mismo. Esta regulación se obtiene mediante - convertidores alterna - alterna con tiristores, convertidores que denominaremos "reguladores de corriente alterna".

#### 4.1.1 PRINCIPIO DEL REGULADOR DE CORRIENTE ALTERNA. ESTUDIO CON CARGA RESISTIVA MONOFASICA.

El regulador de corriente alterna es un interruptor estático constituido por dos tiristores en antiparalelo figura 4.1.a, si la potencia a controlar es elevada o - por un simple triac figura 4.1.b, si la potencia controlada es pequeña. Cuando se envía un impulso a la puerta de uno de los tiristores, este se pone a conducir -- (interruptor cerrado) si la tensión aplicada entre ánodo y cátodo es positiva. Luego se bloquea (interruptor abierto) cuando la corriente que atraviesa el tiristor se anula.

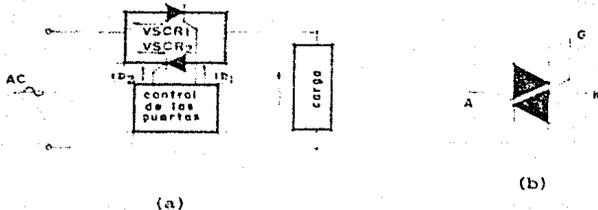


FIGURA 4.1 Representación esquemática del triac.

En la práctica se emplean dos modos de control:

a) Control por "todo o nada"

Este control consiste en aplicar a la carga, de forma cíclica, trenes de ondas completas de la tensión de la red. Este procedimiento, en general, se reserva a las cargas resistivas con inercia térmica.

b) Control por "control de fase"

En este caso para realizar la regulación el cierre de los tiristores se retarda cierto ángulo. Se envía el impulso de cebado (cierre) a la puerta del primer tiristor con un retardo  $t_0 = \alpha/\omega$ , y luego se envía el impulso a la puerta del segundo tiristor con el mismo retardo, es decir:

$$t_0 + T/2 = (\alpha + \pi) / \omega$$

La forma de la corriente que atraviesa la carga depende de la naturaleza de la misma, siendo el caso más sencillo de estudiar el de aquella carga asimilable a una resistencia pura figura 4.2.a. Tenemos:

$$e = E_M \sin \theta = R_i + E$$

La caída de tensión en el tiristor ( $E=lv$ ), en gene-

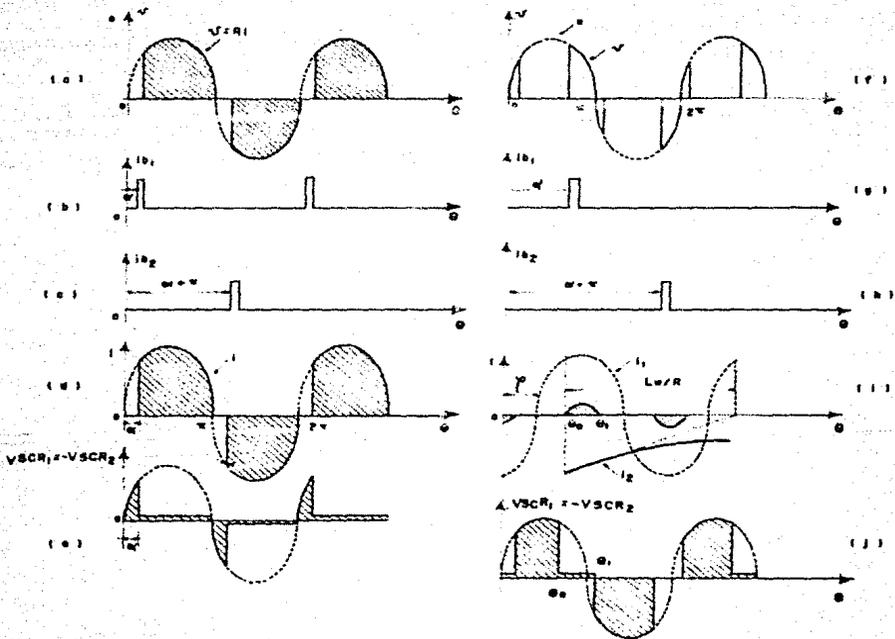


FIGURA 4.2 Regulador de corriente alterna monofásico

ral, es despreciable con relación a la tensión aplicada ( $E_M$  = varias centenas de voltios); por consiguiente:

$$i = \frac{E_M \operatorname{sen} \theta}{R}$$

De ahí se deduce la forma de la corriente (fig.4.2.-d). Ahora resulta fácil calcular el valor eficaz  $I$  de la corriente, que será:

$$\begin{aligned} I^2 &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{E_M^2}{R^2} \operatorname{sen}^2 \theta \, d\theta = \frac{E_M^2}{2\pi R^2} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\theta) \, d\theta \\ &= \frac{E_M^2}{2R^2} \left( \theta - \frac{1}{2} \operatorname{sen} 2\theta \right) \Big|_{\alpha}^{\pi} = \frac{E_M^2}{R^2} \left( \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\operatorname{sen} 2\alpha}{4\pi} \right) \end{aligned}$$

Es interesante comparar esta intensidad con el valor  $I = E/R$  que se obtendría uniendo directamente la fuente con la carga. Como  $E_M = E\sqrt{2}$ , resulta.

$$I = \frac{E}{R} \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\operatorname{sen} 2\alpha}{2\pi} \right)^{1/2}$$

Variando  $\alpha$  desde cero a  $\pi$ , se hace variar la intensidad eficaz de su valor mínimo ( $E/R$ ) hasta cero.

Conociendo la forma de la corriente, se deduce la de la tensión "v" en bornes de la carga y de la tensión en bornes de los tiristores. Para estas curvas es inte

resante tener en cuenta la caída de tensión  $E$  en un tiristor cuando conduce.

De este estudio resulta que este tipo de convertidores es un variador de corriente alterna. De esta forma es posible disponer de los bornes de una carga, una carga de valor eficaz regulable.

#### 4.1.2 CARGA MONOFASICA RESISTIVA E INDUCTIVA.

El estudio teorico es mucho mas complejo que en el caso precedente ya que debe tenerse en cuenta el desfase del impulso de control con relación al argumento de la carga (  $\tan \varphi = Lw/R$  siendo  $R$  y  $L$  respectivamente la resistencia y la inductancia de la carga ). Supongamos que el cebado sucede con retardo comprendido entre  $0$  y  $\pi$ .

El primer tiristor  $SCR_1$  empieza a conducir para  $\theta_1 = \omega t_1 = \alpha$ . A partir de este instante, tenemos:

$$E_M \sin \theta = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\text{Es decir: } i = \frac{E_M}{Z} \sin (\theta - \varphi) = A \exp. (-R\theta / Lw)$$

$$\text{Con } \tan \varphi = Lw/R \quad \text{y} \quad Z = (R^2 / L^2 w^2)^{1/2}$$

La constante de integración A se determina con las condiciones iniciales (  $i = 0$  para  $\theta = \alpha$  ) ya que debido a la inductancia, la intensidad no puede crecer bruscamente, por tanto:

$$A = \frac{E_M}{Z} \operatorname{sen} (\alpha - \gamma)$$

con lo que resulta:

$$i = \frac{E_M}{Z} \operatorname{sen} (\theta - \gamma) - \frac{E_M}{Z} \operatorname{sen} (\alpha - \gamma) \exp /-(R\theta/LW)$$

Como podía esperarse, cuando la corriente circula libremente resulta ser la superposición de dos intensidades (  $i = i_1 + i_2$  ): por una parte una intensidad senoidal  $i_1 = \frac{E_M}{Z} \operatorname{sen} (\theta - \gamma)$  que representa el régimen permanente en el caso en que no hubiera tiristor; por otra parte, una intensidad decreciente exponencialmente  $i_2 = \frac{E_M}{Z} \operatorname{sen} (\alpha - \gamma) \exp. (-R\theta/LW)$  que representa el régimen transitorio.

Podemos representar por separado estas dos intensidades ( fig. 4.2.1 ) y luego deducir la intensidad global. En el momento en que la corriente se anula ( para  $\theta = \theta$  ), el tiristor SCR, se bloquea. Luego para  $\theta = \theta_0 + \pi$  , el tiristor SCR2 recibe a su vez un impulso de puerta cuando la tensión en sus bornes (  $V_{SCR2} = -e$  ) es

positiva. Por tanto se hace conductor, siendo la corriente que lo atraviesa idéntica, a excepción del signo, a la que atravesaba el tiristor  $SCR_1$ .

Conociendo la forma de onda de la corriente, pueden deducirse fácilmente, por un lado, las formas de onda de la tensión en bornes de la carga (fig. 4.2.f) y en borne de los tiristores (fig. 4.2.g). Se observa que para  $\alpha > \pi$ , los tiristores están siempre bloqueados ( $I=0$ ) ya que se envía la señal de puerta de un tiristor cuando su tensión anódica es negativa, mientras que para  $\alpha < \pi$ , el término exponencial desaparece ( $I=E/Z$ ).

Así, con  $\alpha < \pi$  puede hacerse variar la intensidad eficaz desde su valor hasta cero.

#### 4.1.3 ANALISIS DE ARMONICOS DE CORRIENTE.

En el caso de una carga cualquiera, la descomposición en serie de Fourier no es sencilla, por ello limitaremos nuestro estudio al de una carga inductiva pura, caso particular que presenta aplicaciones muy importantes.

##### a) CARGA MONOFASICA CON INDUCTANCIA PURA.

La expresión de la corriente se obtiene directamente

haciendo la expresión general:  $R = 0$ , por lo tanto  $\psi = \frac{\pi}{2}$   
y  $Z = LW$ . Se obtiene:

$$i = \frac{EM}{LW} (\cos \alpha - \cos \theta), \text{ con } \frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$$

para

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  i  $\frac{\pi}{2} = -\frac{EM}{LW} \cos \theta$  la curva es entonces seno-  
dal (fig. 4.2.1). Para un valor de  $\alpha$  cualquiera, esta -  
misma senoide sufre una traslación paralela al eje de  
las corrientes, siendo en este caso la parte útil un --  
casquete de senoide. Tomemos como nuevo eje de corri-  
ente el eje de simetría del casquete, lo cual supone po-  
ner:  $\theta = \theta' + \pi$ . Designado:  $\beta = \pi - \alpha$ , obtenemos:

$$i = IM (\cos \theta' - \cos \beta), \text{ con } IM = EM/LW$$

Según el teorema de Fourier la expresión general-  
de una función periódica es:

$$i = I_0 + A_1 \sin \theta' + \dots + A_n \sin n\theta' + \dots \\ + B_1 \cos \theta' + \dots + B_n \cos n\theta' + \dots$$

En el curso de un período ( es decir, de  $-\pi$  a  $+\pi$  ),  
se puede comprobar como el área cortada por la curva, -  
por encima del eje de las  $\theta'$ , tiene el mismo valor que-  
la cortada por debajo de éste. Es decir:

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i \, d\theta' = 0$$

Si en el curso de este mismo período ( $-\pi$  a  $+\pi$ ) se cambia  $\theta'$  por  $-\theta'$ , la intensidad  $i$  no varía. Por lo tanto no tiene términos en seno y es posible limitar el estudio al intervalo que va de cero a  $\pi$ .

Por último, si en el interior de este nuevo intervalo se cambia  $\theta'$  por  $-\theta'$ ,  $i$  varía a  $-i$ . Por lo tanto no existen términos pares en coseno y es posible limitar el estudio al intervalo que va de cero a  $\pi/2$ .

En definitiva, tenemos:

$$i = B_1 \cos \theta' + B_3 \cos 3\theta' + \dots + B_n \cos n\theta' + \dots$$

siendo "n" un número entero impar.

Resulta:

$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\beta} i \cos n\theta' \, d\theta' = \frac{4IM}{\pi} (\cos \theta' - \cos \beta) \cos n\theta' \, d\theta'$$

$$\begin{aligned} B_n &= \frac{2IM}{\pi} \int_0^{\beta} (\cos (n+1)\theta' + \cos (n-1)\theta' - 2 \cos \beta \cos n\theta') \, d\theta' \\ &= \frac{2IM}{\pi} \left( \frac{\sin (n+1)\beta}{n+1} + \frac{\sin (n-1)\beta}{n-1} - \frac{2 \cos \beta \sin n\beta}{n} \right) \end{aligned}$$

El término fundamental puede determinarse a partir -

de esta expresión general haciendo tender  $n$  a la unidad ( $n \rightarrow 1$ ). En este caso  $(n-1)\beta$  es un ángulo muy-pequeño que permite confundir el seno y su valor en radianes. Obteniéndose:

$$\frac{\text{sen } (n-1)\beta}{n-1} \sim \frac{(n-1)\beta}{n-1} = \beta$$

de donde:

$$i_1 = \frac{I_M}{\pi} (2\beta - \text{sen } 2\beta) \cos \omega t$$

#### b) CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO DE UN MOTOR.

Cuando se procede a estudiar el funcionamiento de un motor de inducción por el método del primer armónico, es preferible reemplazar el circuito equivalente clásico por un circuito equivalente idéntico al de un motor síncrono. Este es equivalente a una f.c.e.m.  $E_1'$  por fase en serie con una impedancia. Esta impedancia está constituida por una resistencia, en general muy pequeña, en serie con una reactancia de fugas  $\ell w$  (con  $R \ll \ell w$ ) por tanto, la impedancia es equivalente a una reactancia pura. ( fig. 4.3.a ).

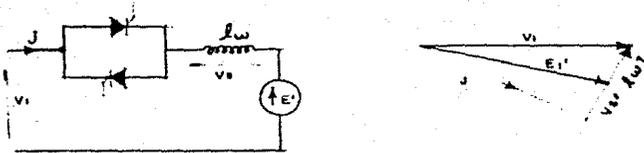


FIGURA: 4.3 En el diagrama de Fresnel trazado en la -  
 figura (4.3.b) se ha tenido en cuenta este esquema equi-  
 valente.

#### 4.1.4 APLICACION DE LA VELOCIDAD VARIABLE.

El regulador de corriente alterna se utiliza para -  
 variar la velocidad de motores, ya sean pequeños moto--  
 res universales alimentados en monofásico, como motores  
 asíncronos trifásicos.

En el caso que nos ocupa el control de velocidad se  
 rá una parte fundamental del sistema posicionador, ya -  
 que por medio de este control se haran los ajustes nece  
sarios para obtener una mayor precisión en el movimien-  
 to de la antena.

Si más concretamente, se trata de accionar motores-

asíncronos, será preferible escoger motores de jaula de ardilla, ya que su costo es mucho menos elevado que el de los motores de anillos deslizantes. Sin embargo, es to puede presentar ciertos inconvenientes.

En efecto, como la parte establece de las características representan, sensiblemente, un haz de rectas concurrentes, nos vemos obligados a escoger, de entra da una jaula de gran resistencia, con el fin de obtener una gama de velocidades suficientemente amplia. Eso -- provoca un deslizamiento bastante elevado a la veloci-- dad máxima, y en consecuencia un rendimiento mediocre - ( $\eta = 1 = g$ ).

Por otra parte, como el par motor es pequeño a ba-- jas velocidades, esta forma de regulación es mas conve-- niente para los accionamientos que tengan un par peque-- ño a bajas velocidades, como los pares cuadráticos, --- ( $C_r \sim N^2$ ), que para los accionamientos con par resis-- tente  $cTe$ . Resulta de interés precisar este resultado - mediante el cálculo. Tenemos:

$$C_m = \lambda \frac{R_2^1 I_2^2}{g} \sim \frac{R_2^1 I_1^2}{g}$$

ya que:  $I_1 = I_0 + I_2^1 \approx I_2^1$ ; despreciando la corriente - en vacío en régimen permanente  $C_m = C_r$ ; se puede distin

quir los dos casos siguientes:

a) PAR CUADRÁTICO

$$Cr \sim N^2 = (1 - g)^2 N_s^2$$

resulta

$$\frac{R^2}{g} I_1^2 \sim (1 - g)^2$$

de donde

$$I_1 \sim (1 - g) \sqrt{g/R^2}$$

Este resultado indica que la intensidad es inversamente proporcional a  $\sqrt{R^2}$  y que esta intensidad varía con el deslizamiento. Es máxima cuando  $dI_1/dg = 0$ , es decir:

$$-g^{1/2} + \frac{1}{2} g^{-1/2} (1-g) = g^{-1/2} \left( \frac{1-g}{2} - g \right) = 0$$

de donde

$$g = \frac{1}{3} \quad \text{y} \quad N = (1-g) N_s = \frac{2}{3} N_s$$

b) PAR CONSTANTE

$$I_1 \sim \sqrt{g/R^2}$$

La intensidad absorbida es de nuevo inversamente proporcional a  $\sqrt{R^2}$ , pero aumenta a medida que disminuye la velocidad.

Con este tipo de alimentación, y en particular con el funcionamiento a par constante, cuando la velocidad del motor disminuye, su ventilación también disminuye y en consecuencia hay riesgo de calentamiento excesivo, - ya que un motor asincrono normalizado habitualmente no esta estudiado para estos regimenes de funcionamiento. Además de la potencia de desluzamiento a discipar, hay todas las corrientes armónicas que contribuyen al calentamiento. En consecuencia el motor debe ser sobre dimensionado.

En nuestro caso se utilizan motores con condensador de arranque, como se puede observar en el capítulo No.2 ( motores de AC ), en donde se cuenta con una gráfica - de par- velocidad, con lo cual se puede hacer una elección adecuada del motor de acuerdo a las necesidades -- que se piden en cuanto al peso de la antena. Este aspecto se observa con mayor detalle en el capítulo No.1- ( diseño del sistema mecánico ).

#### R E F E R E N C I A S

- 1.- "Control Electrónico de los Motores de Corriente - Alterna" - R. Chauprade / F. Milsant - Ed. Gustavo Gili, S. A.

Capítulo 5

# (Hardware) Diseño del Sistema

---

## 5.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

La automatización industrial implica el uso de la aplicación práctica de conceptos y de ideas ordenadas, de tal manera que nos lleven a la elaboración o manufactura de un producto, el hacer mejores productos, en el menor tiempo es la finalidad de la automatización.

Los sistemas de automatización están diseñados usando diferentes tecnologías.

Las dos tecnologías mas comunmente usadas son las - que tienen relevadores lógicos y control neumático; la disponibilidad de los componentes electrónicos, especialmente el microprocesador, hicieron mas atractivo el - diseño de los sistemas de automatización, usando la tec nología electrónica.

En este capítulo, el Hardware usado como control -- electrónico del sistema será descrito. El Hardware pue de ser dividido en tres partes:

**CONTROLADOR:** El cual provee la decisión que debe ha cerse.

**SENSORES:** Por medio de los cuales se suministra la información de entrada a el controlador.

**ACTUADORES:** Son los medios por los cuales se suministra el control de la acción mecánica.

La característica particular de cada sistema, estará dada por los componentes usados en la aplicación del -- control electrónico.

## 5.2 VISTA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION.

Según el concepto de control se tiene a un sensor - como entrada, enseguida se toma una decisión y se suministra una salida en un sistema de ciclo cerrado, y por último se compara la salida con lo deseado. Lo mencionado anteriormente plantea a simple vista un concepto - general del sistema, pero con mas detalle y claridad se puede observar en la figura 5.1, en donde se representa el diagrama de bloques de las funciones del Hardware.

El sistema consiste de tres partes: la entrada con los sensores, el controlador y la salida ( actuadores ). En el bloque del controlador se incluyen las señales de condición amplificadas que se requieren para convertir y trasladar las señales, A/D o D/A a el controlador -- electrónico. En el sistema práctico estas seran las -- formas de operación de la interface, la cual tiene a su cargo hacer compatibles el tipo de señal que reciba y - adaptarla de acuerdo al dispositivo que este en uso entre el controlador y la entrada, y entre el controlador y la salida. De tal manera que la interface ocupa un lu gar fundamental en el funcionamiento del sistema.

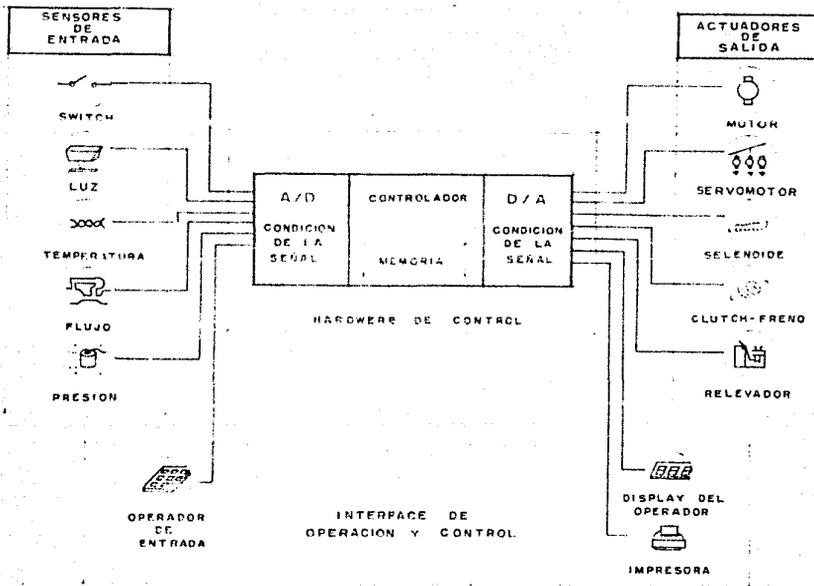


FIGURA 5.1 Diagrama del Hardware de control

### 5.3. CONTROLADORES.

Un controlador recibe información acerca de el proceso que se llevará a cabo, toma una decisión basada en dicha información produce alguna acción del proceso y monitorea el resultado. Este concepto básico no cambia con los avances tecnológicos, más sin embargo estas nuevas tecnologías tienden a mejorar la eficiencia en las funciones del controlador. Un ejemplo claro se observa con el relevador lógico y con el control neumático, estas dos tecnologías tienen diferentes usos según su aplicación. El relevador lógico se aplica al tipo de máquinas que requieren una automatización secuencial, y el control neumático es usado comunmente en aplicaciones de automatización proporcional para un control de procesos contínuos.

Sin embargo, el tipo de proceso que se requiera, ya sea secuencial o proporcional, puede ser manejado por una nueva tecnología; " El controlador programable electrónico ", basado en un procesador programable de estado sólido. La disponibilidad, el bajo costo, la precisión y las características de dichos componentes electrónicos fabricados en dispositivos de estado sólido hacen posible y mas eficaz el usar esta tecnología (reduciendo tiempo y espacio) en aplicación de control indus

trial.

El controlador electrónico programable es "software de programación"; esto quiere decir que las instrucciones son almacenadas en memoria y pueden ser cambiadas - fácil y rápidamente según las necesidades que se requieren.

### 5.3.1 TIPOS DE CONTROLADORES

Son dos tipos de controladores los que están disponibles en la realización del control industrial. El controlador básico es el controlador de secuencia el cual implica un ordenamiento del control de proceso, a través de señales ON/OFF ( encendido/apagado ) paso por paso o en pasos repetidos o en combinación de ambos para ejecutar una tarea específica. El segundo es el control de procesos en el cual el proceso de control varía continuamente.

### 5.3.2 CONTROLADOR SECUENCIAL

Un controlador de secuencia está usualmente relacionado con la manufactura discreta de productos o con la secuencia de un número de eventos en una planta. Basi-

camente consiste de un dispositivo de ON/OFF el cual -- controla una función determinada en relación a el tiempo. El timer cilindrico cíclico, es un buen ejemplo de un controlador secuencial electromecánico, en el cual se observa que la función se realiza una y otra vez cada que el cilindro comienza una nueva vuelta. El tiempo que tarde en realizarse alguna operación dependerá del tipo de secuencia previamente determinada. A este tipo de controladores se les denomina de ciclo abierto.

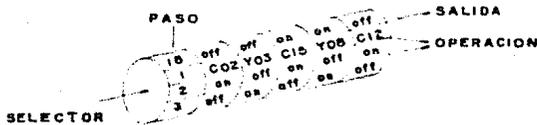


FIGURA 5.2, Modelo del cilindro secuenciador

### 5.3.3. CONTROLADOR DE PROCESOS

Un controlador de procesos se relaciona con el control de un proceso que varía continuamente, el cual requiere un monitoreo constante y revisión continua de datos de entrada y salida, esto para verificar la realización del proceso lo mas precisa posible.

El control se realiza de la siguiente manera, el proceso provee una salida que puede variar continuamente, esta salida es analizada de acuerdo a las necesidades que se planteen en determinado proceso y dependiendo de la condición requerida se efectuara una salida o una retroalimentación, esto es lo que comunmente se llama un control de ciclo cerrado, como ejemplo tenemos el de la figura 5.3.

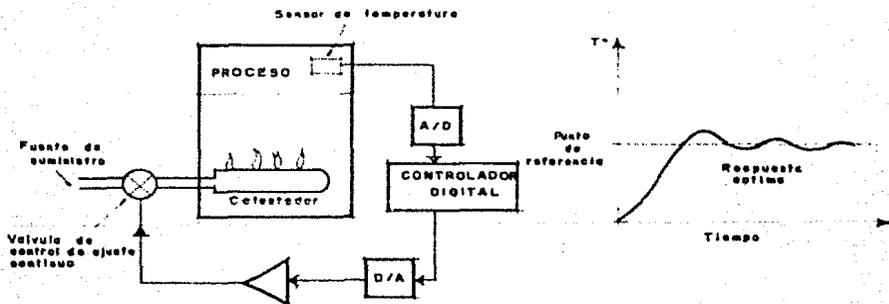


FIGURA 5.3 Control proporcional de una caldera ( ciclo cerrado ).

#### 5.4 SENSORES

La habilidad para controlar un proceso o una máquina depende primero de que todo aquello que será neces

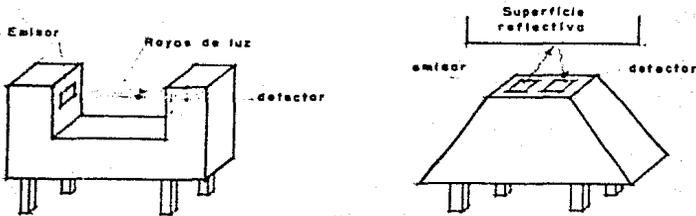
rio sensor sea completo y este en un lugar y posición adecuada, lo cual dará como resultado el observar con precisión lo que esta ocurriendo durante el proceso. Este es un continuo obstáculo en la automatización y es el de proveer de ojos (visión) a el sistema.

El sensor ideal deber ser pequeño en tamaño, durable, confiable y tener una resolución infinita y precisión adecuada.

#### 5.4.1 SENSORES DE POSICION

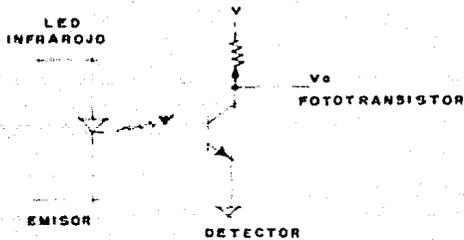
Existen varios tipos de sensores de luz usados como interruptores ( switch ), el mas usado en el fotoelectronico para sensar posición. Figuras 5.4.a y 5.4.b, son dos tipos diferentes. El de la figura (a) es un sensor que funciona a traves de la interrupción de la luz entre sus dos caras emisor-detector, el de la figura (b), funciona utilizando una pared reflectiva para realizar el trasalado de la luz de emisor a detector, son dos tipos diferentes pero la operación básica es la misma. Una luz visible o infraroja es producida por un diodo -- emisor de la luz (LED). Un detector sensa la luz, en ambas direcciones o refleja y produce una salida. El detector es un transistor fotosensitivo que se enciende (ON) cuando se emite una energía luminosa sobre el. El

resultado es el mismo que se produce cuando un transistor de juntura entra en estado de conducción funcionando como un interruptor (ON-OFF). Un esquema del LED - emisor y el detector fotoelectrico se muestra en la figura 5.4.c, se necesita conectar una resistencia a través del colector del transistor para poder tener un nivel de voltaje lógico dependiendo de las características del fototransistor ya sea que, el voltaje de colector sea alto en estado de oscuridad y bajo en presencia de luz. Esta señal puede ser acoplada directamente a un controlador lógico digital en donde su conversión A/D no es necesaria, ya que se trabaja con niveles lógicos, alto y bajo (1,0). La figura 5.5 muestra la aplicación de un interruptor sensor de luz como tacómetro, el cual mide las RPM de un eje.



(a)  
Sensor de interrupción de luz

(b)  
Sensor de luz reflejada



(c)

Esquema representativo

FIGURA 5.4. ( a, b, c ) Sensores de luz como interruptores.

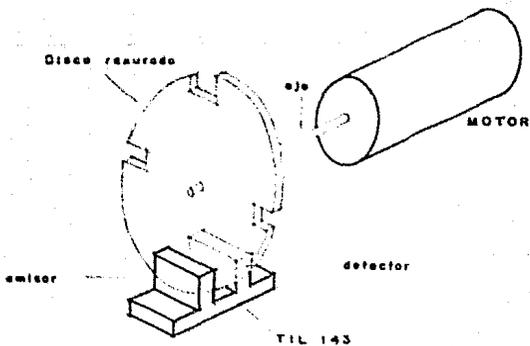


FIGURA 5.5 Sensor de posición fotoeléctrico.

## 5.5 ACTUADORES

Los actuadores son los dispositivos que efectúan la conversión de una entrada eléctrica a una acción mecánica. En ciertos tipos de control de procesos la acción-mecánica se realiza a través de válvulas de control, -- las cuales tienen la finalidad de proveer la cantidad -- adecuada de flujo de aire, gas o líquido, según sea la necesidad y tipo del proceso a realizar. Ejemplo; si -- se trata de controlar la temperatura para su proceso en el cual es crítica la variación de esta, se tendrá que considerar la entrada de gas a la caldera a través de -- una válvula de control, la cual tendrá que suministrar -- la cantidad adecuada de gas para poder estar trabajando en los límites de nuestro proceso sin que este sufra -- consecuencias negativas.

A su vez las válvulas requieren de alguna acción me-  
cánica que las mueva, esta acción se realiza a través --  
de motores eléctricos o impulsos magnéticos, de esta ma-  
nera observamos que la parte fundamental de los actuado-  
res está compuesta por motores eléctricos y que las vál-  
vulas funcionan como un complemento al tipo de proceso-  
en cuestión. De ahí que durante el desarrollo de esta --  
tesis se hace énfasis en un capítulo de motores de AC, --  
que son los motores que se usaron para el desarrollo del

proyecto.

Como podemos observar los actuadores son una parte vital para el control del sistema.

Los actuadores tienen salida discreta o continua. Los actuadores de movimiento continuo usualmente son manejados por un motor eléctrico. Los actuadores de movimiento discreto pueden ser implementados con motores especiales como el motor de pasos, o simplemente con un solenoide de línea recta.

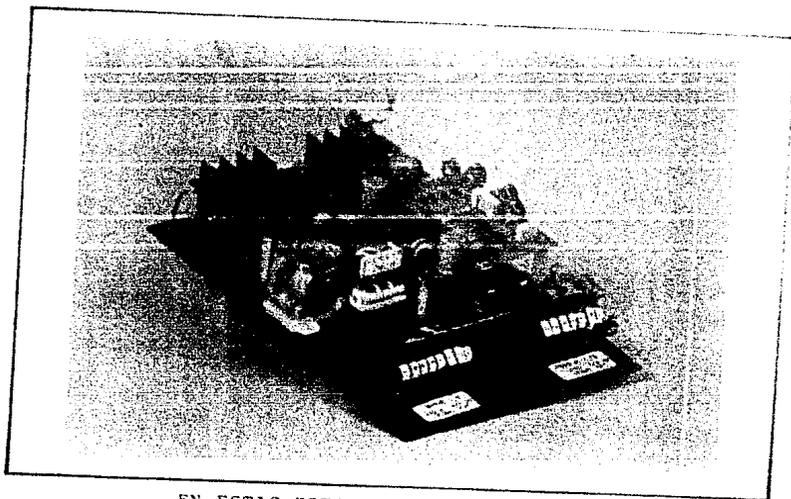
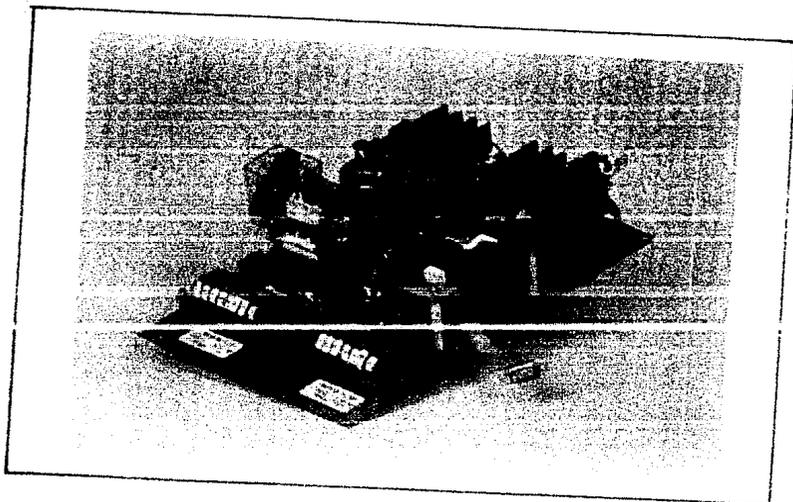
Dentro del tipo de actuadores tenemos los más usados comúnmente que son:

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| + Solenoide          | - Motores de C. D.    |
| + Relevadores        | - Motores Sincronos   |
| + Motores Eléctricos | - Motores Universales |
|                      | - Motores de pasos    |

## 5.6 DESCRIPCION DEL CIRCUITO.

En este punto se describen las partes que componen el diseño del sistema sobre el cual se basa el desarrollo de esta tesis.

Se divide en dos partes uno para el sistema de lazoabierto (sin realimentación) y el otro para el sistema -



EN ESTAS FOTOGRAFIAS SE MUESTRA EL -  
CONTROLADOR ELECTRONICO DEL SISTEMA.

de lazo cerrado (realimentado).

El circuito de la figura 5.27 está diseñado para posicionar según sea el caso en altitud y acimut a la antena parabólica dependiendo del tipo de coordenadas que -- sean introducidas en la micro computadora.

El circuito está dividido en tres partes el cual comprende el control de la velocidad, suministro de energía para accionar a los actuadores y los módulos de entrada/salida (I/O).

#### 5.6.1 CONTROL DE LA VELOCIDAD

El control de la velocidad se realizará una vez que esta ha sido analizada por el operador de acuerdo a -- una salida determinada que es necesaria para ajustar -- el movimiento de la antena de acuerdo al grado de pre-- cisión que se requiera para hacer mas pequeño o aumen-- tar la resolución del desplazamiento de la antena, tan-- to en acimut como en altura, esta velocidad a su vez es-- ta relacionada con el número de pulsos que se requieran para llegar a la posición adecuada como a el despla-- zamiento que se produce con determinada velocidad. Así -- pueda si el operador considera que es necesario mover la antena mas rápido o mas lentamente dependiendo si es un

factor crítico el realizar una posición rápida o lenta se procederá a seleccionar el tipo de velocidad que más convenga a nuestro problema en cuestión.

El control de la velocidad se podrá hacer manual o automático, el control manual se realizará con el movimiento de los potenciómetros P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> para el motor que corresponde a la elevación de la antena parabólica y el movimiento de P<sub>3</sub> y P<sub>4</sub> para el motor correspondiente a la posición de acimut.

Automáticamente el control de la velocidad se realizará a partir de la microcomputadora por medio de la cual se seleccionará el tipo de salida adecuada para realizar determinado movimiento, esta selección se realizará a través de los dos C.I. "Quad bilateral switch" 4066 representados en el diagrama del circuito, estos a su vez están conectados en forma de selector cada uno conteniendo un valor de resistencia diferente, con lo cual se logra que para cada selección de entrada diferente en los "pins" del 4066 de la A → D y de la E → M con niveles de voltaje alto y bajo (1 - 0), que serán suministrados como bits de información de la microcomputadora a través de una interface, se podrá tener una salida diferente en valor de resistencia dando como resultado una velocidad de movimiento que varía, de acuerdo al tipo de entrada que le es suministrada. En la figura siguiente 5.6, se representa el concepto que es uti-

lizado para variar el valor de la resistencia entre  $I_1$ ,  $O_1$ ,  $I_2$ ,  $O_2$  del diagrama del circuito figura 5.27

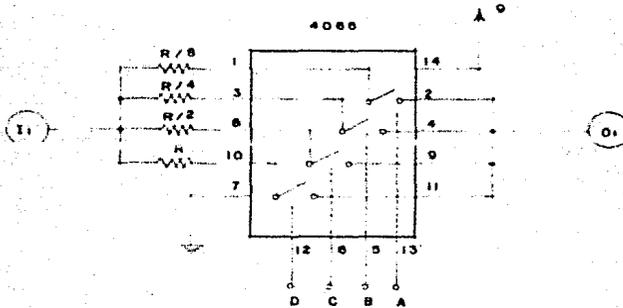


FIGURA 5.6 Programador del valor de resistencia.

### 5.6.2 ETAPA DE POTENCIA

El circuito cuenta con una etapa de potencia o suministro de energía para accionar a los actuadores. El -- circuito utilizado para el desarrollo de este proyecto-- se representa en la figura 5.27, su dispositivo de mayor importancia consiste en la utilización de un triac y su respectivo circuito RC de disparo o control de puerta. Por medio de este circuito se suministrará de la potencia requerida al actuador a través de el control del án

gulo de disparo del triac.

### 5.6.2.1 CIRCUITO RC DE DISPARO.

El circuito de disparo más simple para un triac se muestra en la figura 5.7 (a), el condensador C se carga a través de  $R_1$  y  $R_2$  durante la porción del semiciclo correspondiente al ángulo de disparo. Durante el semiciclo positivo,  $MT_2$  es positivo respecto a  $MT_1$ , y C se carga con el positivo en su placa superior. Cuando el voltaje en C es lo suficiente grande para entregar a través de  $R_3$  la corriente de puerta ( $I_{GT}$ ) necesaria para disparar el triac, el triac se ceba ( cierra ).

Durante el semiciclo negativo, C se carga con el negativo en su placa superior. Nuevamente, cuando el voltaje a través del condensador es lo suficiente para entregar a través de  $R_3$  la corriente necesaria de puerta en la dirección inversa para disparar el triac, el triac se cierra.

La velocidad de carga del condensador C se ajusta por medio de la resistencia  $R_2$ . Con una  $R_2$  grande, la velocidad de carga es rápida, el ángulo de disparo es pequeño y la corriente de carga es grande.

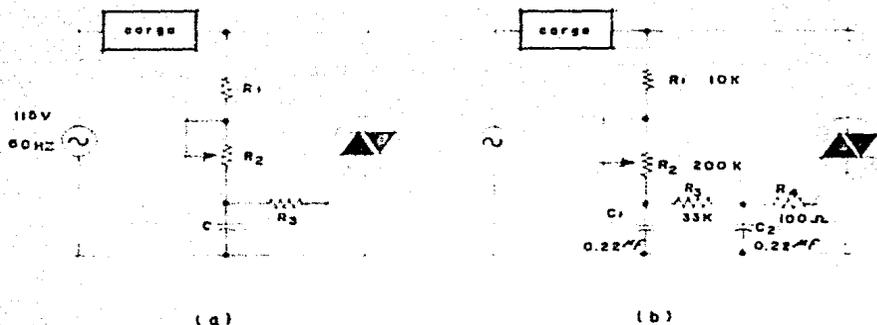


FIGURA 5.7 (a) Circuito simple de control de puerta (circuito de disparo) para un triac. El ángulo de disparo se ajusta por medio del potenciómetro  $R_2$ . (b) Un circuito de control mejorado, el cual proporciona un amplio rango de ajuste del ángulo de disparo.

Al igual que en los circuitos de disparo para los SCR, una red RC simple no puede retardar el disparo -- del triac muy por encima de  $90^\circ$ . Para establecer un rango de ajuste amplio del ángulo de disparo, la red RC doble de la figura 5.7 (b) es generalmente la utilizada. La figura muestra las magnitudes típicas de los componentes que se utilizan con un triac de mediana potencia.

El circuito de control de puerta de la figura 5.7 - puede mejorarse adicionando un dispositivo de disparo - en la terminal de puerta, como se muestra en la figura- 5.8 (a). El dispositivo de disparo dibujado en la figura 5.8 (a) es un "diac", pero hay varios otros dispositivos de disparo los cuales también pueden utilizarse.

La utilización de un dispositivo de disparo en el - circuito de disparo de puerta de un triac, presenta algunas ventajas importantes sobre los circuitos de control de puerta con RC simple. Estas ventajas parten -- del hecho que un dispositivo de disparo entrega un pulso de corriente de puerta en lugar de una corriente de puerta sinusoidal.

La habilidad de un dispositivo de disparo para proporcionar un pulso de corriente, puede entenderse al estudiar la figura 5.8 (b), la cual muestra una curva característica voltaje-corriente de un diac. ( Un "diac" también se conoce por el nombre de "diodo bidireccional de disparo y diodo simétrico de disparo").

Interpretemos ahora la curva característica del --- diac. La curva muestra que para voltajes aplicados en sentido directo menores que el "voltaje de ruptura directo" ( simbolizado +  $V_{EO}$  ) el diac prácticamente no -

permite flujo de corriente. Una vez alcanzado el voltaje de ruptura directo, el diac conmuta a conducción y la corriente aumenta rápidamente a la vez que el voltaje a través de las terminales disminuye. Refierase a la figura 5.8 (b) para ver esto. Este aumento rápido de la corriente en la curva característica explica la habilidad del diac para producir pulsos de corriente.

En la region de voltaje negativo, la operación es idéntica. Cuando el voltaje aplicado en sentido inverso es menor que el "voltaje inverso de ruptura" ( simbolizado -  $V_{BO}$  ) el diac no permite flujo de corriente. Cuando el voltaje aplicado alcanza -  $V_{BO}$ , el diac conmuta a conducción en la dirección opuesta. Esto está graficado como una corriente negativa en la figura 5.8 (b). Los diacs se fabrican de manera que son relativamente estables con temperatura y tienen una pequeña tolerancia en los voltajes de ruptura. Hay una pequeñísima diferencia entre los valores del voltaje de ruptura directo y el voltaje de ruptura inverso en un diac. La diferencia es típicamente menor que 1v. Esto permite que el circuito de disparo mantenga prácticamente iguales los ángulos de disparo en ambos semiciclos de la fuente de AC.

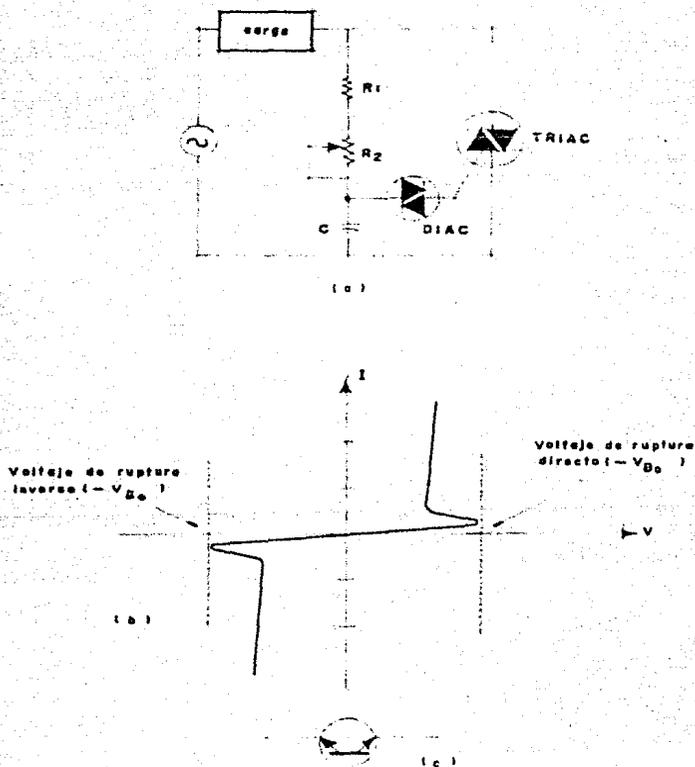


FIGURA 5.8. (a) Circuito de control de puerta que contiene un diac. ( diodo de disparo bidireccional ). Este método de disparo presenta varias ventajas sobre los métodos mostrados en la figura 5.7 (b) curva característica-voltaje-corriente de un diac. (c) Otro símbolo esquemático para representar un diac.

El funcionamiento del circuito de la figura 5.8 (a) es igual al del circuito de la figura 5.7 (a) con excepción que el voltaje en el condensador debe aumentar hasta alcanzar el voltaje de ruptura del diac para poder entregar corriente de puerta al triac. Para un diac, el voltaje de ruptura sería bastante más alto que el necesario en la figura 5.7 (a). El valor más popular del voltaje de ruptura para los diacs es 32V (  $+ V_{BO} = + 32$  V,  $- V_{BO} = - 32$  V ). Este valor es conveniente para su uso con una fuente de 115V. Por tanto cuando el voltaje en el condensador alcanza 32V, en una de cualquiera de las polaridades, el diac se dispara, entregando el pulso de corriente para "conducción" a la puerta del triac. Dado que el voltaje del condensador debe alcanzar un valor más alto cuando se utiliza un diac, la constante de tiempo de carga debe reducirse. Esto significa que la figura 5.8 (a) deberá tener componentes de valor más pequeños ( los valores de capacitancia y resistencia ) que los de la figura 5.7 (a).

Un segundo símbolo esquemático para el diac se muestra en la figura 5.8 (c).

De esta forma es como se suministra de energía a los actuadores ( motores de A.C. ) para que a través de ellos se proceda a realizar la operación del control de

la antena parabólica.

### 5.6.2.2 ANALISIS DE SELECCION DEL TRIAC.

Haciendo un analisis para determinar que tipo de triac utilizar tenemos la siguiente información.

TIPO DE MOTOR H.P.	VOLTAJE NOMINAL (V)	ARRANQUE	REGIMEN
		AMPERES (A)	AMPERES (A)
1/4	127	10 - 11	2.8
1/2	127	18 - 20	4.1
1/4	220	6 - 8	2.0
2/2	220	8 - 10	3.0

FIGURA 5.9 Tabla representativa de las pruebas a las que fueron sometidos los motores para determinar su capacidad de corriente al arranque y en régimen. En régimen se considera cuando el motor a alcanzado su velocidad normal.

De la tabla anterior podemos determinar que tipo de triac utilizar, cabe mencionar que el valor económico de un triac depende de sus características si es de empaque de metal o si es encapsulado, etc. Pero la característica principal es la capacidad de corriente que puede manejar el triac y lo cual eleva el precio considerablemente, de aquí parte el motivo por el cual se considera por razones económicas en el uso del triac y

menor desgaste en los relevadores ( al manejar menos corriente entre sus contactos ) que lo adecuado es utilizar el motor de 1/2 HP con un voltaje nominal de 220V, lo cual disminuye el costo del triac a menor corriente.

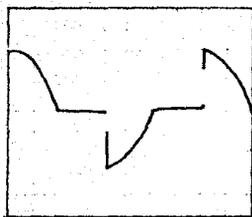
Por último se anexan gráficas de las características del circuito al realizar sus respectivas pruebas en las cuales se observa voltaje de carga  $V_L$  a través del triac, corriente de disparo que es suministrada a el gate del triac por medio de el diac ic y por último la gráfica del voltaje de carga  $V_L$  con  $V_L = 57V$  en la cual se anotan las variaciones de corriente al arranque y en régimen.  $I_A$ ,  $I_R$  respectivamente, figura 5.10

La velocidad de los motores dependerá del voltaje y corriente que les sea suministrada. ( ambas son proporcionales ).

Para poder observar la variación de la velocidad adecuadamente en los motores de AC, es necesarios aplicarles una fuerza de trabajo o sea una carga que afecte el par de movimiento.

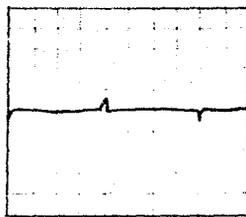
**NOTA:**

Se anexan hojas de características y tipos de triacs y diacs.



$V_L$   
 $2 \times 10 \text{ V/div}$   $2 \text{ ms/div}$

(a)



$i_g$   
 $2 \times 10 \text{ V/div}$   $2 \text{ ms/div}$

(b)



$V_L = 87 \text{ V}$   
 $i_A = 0.3 \text{ A}$   $i_R = 1.20 \text{ A}$

(c)

FIGURA 5.10 (a) Se representa el voltaje de carga a través del Triac. (b) Corriente de gate que enciende el triac. (c) En esta gráfica se observa como varía el voltaje de carga al disminuir el voltaje.

### 5.6.3 MODULOS DE ENTRADA SALIDA (I/O)

Los modulos de entrada y salida serán los dispositivos por medio de los cuales será posible la entrada de información requerida para accionar determinado actuador. La información una vez analizada por la microcomputadora mandará una salida en forma análogica con niveles de voltaje de +12V, la cual accionará a el tipo de modulo en entrada afectado por medio de un relevador mecánico o un relevador lógico ( se considera SCR o Triac) , este a su vez dará como resultado que se produzca una acción la cual estará considerada en el módulo de salida dispuesto a accionar el tipo de actuador seleccionado -- per la microcomputadora.

Cabe mencionar que antes de que la microcomputadora produzca una salida esta a su vez ya fué provista de --- cierta información a través de los sensores del sistema, lo cual dará como resultado algún tipo de información -- que le será suministrada al módulo de entrada.

#### 5.6.3.1 MODULO DE ENTRADA

En el módulo de entrada se realiza un acoplamiento de señales entre la microcomputadora y el módulo, este acoplamiento consiste principalmente de una "sincroniza-

cion de señales", el problema es el siguiente, la microcomputadora proporcionará señales periódicas las cuales es necesario retener para accionar el relevador, el objetivo es transformar estas señales periódicas en una señal única ( semejante de conversión de AC a DC ) esta se logra a través de un puente de diodos y un capacitor que servirá como un filtro. Para diferente relevador - se tendrá un valor de capacitancia diferente  $C_1+C_2+C_3$ . . . . , hasta lograr que su bobina de alimentación logre un buen cierre en sus contactos, en otras palabras lograr que el voltaje en la bobina de alimentación sea la adecuada de tal manera que se logre un buen cierre entre sus contactos. En la figura 5.11 se representa el diagrama del módulo de entrada.

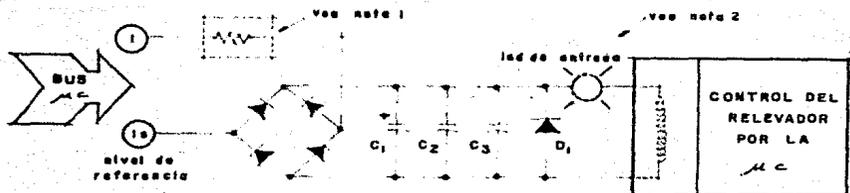


FIGURA 5.11 Módulo de entrada.

ción de señales", el problema es el siguiente, la micro computadora proporcionará señales periodicas las cuales es necesario retener para accionar el relevador, el objetivo es transformar estas señales periodicas en una señal única ( semejante de conversión de AC a DC ) esta se logra a través de un puente de diodos y un capacitor que servirá como un filtro. Para diferente relevador - se tendrá un valor de capacitancia diferente  $C_1+C_2+C_3..$  ..., hasta lograr que su bobina de alimentación logre un buen cierre en sus contactos, en otras palabras lograr que el voltaje en la bobina de alimentación sea la adecuada de tal manera que se logre un buen cierre entre sus contactos. En la figura 5.11 se representa el diagrama del módulo de entrada.

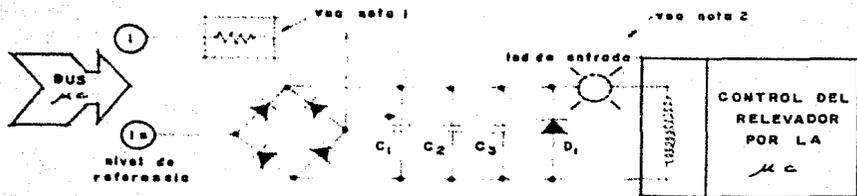


FIGURA 5.11 Módulo de entrada.

## NOTAS:

- 1) Esta resistencia se usará cuando se decida cambiar de microcomputadora para fines de ajuste de voltaje en la entrada del módulo. Deberá ser calculada de acuerdo a la microcomputadora en uso.
- 2) Se puede disponer del uso de un LED para determinar cuando el módulo entra en operación, a su vez se deberá cambiar el diodo D1 por un zener.

## 5.6.3.2 MODULO DE SALIDA

Por medio de este módulo es como se da fin al proceso seleccionado ya que a través de él se pondrá en marcha el motor que accionará el movimiento de la antena parabólica. Este módulo es prácticamente el complemento del módulo de entrada, pues como se observa en la figura 5.12 es el complemento del módulo de entrada, en otras palabras es el dispositivo que permite el paso de la corriente que es suministrada por la etapa de potencia hacia la carga que en este caso es cualquiera de los dos motores o actuadores.

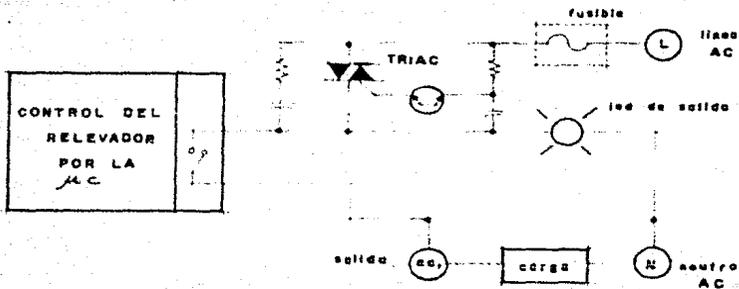


FIGURA 5.12 Módulo de salida

## NOTAS:

- 1) El circuito general de la figura 5.27 cuenta con dos fusibles uno para la etapa de potencia de -- 127V y otro para 220V.
- 2) El LED de salida proporciona una lectura constante del módulo de salida siempre y cuando el triac este "ON".

### 5.6.3.3. CONTROL DE LOS RELEVADORES

Se conectarán un par de relevadores con el fin de - que estos sean controlados por la microcomputadora para posicionar la antena parabólica en las cordenadas deseadas.

A el relevador RY1 lo llamaremos "relevador de paso" ya que con dicho relevador controlaremos el número de pasos que requiera la antena para situarse en su posición-correcta de acuerdo al control que ejercerá el programa- ( funcionamiento como switch ).

Para el relevador RY2 le corresponderá el nombre de- "relevador de dirección", ya que a través de este relevador se estará seleccionando la direccion de funcionamiento de el motor, esto como producto del resultado de un - programa, el cual analizará hacia que lado la ruta será- más corta, con el fin de ahorrar tiempo al situar la antena de un punto a otro. En la figura 5.13 se representa el diagrama de bloques del acoplamiento de los relevadores.

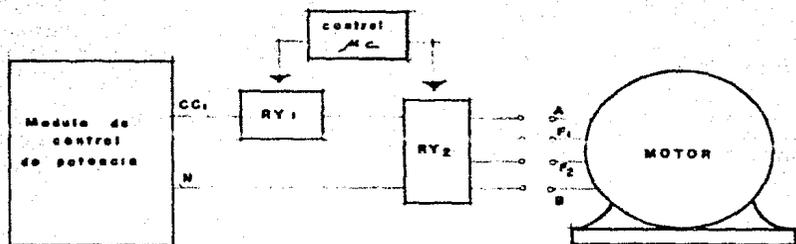


FIGURA 5.13 Diagrama de bloques del acoplamiento de - los relevadores.

Recordando de el capítulo MOTORES DE AC tenemos los siguientes diagramas de conexión de los motores para la inversión del sentido de giro, figuras 5.14 y 5.15.

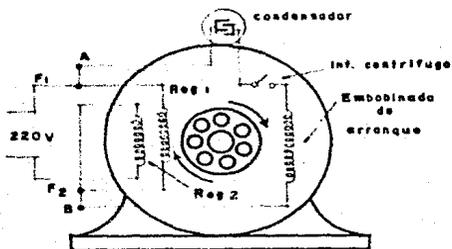


FIGURA 5.14 Motor con condensador de arranque, de dos - tensiones conectado para 220 V y giro en -- sentido de las agujas del reloj,

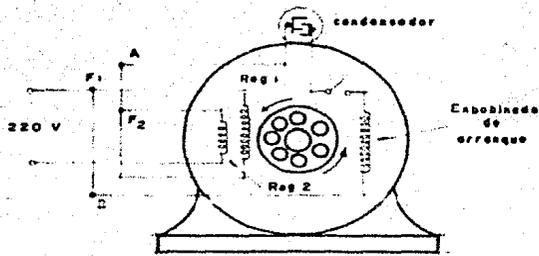


FIGURA 5.15 Motor con condensador de arranque, de dos tensiones, conectado para funcionamiento a 220 V y giro en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj.

Observando las figura 5.14 y 5.15 se determina la necesidad de usar la siguiente combinación de terminales para poder hacer el cambio de sentido de giro en el motor de inducción capacitor de arranque, figura -- 5.16.

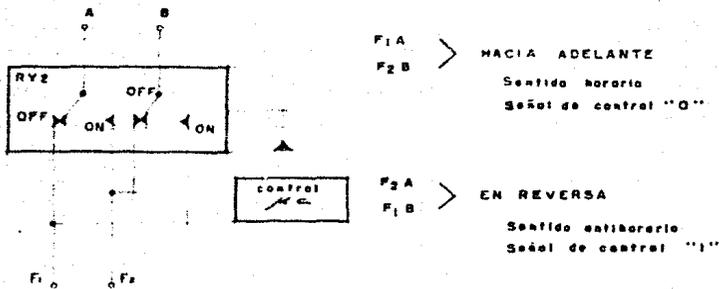


FIGURA 5.16 Representación del relevador RY2.

De la figura anterior podemos determinar claramente que cuando el relevador no este energizado, o sea -- que no se le provee una señal de control [0] , se tendrá la combinación de F1A, F2B lo cual como resultado - hará que el motor gire en sentido horario, y viceversa - al ordenar una señal de control [1] a RY2 el movimiento del motor se hará en sentido contrario, y su combinación de terminales se hará presente por medio de F2A, - F1B. De esta forma podemos complementar el diagrama de la figura 5.13 y proceder a realizar una tabla, en donde se represente la lógica de funcionamiento del diagrama en su totalidad con RY1, RY2 ( control de los relevadores ).

RY 1	RY 2	Combinación de terminales		Movimiento del motor
1	0	F <sub>1</sub> A	F <sub>2</sub> B	Hacia adelante
1	1	F <sub>2</sub> A	F <sub>1</sub> B	En reversa

FIGURA 5.17 Tabla representativa del control de los relevadores.

Las señales de control que suministra la microcomputadora serán niveles de voltaje alto [1] y bajo [0], por medio de los cuales se activará a los relevadores. Como se puede observar es necesario un nivel de voltaje en RY1 en ambos casos, no importando el sentido de dirección del movimiento para mover la antena parabólica, en cambio RY2 solo cuando se le suministre una señal de control cambiara de dirección

#### 5.6.3.4 EQUIPO DE PROGRAMACION

El equipo de programación consiste para nuestro caso de una calculadora TI- 59 ( Texas Instruments ) con su respectiva impresora, figura 5.18. A su vez en el interior de la impresora se le hicieron algunas modifi-

caciones tales como; una interface para acoplar la salida de información con el control electrónico, así como un bus de salida para conectar el cable de datos (I/O), de la impresora a el control electrónico.

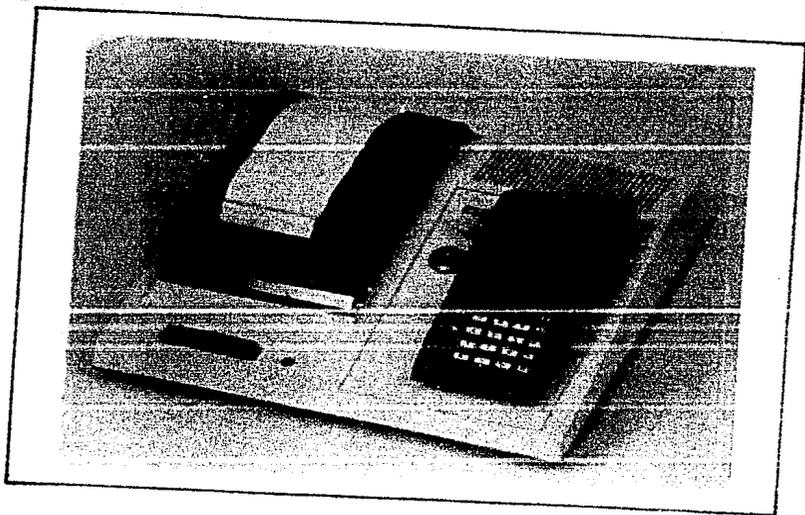


FIGURA 5.18 Calculadora TI-59, impresora PC-100C

El sistema cuenta con 20 salidas las cuales pueden ser seleccionadas por medio del software de la microcomputadora. Para el desempeño de alguna función en particular le corresponderá una salida, en nuestro caso para representar el movimiento de la antena parabólica utilizamos cuatro salidas, que corresponderan a la señal de control [1] para activar los relevadores.

El bus de datos se considera de la siguiente forma. líneas 0 — 19 para cada módulo de entrada y se habilitan en conjunto con +V — puerto de habilitación = 12VDC. La señal de salida o habilitación del bus estará dada — por el número de puerto y la orden de ejecución OP 07.

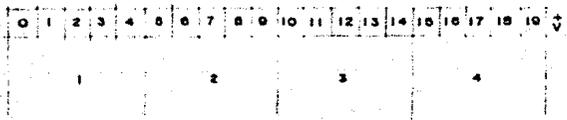


FIGURA 5.19 Bus de datos (I/O).

En consecuencia para el motor de AC. con características de 127 V y 1/4 de potencia que realizará la simulación del movimiento en el eje "X" o acimut se tendrá en consideración la siguiente orden de ejecución:

Ejemplo: "X"

```

Lb1 A ST0 00
  Lb1 EE
    3 OP 07
    3 OP 07 REVERSA
    2 OP 07
      DSZ 0 EE
R/S

```

En el programa anterior solo se representa el momento en el cual se activaran los relevadores de control - a través de el número de puerto y su orden de ejecución. Para activar el relevador en su función de reversa se - hace uso de;

```
3 OP 07
```

para ordenar que se realice el cambio de terminales del motor antes de que este funcione, evitando así mismo -- una posible falla del motor y a su vez que al mandar la segunda señal de control a través del puerto 2 se produzca un fuerte sobretiro de corriente en el relevador de dirección.

# PUERTO	ORDEN DE EJECUCION	COMENTARIOS
3	OP 07	Relevador de dirección
2	OP 07	Relevador de paso.

### 5.6.3.5 INVERSION DE MARCHA

Conexión del motor SIEMENS

Para: 110 V

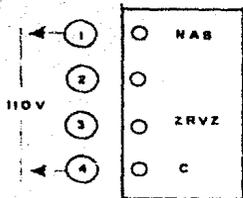


FIGURA 5.20 Placa de conexión

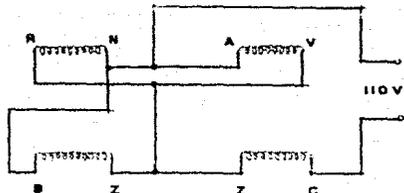


FIGURA 5.21 Conexión de los embobinados.

N - Negro  
 A - Amarillo  
 B - Blanco  
 R - Rojo  
 V - Verde  
 B - Azul  
 C - Cafe

Para: 220 V

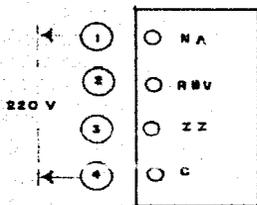


FIGURA 5.22

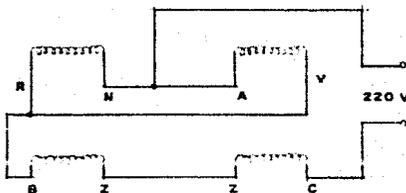
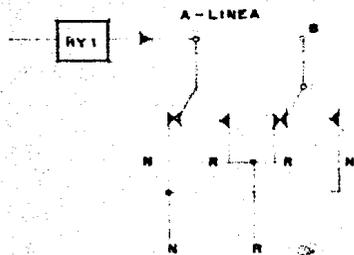


FIGURA 5.23

- \* Para invertir el giro de rotación cambiar rojo a negro y negro a rojo ( tanto en 110 V como en 220 V ).

"CONEXION DE LOS RELEVADORES PARA 220 "



AF <sub>2</sub>	BF <sub>1</sub>	REVERSA
AF	BF	DELANTE

como: N = F<sub>1</sub> , R = F<sub>2</sub>

AR	BN	REVERSA
AN	BR	DELANTE

FIGURA 5.24

De las figuras anteriores 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 y 5.24 se puede representar la placa de conexión final, la cual a su vez sale del motor y será conectada a el control electrónico. Para mayor detalle ver la figura 5.27

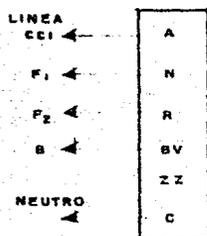


FIGURA 5.25 Placa de conexión final la cual se conectará al control electrónico.

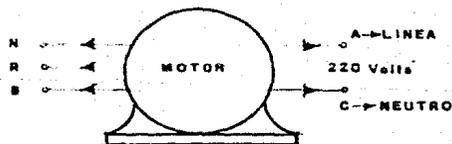


FIGURA 5.26 Terminales que salen del motor.

NOTA:

- 1) A — Línea ( punto CCI o disparo del triac )
- 2) B — Punto de unión.

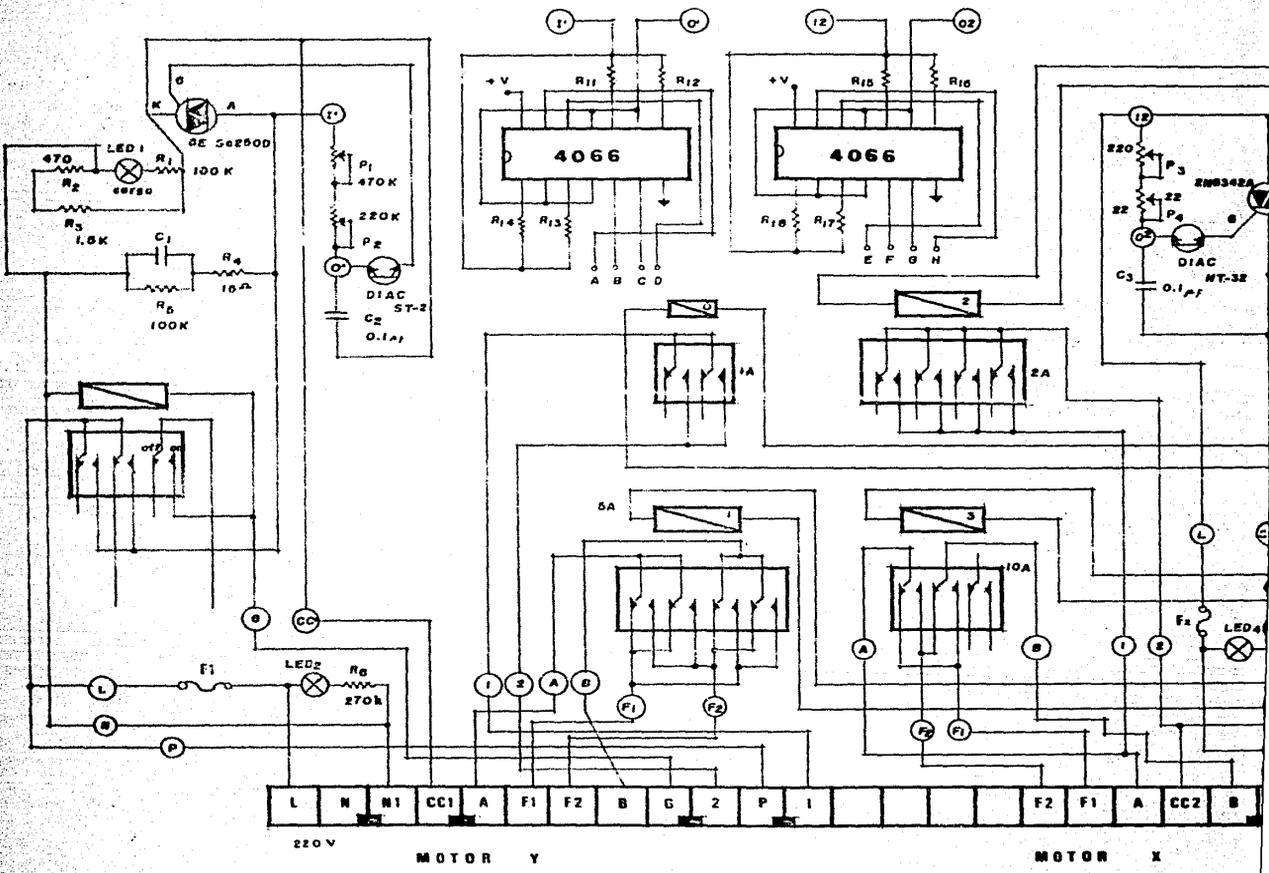
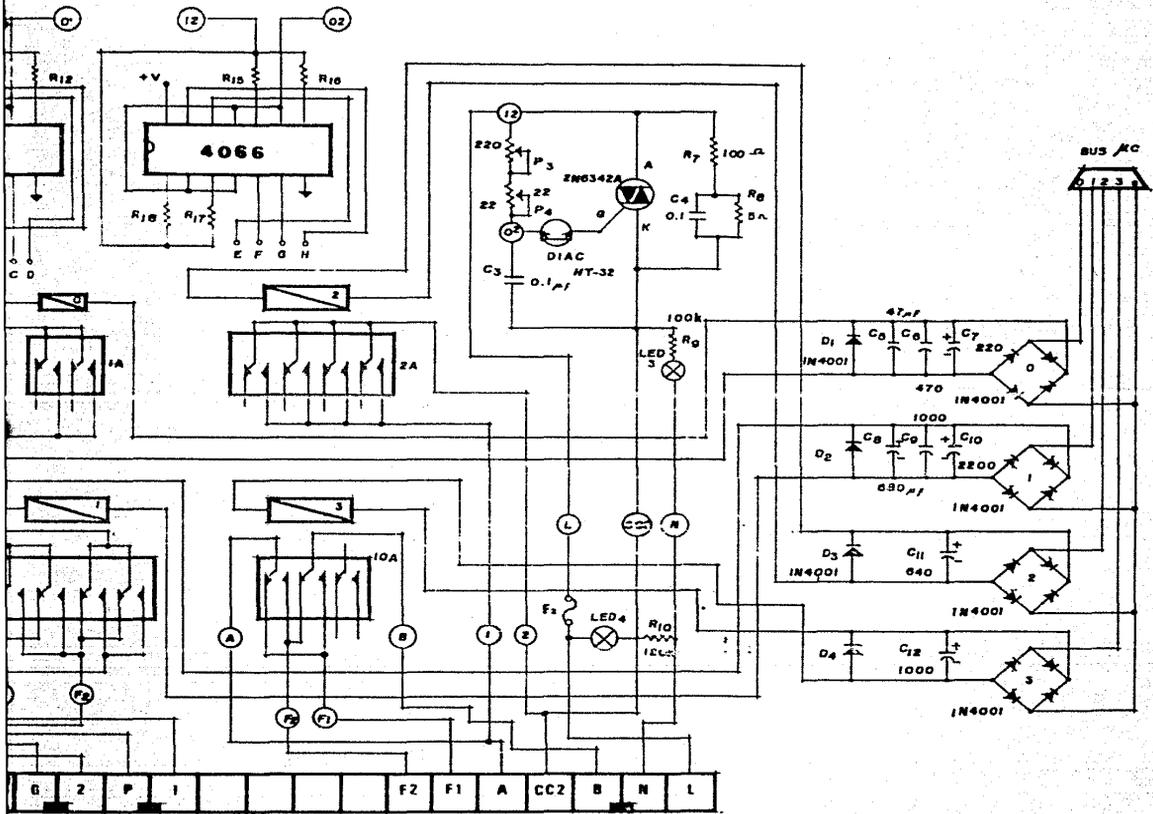


FIGURA 6.27 Controlador Electrónico



MOTOR X

127 V

## 5.7 DESCRIPCION DEL SISTEMA REALIMENTADO.

Para controlar los motores en posición dependemos de una computadora y Hardware específico, los cuales serán los elementos necesarios para que la computadora reciba y a su vez transmita señales, sin afectar el Hardware propio de la misma.

En la computadora solo será necesario, por medio del software, de comparar posición con una referencia para dar en su puerto de salida la velocidad necesaria, dependiendo de la distancia de la posición actual con la futura (objetivo), además comparando la velocidad, por si hay error, y así tener una realimentación con la cual lograr un control más seguro del sistema.

Con respecto al Hardware, se dispusieron de 3 puertos de la computadora; el primero será para recibir y el segundo y tercero para entregar información. Uno de estos puertos de salida sirve para controlar disposiciones y requisiciones de la computadora, como por ejemplo, leer posición y velocidad de cualquiera de los motores, para fijar posición de referencia a cualquiera de los dos codificadores de posición.

El segundo puerto de salida realiza la función de -

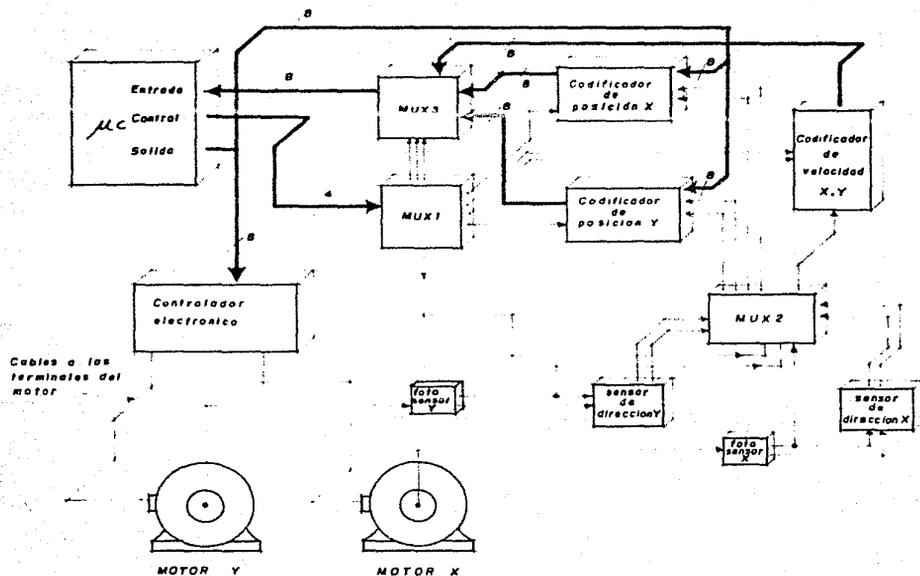


Fig. 5.28 Representación general del sistema realimentado.

controlar el suministro de potencia a los motores y así poder controlar su velocidad, además se controla un freno mecánico que nos ayudará a obtener la posición deseada de la antena y evitar oscilaciones no deseadas.

#### 5.7.1 CONTROL DE VELOCIDAD Y FRENADO

Para activar el freno se da una salida por el puerto, mismo que actúa para el suministro de potencia, es decir, cuando se da una salida para mantener cualquier motor, esta a su vez se manda para activar el driver -- que maneja un selenoide jala una especie de fleje, que nos da el fin requerido.

Para el suministro de potencia tenemos un solo puerto de salida dividido, la mitad de él maneja el motor X y la otra mitad el motor Y. Para el motor X, tenemos los cuatro bits más significativos y para el motor Y, los cuatro bits menos significativos.

De los cuatro bits dispuestos para cada motor, tres de ellos son codificados, y así obtenemos ocho niveles lógicos.

El cuarto bit disponible para cada motor que nos habilita o deshabilita, en su caso, otro decodificador --

con los mismos tres bits antes mencionados, con lo cual tendremos en total 16 niveles lógicos disponibles.

Estos niveles se toman de la siguiente forma:

Siete de ellos se puede decir que son semejantes a otros tantos, pero nos dan la misma velocidad, solo que en sentido contrario, y tienen la particularidad de que los bits que los habilitan son inversos, es decir, aquella combinación que suministra la velocidad en un sentido, es inversa a la combinación que la suministra en sentido opuesto.

Enseguida se representa la forma en la cual está situado el puerto, tanto para el motor X como para el motor Y, se observa que los cuatro primeros bits de derecha a izquierda, (b0-b3) son tomados para el motor Y, - en tanto que los siguientes cuatro (b4-b7) son usados para el motor X.

MSB	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	LSB
	M x				M y				

SALIDA POR PUERTO				DISTANCIA	VELOCIDAD Vel. Nom. = 1725 RPM
0	0	0	0	+90°	100% NOM.
0	0	0	1	+60°	80% NOM.
0	0	1	0	+35°	60% NOM.
0	0	1	1	+20°	40% NOM.
0	1	0	0	+10°	20% NOM.
0	1	0	1	+ 5°	10% NOM.
0	1	1	0	+ 1°	5% NOM.
0	1	1	1	----	S T O P
1	0	0	0	----	S T O P
1	0	0	1	+ 1°	5% NOM.
1	0	1	0	+ 5°	10% NOM.
1	0	1	1	+10°	20% NOM.
1	1	0	0	+20°	40% NOM.
1	1	0	1	+35°	60% NOM.
1	1	1	0	+60°	80% NOM.

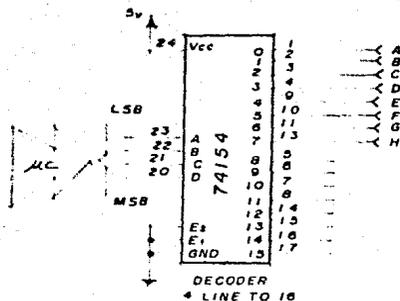


Fig. 5.29 Información de salida para controlar la velocidad, esta a su vez estará conectada a los C.I. 4066 de la fig. 27

### 5.7.2 CONTROL DE EVENTOS

Con respecto al puerto de salida que va a ser utilizado como de control, tenemos utilizados cuatro bits de este puerto unicamente siendo decodificados, estos, para tener a modo un total de 16 combinaciones, y por lo tanto 16 eventos posibles, todos indispensables para decidir si se toman o entregan datos a la computadora y a su vez lo que se requiere, tomar o entregar. Con esto damos una mayor eficiencia y optimización al Hardware con que trabajamos, como a continuación se señala.

b0	b1	b2	b3	EVENTOS
0	0	0	0	Control MUX 3-1 SET
0	0	0	1	Control MUX 3-1 RESET
0	0	1	0	Control MUX 3-2 SET
0	0	1	1	Control MUX 3-2 RESET
0	1	0	0	Control MUX 3-3 SET
0	1	0	1	Control MUX 3-3 RESET
0	1	1	0	Control MUX 2 SET
0	1	1	1	Control MUX 2 RESET
1	0	0	0	Control S. Vel. H.SET
1	0	0	1	Control S. Vel. H.RESET
1	0	1	0	Control S. Vel. CLEAR SET
1	0	1	1	Control S. Vel. CLEAR RESET
1	1	0	0	Control S. pos X SET

1	1	0	1	Control S. Pos X. RESET
1	1	1	0	Control S. Pos Y. SET
1	1	1	1	Control S. Pos Y. RESET

Ya decodificado habilitamos (con cada uno de ellos) varios latches con los cuales mantenemos una opción, o varias, el tiempo necesario.

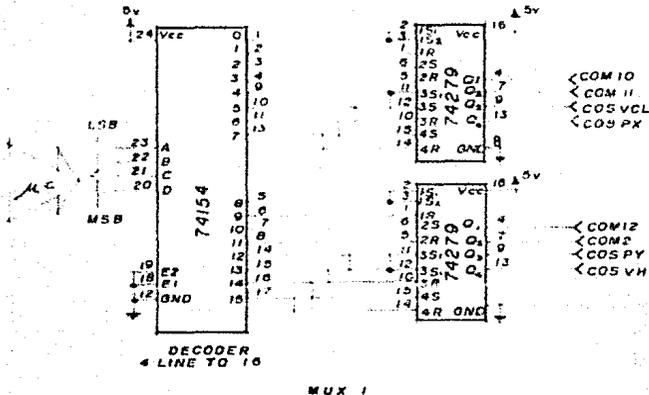


Fig. 5.30 Control de eventos ( MUX 1 )

### 5.7.3 CODIFICADOR DE LA POSICION.

El conteo de posición debe ser en ambos sentidos, - positivo y negativo, para ambos motores, teniendo como actuador los sensores de dirección, mostrados más ade--

lante, en la figura 5.34, y de dos divisores de frecuencia que nos dan un pulso cada grado de movimiento de la antena en cada uno de sus movimientos, X horizontal ó Y vertical, los cuales no son mayores a  $180^\circ$  por cada uno porque aún así cubrimos todo el espacio necesario.

La cantidad en que dividimos la frecuencia es dada por la relación de movimiento entre antena y motor, porque a la salida de cada motor tenemos un motoreductor de 60:1 y un par de engranes a la salida del motoreductor, la relación de dientes entre engranes es también un reductor de movimiento.

Si bien tenemos que la velocidad nominal del motor es de 1725 RPM; la relación de engranes para el motor Y es de 10 y de  $(130/9)$ , para el motor X; por lo tanto tendremos que por cada  $(1725/600)$  revoluciones del motor Y, el movimiento de la antena será de 1 RPM en dirección vertical. Ahora que por cada  $(1725/(600 \times 130/9))$  revoluciones del motor X la antena se moverá 1 RPM en su respectivo grado de libertad.

Para el motor X, ya que el divisor no es exacto porque la relación de engranes aunada a la relación de entrada-salida del motoreductor  $(60 \times (130/9) = 866 \frac{2}{3})$ . Utilizamos contadores en cascada para obtener un divisor de frecuencia sencilla.

Como se verá en el diagrama la división es dada por -- tres divisores separados, uno de tres y dos más de 17, que multiplicados nos da una relación de entrada-salida de 867:1, un tercio más de lo que nos da la rela--- ción de engranes y el motoreductor, por lo cual necesitamos restar un pulso de entrada por cada tres de salida, y esto se hizo posible mediante otro contador y -- una compuerta AND y otra OR, como se ve en el diagrama de la figura 5.32 ( divisor motor X).

Para el motor Y, fue más sencillo, porque la relación de engranes es de diez, por tanto la relación final de entrada-salida es de 600, también esto se logra con tres divisores separados, uno de seis y dos de --- diez, ver diagrama de la figura 5.32 (divisor motor Y).

Los pulsos de entrada para los divisores de fre--- cuencia de los motores, al switchador del senseo de velocidad y al sensor de dirección son dados por arre--- glos ópticos sobre un disco con perforaciones como se mostrará más adelante.

La salida de los divisores de frecuencia son entrada común para dos compuertas del tipo OR de dos entradas para cada divisor, la segunda entrada en cada compuerta es dada por el sensor de dirección. En la salida



da de estas cuatro compuertas, tenemos las entradas para el cambio de dirección de conteo de los contadores que finalmente tendrán la posición de los motores. En solo dos de las cuatro compuertas obtendremos pulsos, una salida para el contador del motor X, como se ve en el diagrama de la figura 5.31 (MUX 2).

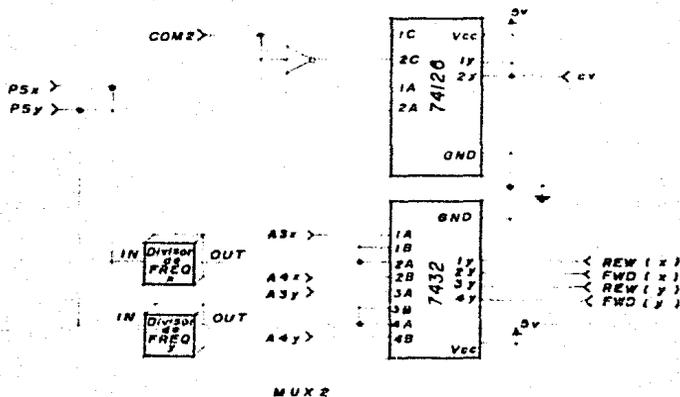


Fig. 5.31 Circuito de entrada de información, suministrada por los sensores (MUX 2).

Ya con lo anterior tenemos los elementos necesarios con lo cual hacer un conteo de grados reales de movimiento utilizando dos contadores binarios en cascada para cada uno de los motores, la salida de estos es entrada directa a los codificadores de posición. Con estos-

dos contadores tenemos opción de contar hasta 256, aunque no es necesario el conteo superior a 180.

A su vez en estos contadores es donde tenemos la opción de establecer con anterioridad cualquier dato dado por la computadora y que este a su vez presente la señal necesaria a la entrada del decodificador de control (ver diagrama de la figura 5.30 MUX 1), dando así una posición de referencia a la entrada del circuito de posición, evitando posible falla de potencia a su memoria (FLIP FLOP'S de los contadores), o por cualquier otra razón. Para lo cual se tiene que utilizar el puerto de entrada al computador como de salida (solo por un instante), en el puerto de control se entrega el dato necesario, para cargar cualquier contador (en general) ya sea X ó Y.

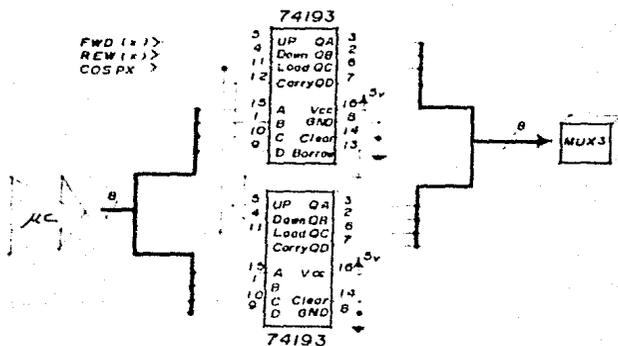


Fig. 5.33 Codificador de posición del motor X ó posición horizontal. Para el movimiento vertical ó Y - se requiere de otro circuito idéntico.

#### 5.7.4 CONTROL DE DIRECCION

Dada la necesidad de sensar dirección en ambos motores, se colocaron dos fotosensores, arreglos ópticos, - en cada motor para que el sensado sea de una manera eficaz u óptima, sin llegar a equivocación o mala interpretación, por lo cual se tendría un error apreciable en - la posición de los motores y por lo tanto en la dirección de la antena, se da de antemano que el sensor debe ser simple y sin opción de error.

Se diseñó este sensor en base a dos fotosensores -- que son instalados en forma rectangular en el disco colocado en los ejes del motor, y de acuerdo con esto la desviación de fase de sus salidas PS1 Y PS2 son contrarias.

Por ejemplo, en el momento de ir en movimiento en -- sentido de las manecillas del reloj, llámese FORWARD, - la fase de PS1 tiene un adelanto de 90 grados con respecto a PS2, así que los pulsos son generados en A1 - como se muestra en los diagramas de tiempos, figura -- 5.35.

Uno de estos fotosensores, es usado para sensar posición, en tanto, que el otro es usado para sensar velo

cidad, en suma dos fotosensores para cada motor.

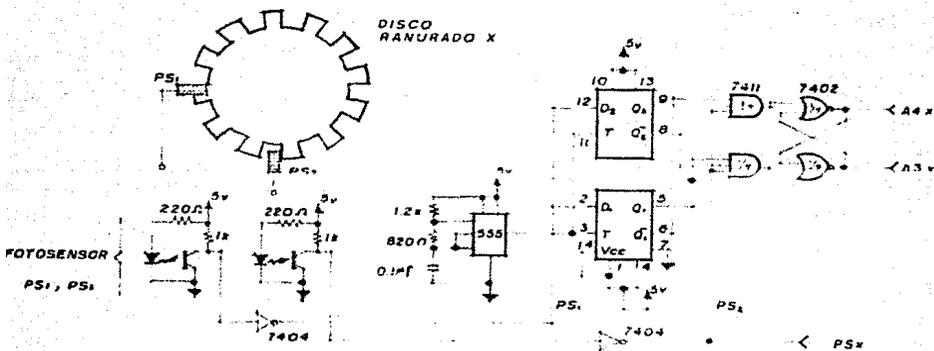


Fig. 5.34 Sensor de dirección X, compuesto por el FLIP-FLOP y las compuertas, circuito oscilador, -- sensores y forma en que estan situados los -- sensores en el disco. Para sensar Y, se necesita otro circuito igual.

Así mismo si el disco acoplado al motor gira en sen tido inverso, se tiene que los pulsos apareceran en A2, según se representa en el diagrama de tiempo.

Y si bien, ya tenemos la dirección hubo la necesi-- dad de introducir un nivel alto en A3, cuando el disco-- gira en dirección positiva (FORWARD), mientras que en -- A4 aparece un nivel bajo. Y si bien, un nivel alto apa

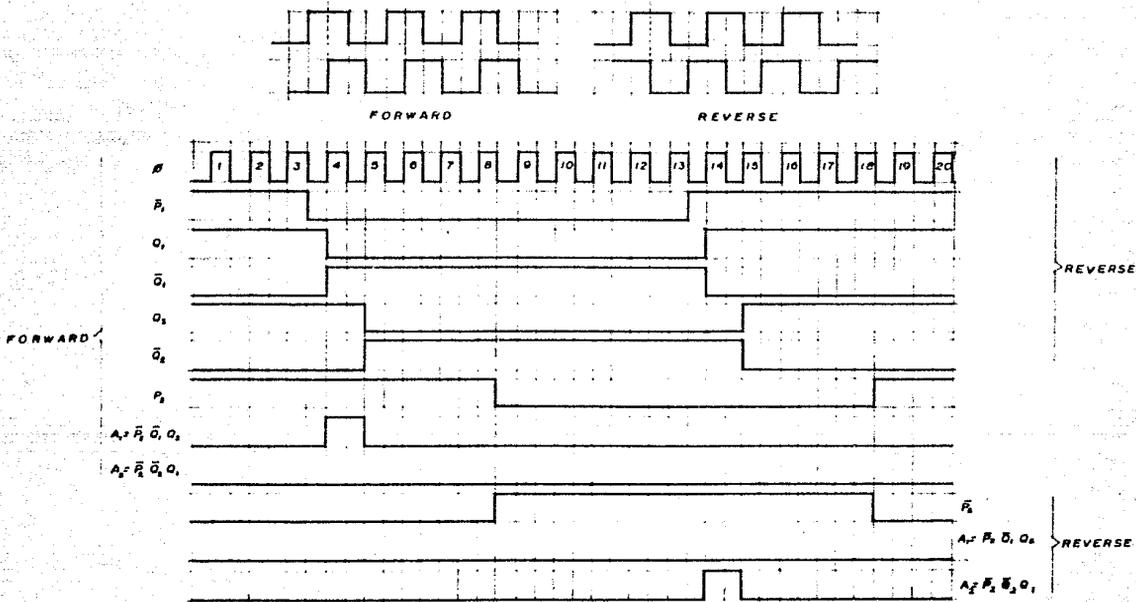


Fig. 5.35 Diagrama de tiempo, del circuito sensor de direcci3n

rece en A4, este nos dice que gira en sentido contrario a las manecillas del reloj (llamase REWIND, revers), es tos pulsos que provocan el cambio del nivel son del tamaño, en tiempo, de un periodo de reloj y se repiten en cada periodo de los fotosensores, en las figuras 5.34 y 5.35, encontraremos el circuito sensor de dirección y el diagrama de tiempos para complementar la explicación.

Siendo los periodos del reloj menores en diez veces que el mínimo periodo de los fotosensores, el punto crítico de frecuencia será  $8 F_{max}$  de los fotosensores, en otras palabras, si tenemos que como máximo los fotosensores darán una frecuencia de reloj de 1725 RPM del motor por el numero de oroficios en el disco (9) no da -- 258.75 Hz, que multiplicados por 8 son 2070 hz, por tanto la frecuencia del reloj será mayor a 2070 Hz.

El reloj es un oscilador (C.I.) 555 con  $R_1=1200$  --- ohms,  $R_2=820$  ohms  $C = .1$  MF dando que  $f=1.44/[(R_1 + 2R_2) C_1] = 5070.4$  Hz. Y esto entra a un flip flop que divide la frecuencia entre dos  $5070/2 = 2535$ , que cumple con el requisito de frecuencia mínima.

### 5.7.5 CODIFICADOR DE VELOCIDAD

Se estima la velocidad contando el número de pulsos que arriban a un contador en un intervalo de tiempo, -- comparado con la velocidad nominal del motor.

Para realizar lo anterior tenemos que controlarlo - con tiempo real, por medio del computador, la habilitación del conteo se realiza por un intervalo de tiempo, - antes de iniciar el conteo se reestablece el contador - para inicializarlo y así evitar errores significativos - en el sentido de velocidad.

Lo anterior y el switcheo del circuito MUX 2 con -- respecto al monitoreo de X y Y, dará como resultado que el conteo sea después del tiempo dado, la velocidad promedio en este intervalo de tiempo y para lograr esto tenemos un par de contadores conectados en cascada para - obtener más de 16 pulsos contados, ya que la velocidad máxima en 1 segundo es la que resulta de un conteo de - 1750 RPM /60 segundos o sea 30 pulsos por segundo por - el número de orificios en el disco (9) = 270 en segundos y si tenemos 8 bits, tendremos 256 combinaciones posibles por lo tanto, el intervalo de tiempo tiene que - ser menor a  $256/270$  de segundo.

La salida del codificador de velocidad ( 8 bits ) - figura 5.36, va conectada al circuito MUX 3, figura --- 5.37 en espera de ser requeridos y presentados a la computadora en su puerto de entrada.

La salida de este contador es en si la velocidad -- promedio del motor en un instante dado, esta salida se presenta al codificador de velocidad para ser tomada -- cuando sea requerida ( ver diagrama MUX 3 ).

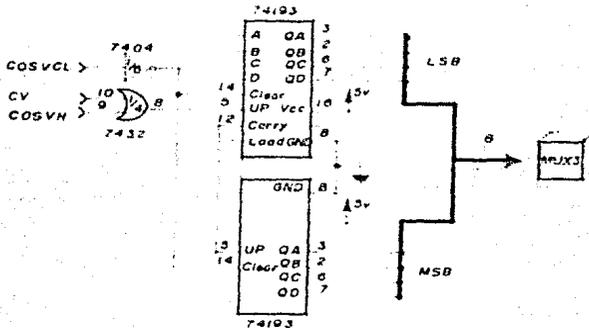


FIG. 5.36 Codificador de Velocidad

Para monitorear las posiciones y la velocidad de cada motor, tenemos latches TRI-STATE, que en adición con las salidas de la computadora, en su puerto de control-

aporta las señales para controlar el Hardware. El MUX 3 switchea posición del motor X, posición del motor Y, o bien velocidad del motor X o Y seleccionadas previamente. En total se cuenta con tres señales de switcheo a elegir, habilitadas como salida por la combinación de entrada que es suministrada como dato por la computadora, por medio de la cual se elegirá que señal se desea monitorear. (referirse a la fig. 5.30 MUX 1).

Tenemos como entrada a la computadora las tres señales, cada una con 8 bits (256 combinaciones), estas tres señales son comunes entre sí, con la característica particular que se deshabilita por medio de un estado de alta impedancia la salida de los latches para seleccionar solo una de estas tres señales, el estado de alta impedancia permanece hasta que sea suministrado una nueva información por la computadora.

Con estas tres señales habilitamos (la salida se torna igual a su entrada) cualquiera de los tres latches TRI-STATE, y a su vez, mediante latches R-S deshabilitamos los otros dos mandando su salida al estado de alta impedancia para evitar errores en la palabra de entrada al ordenador.

De modo tal que si algún latch está habilitado, en-

los otros dos se encontrará su salida en estado HI-Z.  
 Si ninguno esta seleccionado la salida de los tres será de alta impedancia (el ordenador carecera de señal de entrada en este puerto). ver diagrama de la figura 5.37 MUX 3.

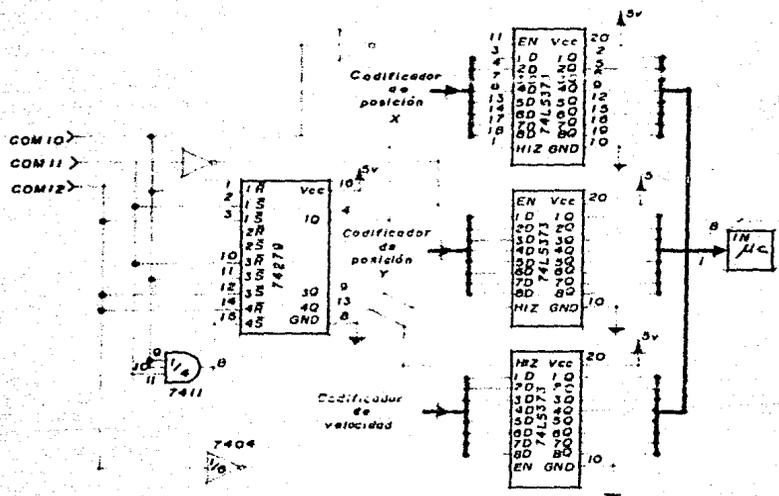


FIG. 5.37 Circuito electrico, MUX 3 . (74LS137 OCTAL LATCH TIPO-D) Salida de la señal de los codificadores hacia el ordenador.

## Capítulo 6

# Software del Sistema

---

### 6.1 SISTEMA NO REALIMENTADO

#### DESCRIPCION DEL SISTEMA

El objetivo de este programa es posicionar la antena parabólica en base a una posición XN o acimut y una posición YN o elevación. (altitud)

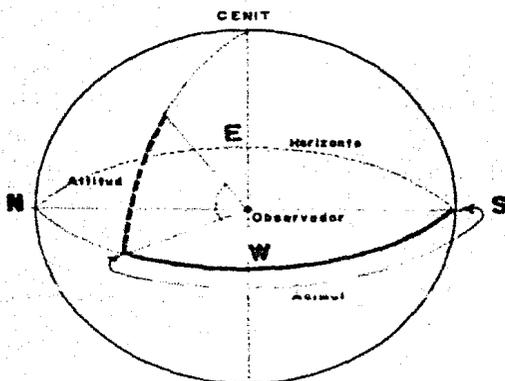
Los astrónomos consideran usualmente al universo como una esfera en la cual el observador ocupa el centro. El círculo del horizonte corta esa esfera en dos mitades y está situado a la misma altura que el observador. Cuando queremos indicar la posición exacta de un astro cualquiera, nos valemos de ciertas medidas basadas en ese círculo, y en los meridianos de la esfera. Para en

contrar el meridiano del astro, trazamos sobre la esfera una línea desde el punto situado exactamente sobre la cabeza del observador ( el cenit ) hasta el círculo del horizonte y que pase por ese astro. El arco de meridiano comprendido entre el astro y el punto de intersección de esa línea con el círculo del horizonte, será la altitud del astro. El acimut del mismo astro será el arco del horizonte comprendido entre el punto -- sur de la esfera celeste y la intersección del horizonte con el meridiano. Este arco se traza partiendo del punto sur de la esfera en dirección oeste y sobre el horizonte.

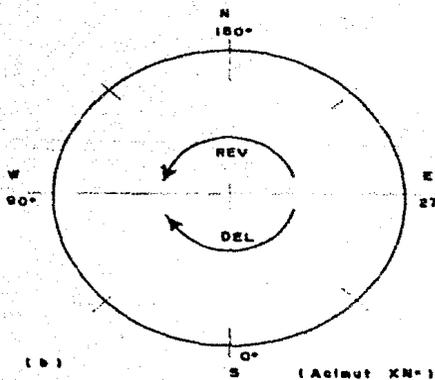
La altitud y el acimut bastan para dar exactamente la posición de un astro, del mismo modo que la latitud y la longitud son suficientes para situar un punto --- cualquiera de la superficie terrestre, figura 6.1.a.

En la figura 6.1 a. se representa el diagrama de la forma de posicionar la antena parabólica en acimut y elevación para localizar un punto en el espacio.

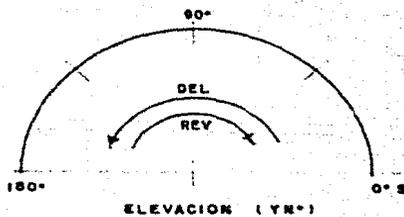
Tomando en cuenta los conceptos de altitud y acimut descritos anteriormente, se procede a realizar un programa que logre el objetivo mencionado.



( a )



( b )

( Acimut  $KN^\circ$  )

( c )

ELEVACION (  $YN^\circ$  )

FIGURA 6.1 (a) Diagrama representativo de la forma de localizar un astro en el espacio.

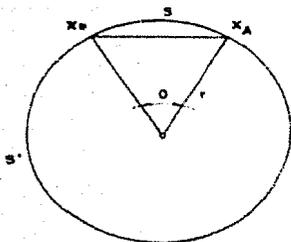
(b) Esquema del movimiento en el eje "x" o acimut,

(c) Movimiento "y" o elevación.

Este programa se fundamenta principalmente en el uso de la relación geométrica para el cálculo de la longitud de un arco ( $s$ ) y su longitud de arco complementario ( $s'$ ). A su vez nos permite seleccionar la ruta mas corta para realizar el movimiento.

Metodo utilizado:

#### CALCULOS DE ARCOS DEL CIRCULO



$XN$ - Nuevo valor de la posición "x"  
 $XA$ - Valor anterior de la posición "x".

$\theta$ - Ángulo central formado por los valores de  $XN$ ,  $XA$ .

$r$ - Radio de la circunferencia.

$S$ - Longitud del arco  $XN - XA$

$S'$ - Longitud del arco complementario.

FIGURA 6.1.d

$$S = r \theta$$

$$S' = 2 \pi r - S \quad 1 \text{ radián} = r = \frac{180^\circ}{\pi}, \quad 2 \pi r = 360 = \text{perímetro}$$

De tal manera observamos que el perímetro lo estamos conteniendo dentro de un valor de 360, este valor - para efectos de ajuste en los movimientos se puede variar o permanecer cte , por medio de la variación de  $r$ . -  
 ( figura 6.1.d )

- En el eje X o acimut se cuenta con movimiento de 360°
- En el eje Y o elevación se tiene 180°a partir del horizonte,  $0 < \gamma < 180$ .( figura 6.1.b y 6.1.c )

DIAGRAMA DE FLUJO:

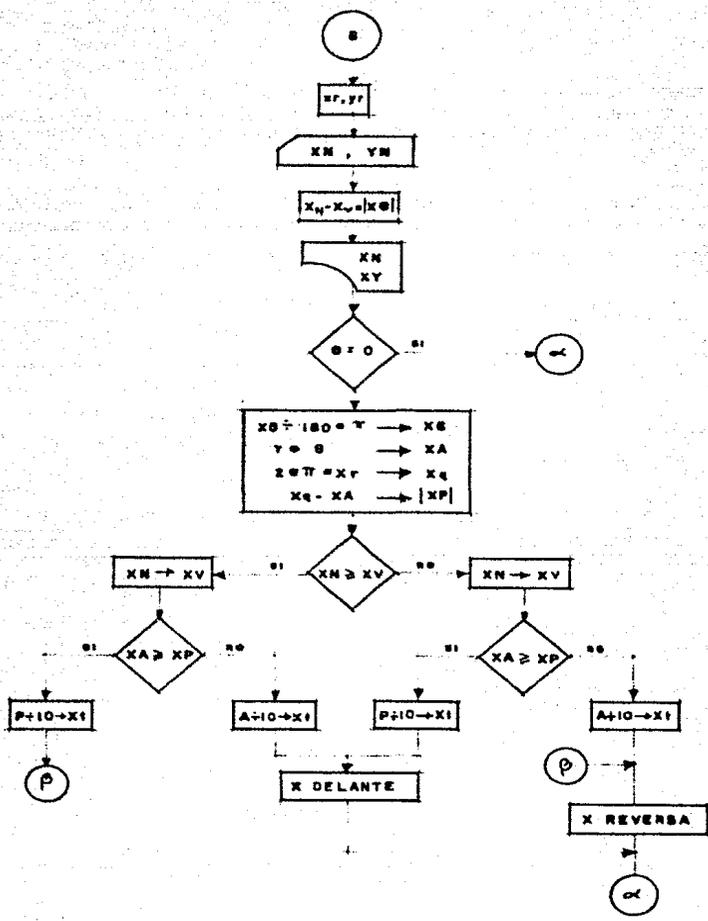


FIGURA 6.2.a Determinación del movimiento y posición - en "X".

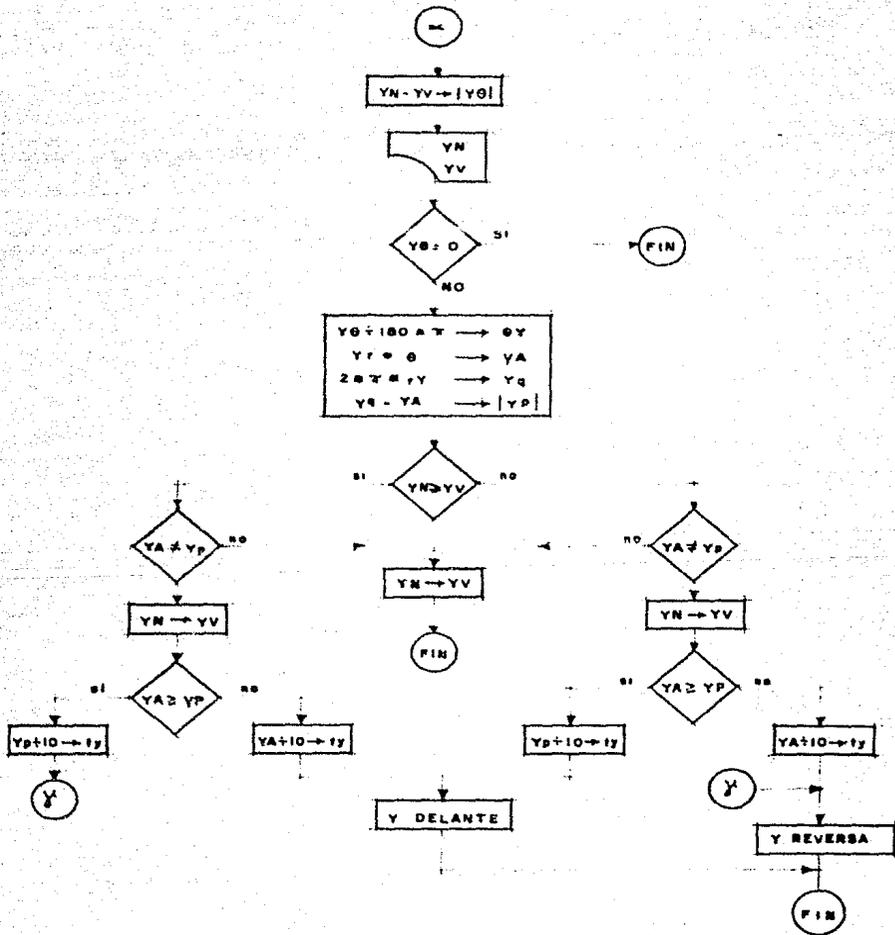


FIGURA 6.2.b Determinación del movimiento y posición - "y".

1				2
" POSICIONADOR "				
XR	XD	YR	YD	
INICIO	XN	YN		

## MODO DE USO

PASO	DESCRIPCION	INTRODUCIR	PRESIONAR	RESULTADO
1	Repartir memoria		5 <input type="button" value="OP"/> 17	559 . 49
2	Leer el programa		INV <input type="button" value="WRITE"/> 1,2,3	1, 2, 3.
3	Iniciar programa		<input type="button" value="A"/>	57 . 29
4	Posición deseada XN	XN°	<input type="button" value="B"/>	XN
5	Posición deseada YN	YN°	<input type="button" value="C"/>	YN
6	Para efecto de ajuste - sin alterar los valores de XN, YN, se hace lo - siguiente:			
6.1	Reversa XR	1	<input type="button" value="A'"/>	2
6.2	Delante XD	1	<input type="button" value="B'"/>	2
6.3	Reversa YR	1	<input type="button" value="C'"/>	0
6.4.	Delante YD	1	<input type="button" value="D'"/>	0

## NOTAS:

1. Los valores a considerar para X son  $0 < X < 360$ .
2. Los vslores a considerar para Y son  $0 < Y < 180$ .
3. Los movimientos de ajuste son para efecto de pre  
sición, una vez terminados los movimientos de XN  
y YN.
4. Al ser leídos los valores se considera que la an  
tena esta en la posición XN=0, YN=0.

5. Si se desea que parta de una posición establecida, dar valores a XV, YV, o antes de conectar el bus de la interface dar esos valores en XN, - YN de tal manera que no se mueva la antena.

Ejemplo 1: Partiendo de la posición cero que es el de carga del programa, se tendría para  $XN=60^\circ$   $YN=20^\circ$  - que equivale en acimut =  $60^\circ$ ; elevación =  $20^\circ$

60.  
0. XNVA  
XANT  
DEL+

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

20.  
0. YNVA  
YANT  
DEL+

\*  
\*

EJEMPLO 2: Posicionar la antena parabólica a una -  
 nueva ruta. Acimut = XN = 30; altitud = YN = 60°, re--  
 cordando que teniamos valores anteriores de XA = acimut  
 = 60° y altitud o YA = 20, el movimiento se determina--  
 ria de la siguiente forma:

```

30.      XNVA
40.      YANT
          REV-
  
```

```

*
*
*
*
*
*
*
*
*
  
```

```

60.      YNVA
20.      YANT
          DEL+
  
```

```

*
*
*
*
  
```

## CONSIDERACIONES:

## MOVIMIENTO CONTINUO

Si se desea un movimiento continuo en el funcionamiento del motor, proceder a ensamblar las siguientes instrucciones:

3 OP 07		2 OP 07	
3 OP 07	Rx	2 OP 07	Dx
2 OP 07	(3 tiempos)	2 OP 07	(3 tiempos para igualar Rx)
1 OP 00		0 OP 07	Dy
0 OP 00	Ry	0 OP 07	(2 tiempos)
	(2 tiempos)		

En este movimiento continuo existe menor exactitud.

## MOVIMIENTO INTERMITENTE

Un solo paso con mayor exactitud en la posición.

3 OP 07		2 OP 07	
3 OP 07	Rx	PAUSA	Dx
2 OP 07			
PAUSA			
1 OP 00		0 OP 00	Dy
1 OP 00	Ry	PAUSA	
0 OP 00			
PAUSA			

## NOTA:

Al ajustar el movimiento si se desea mandar un mayor número de impulsos al motor, dividir por un número entero menor a 10 en las -

siguientes instrucciones.

RCL 08 ÷ 10 = STO 07 } Para "x"  
RCL 05 ÷ 10 = STO 07 }

RCL 15 ÷ 10 = STO 00 } Para "y"  
RCL 13 ÷ 10 = STO 00 }

## 6.2 SISTEMA REALIMENTADO

### DESCRIPCION DEL SISTEMA REALIMENTADO

La particularidad de éste sistema, consiste en el uso de los sensores como referencia para situar la antena parabólica en sus coordenadas reales.

El diagrama de flujo que se muestra en la fig. 6.3- servirá de guía, para comprender con mayor rapidez la descripción del software del sistema, que a continuación se menciona.

En primer termino se plantea desde el punto de vista de que el sistema inicia sin ninguna condición de entrada:

- 1) En el bloque No.1, es suministrada la información en la cual estan situados los sensores.
- 2) Enseguida se situa una bandera con condición baja.
- 3) En el bloque No.3, se analiza la condición en la que se encuentra la bandera, si la respuesta es negativa indica que el sistema inicia, por lo tanto, se levanta la bandera y se cargan los datos que mandaran al sistema sensor activo.
- 4) En caso de que el bloque No. 3 fuera afirmativo, pasamos al bloque No. 8.
- 5) Las instrucciones para inicializar el sistema se--

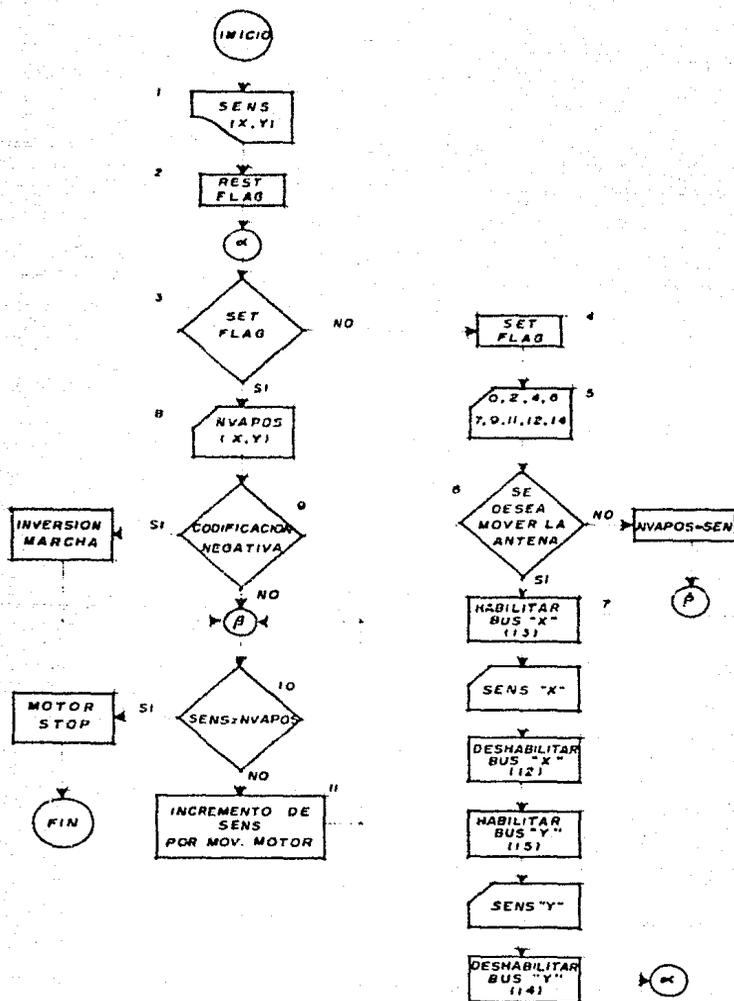


FIGURA 6.3 Diagrama de flujo del sistema realimentado

rían las siguientes, según el bloque No. 5 del diagrama de flujo:

CODIGO DECIMAL	CODIGO BINARIO	INSTRUCCION	
0	0 0 0 0	COM	10 SET
2	0 0 1 0	COM	11 SET
4	0 1 0 0	COM	12 SET
6	0 1 1 0	COM	2 SET
7	0 1 1 1	COM	2 RESET
9	1 0 0 1	COSVH	RESET
11	1 0 1 1	COSVCL	RESET
12	1 1 0 0	COSPX	SET
14	1 1 1 0	COSPY	SET

La tabla de instrucciones muestra lo siguiente:

- En inicio se tienen que dar las condiciones de arranque del sistema, es decir, inicializarlo para evitar errores, en otras palabras, se necesita estabilizar el sistema para el control de lectura hacia MUX 1, esto se logrará haciendo que uno de los tres controles COM 10, COM 11 ó COM 12 permanezca en estado bajo.
- Enseguida por medio de COM 2 SET ó COM 2 RESET, se seleccionará entre monitorear motor "X" (SET) ó moni

- torear motor "Y" (RESET).
- La instrucción COSVH deshabilita el sensor de velocidad y con la instrucción COSVCL damos un clear al codificador de velocidad, la deshabilitación se logra por medio de RESET.
  - Por último por medio de COSPX o COSPY se activa --- (SET), el control de posición ya sea posición del motor X o posición del motor Y.
- 6) Después de dar instrucciones de inicio se pregunta si deseamos posicionar la antena a un nuevo valor de posición, en caso de ser afirmativo se pasa al bloque No. 7, si la respuesta es negativa el valor del sensor se asigna a una variable NVAPOS de tal manera que al pasar al bloque 10 la respuesta es -- afirmativa y el motor no se mueve.
- 7) En el bloque No. 7, se habilita la "pín" de carga (LOAD) por medio de un (13) de tal forma que nos -- permite seleccionar, en este caso habilitar (abrir) el canal de carga en la posición X.
- Una vez abierto el canal cargamos el valor de la posición "X" o acimut. Enseguida se procede a deshabilitar (cerrar) el canal, con un (12) en el puerto-

para evitar que fluyan datos no deseados y de esta forma mantenerlo inviolable.

Después de realizar lo anterior, se procede a realizar lo mismo, solo que para carga de posición en -- "Y", o elevación. Con la diferencia que se habilita con (15) y deshabilita con (14).

- 8) Una vez efectuado lo anterior regresamos al bloque 3 en el cual encontramos que la bandera esta levantada, por lo tanto se cumple la condición y se pide leer nuevos valores de posición en el bloque 8.
- 9) En el bloque 9 se condiciona la codificación de entrada, en caso de ser negativa, invierte la marcha del motor en su defecto continúa.
- 10) En el bloque No. 10, se realiza la comparación entre el valor del sensor de posición, y el valor de la posición a la que se desea llegar. En caso de que este valor sea diferente pasa al bloque 11 en el cual se realiza un incremento en el sensor de posición por acción del movimiento del motor y regresa al bloque 10, el momento en el cual la comparación sea igual se saldrá de éste ciclo y el motor se detendrá en la posición deseada y termina el proceso.

- 11) Para lograr una nueva posición, correr el programa, este a su vez se situará en el bloque 8, en el cual se piden nuevos valores de posición.

A continuación aportamos una forma de realizar el software en una microcomputadora Apple, con lenguaje basic.

**NOTA:**

Ver apéndice B al final

## C O N C L U S I O N

En la industria hay numerosas operaciones, las cuales requieren que se entregue una cantidad de potencia eléctrica variable y controlada. La iluminación, el control de la velocidad de un motor, la soldadura eléctrica y el calentamiento eléctrico son las cuatro operaciones más comunes. Siempre es posible controlar la cantidad de potencia eléctrica que se entrega a una carga si se utiliza un transformador variable o un reóstato en serie con la carga. Sin embargo, para grandes potencias, estas dos opciones resultan de gran tamaño, costosas, necesitan mantenimiento y además desperdician una cantidad apreciable de energía.

Desde 1960, está disponible un dispositivo electrónico, el cual no adolece de las fallas antes mencionadas. EL TRIAC es pequeño y relativamente barato, no necesitan mantenimiento y su consumo de potencia es muy pequeño. Algunos TRIAC'S pueden controlar corrientes del orden de varios cientos de amperes en circuitos que operan a voltajes tan elevados como 1000 V.

En esta forma la importancia de los actuadores para el control de la velocidad en motores de corriente al-

terna ha alcanzado ya la fase industrial. Su desarrollo se ha acelerado dada la inquietud reciente de ahorro de energía en los procesos industriales. La tecnología para este tipo de control es gracias a la experiencia obtenida previamente con los accionamientos con motores de corriente continua.

Por otra parte la tecnología del estado sólido avanza a pasos acelerados, hacia nuevas formas de desarrollo, lo cual hace que los sistemas se simplifiquen considerablemente y sean más efectivos.

Los microprocesadores día a día son más utilizados debido a su gran flexibilidad, confiabilidad, costo y servicio.

En consecuencia, la automatización respaldada por lo anteriormente mencionado hace que los sistemas sean cada vez más sencillos y de un grado superior, pues es claro que el futuro se centra en el avance de la robótica y sistemas computarizados.

1. El triac no está limitado a  $180^\circ$  de conducción por ciclo. Con el adecuado arreglo de disparo, puede conducir por la totalidad de los  $360^\circ$  por ciclo, lo cual proporciona control de potencia de onda comple

ta en lugar del control de media onda posible con un SCR.

2. Los triac's tienen las mismas ventajas que tienen los transistores sobre los interruptores mecánicos. No tienen rebote de contacto, no se produce arco en contactos parcialmente abiertos y pueden operarse - mucho más rápido que los interruptores mecánicos, - por tanto permiten un control de corriente más preciso.
3. El uso de motores de A.C. en la industria es cada día mas utilizado que los motores de C.D. debido a la gran diferencia en costos.
4. Con los conocimientos actuales y la tecnología apropiada de control de fase o control de frecuencia se logra un control absolutamente confiable de la velocidad variable en motores de A.C.
5. Los circuitos integrados sin lugar a dudas siguen - siendo el camino mas apropiado para desarrollar los sistemas que doten de visión a un elemento motor, - en este caso el censado y realimentación de la información se realiza por medio de estos, teniendo - como cerebro al microprocesador el cual se encarga-

de dirigir, procesar y dar una operación de salida, la cual esta fundamentada en una serie de instrucciones preestablecidas en la microcomputadora (software).

En esta forma se observa que la automatización se centra en este proyecto como idea principal, ya que del resultado de esta operación se define el objetivo, el cual consiste, en situar hacia un punto determinado del espacio el foco de la antena parabólica por medio de coordenadas en acimut y elevación registradas en la microcomputadora como dato, el objetivo se cumple en su totalidad, dando como resultado un movimiento completamente preciso, rápido y con el menor esfuerzo físico.

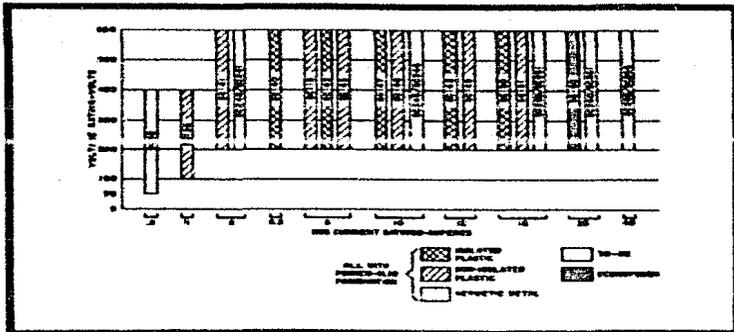
## A P E N D I C E A

## GUIA DE SELECCION

(TRIAC, DIAC)

GENERAL ELECTRIC THYRISTOR AND DIODE CONDENSED SPECIFICATIONS + 6

TRIAC SELECTOR GUIDE



TRIAC TRIGGERS



The ST2 (40J) is a silicon bi-directional diode which may be used for triggering triacs or SCR's. It has a three layer structure with negative resistance switching characteristics in both directions.

The ST4 is an asymmetrical AC trigger integrated circuit for use in triac phase control applications. This device reduces the resistor effects that are present in conventional trigger circuits by emulating contact control systems. This performance is possible with a single I.C. device whereas in a symmetrical circuit of comparable performance would require at least three more passive components.

Part No.	The Initiating Voltage		The Switching Voltage		The Peak Switching Current (A)	Peak Voltage (V)	Peak Current (A)
	Min.	Max.	Min.	Max.			
ST2	20	25	20	25	20	2.0	2.0
ST4	7	9	14	20	20	2.5	2.5

For I.C. No. 40J, 200.





## A P E N D I C E B

## LISTADOS DEL PROGRAMA

## LISTADO DEL PROGRAMA NO REALIMENTADO

000	76	LBL	050	97	DSZ	100	03	3
001	16	A'	051	00	00	101	07	1
002	42	ST0	052	24	CE	102	04	4
003	07	07	053	10	E'	103	03	2
004	76	LBL	054	76	LBL	104	01	1
005	33	X2	055	19	D'	105	03	3
006	03	3	056	42	ST0	106	69	0P
007	69	0P	057	00	00	107	04	04
008	07	07	058	76	LBL	108	43	RCL
009	03	3	059	23	LNx	109	01	01
010	69	0P	060	00	0	110	69	0P
011	07	07	061	69	0P	111	06	06
012	02	2	062	07	07	112	64	4
013	69	0P	063	66	PAU	113	04	4
014	07	07	064	97	DSZ	114	01	1
015	66	PAU	065	00	00	115	03	3
016	97	DSZ	066	23	LNx	116	03	3
017	07	07	067	10	E'	117	01	1
018	33	X2	068	76	LBL	118	03	3
019	15	E	069	11	A	119	07	7
020	76	LBL	070	05	5	120	69	0P
021	17	B'	071	07	7	121	04	04
022	42	ST0	072	93	.	122	43	RCL
023	07	07	073	02	2	123	02	02
024	76	LBL	074	09	9	124	69	0P
025	35	1/X	075	05	5	125	06	06
026	02	2	076	07	7	126	53	C
027	69	0P	077	07	7	127	43	RCL
028	07	07	078	09	9	128	01	01
029	66	PAU	079	05	5	129	75	-
030	97	DSZ	080	01	1	130	43	RCL
031	07	07	081	42	ST0	131	02	02
032	35	1/X	082	04	04	132	54	5
033	15	E	083	43	RCL	133	50	IXI
034	76	LBL	084	04	04	134	95	=
035	16	C'	085	95	=	135	42	ST0
036	42	ST0	086	42	ST0	136	03	03
037	00	00	087	12	12	137	00	0
038	76	LBL	088	91	R/S	138	32	X:T
039	24	CE	089	76	LBL	139	43	RCL
040	01	1	090	12	0	140	03	03
041	69	0P	091	42	ST0	141	67	EQ
042	07	07	092	01	01	142	15	E
043	91	1	093	91	R/S	143	43	RCL
044	69	0P	094	76	LBL	144	03	03
045	07	07	095	13	C	145	55	5
046	00	0	096	42	ST0	146	01	1
047	69	0P	097	09	09	147	08	8
048	07	07	098	04	4	148	00	0
049	66	PAU *	099	04	4	149	65	X

150	89	π	200	57	ENG	250	01	01
151	95	=	201	43	RCL	251	95	=
152	42	STO	202	08	08	252	42	STO
153	03	03	203	55	÷	253	02	02
154	43	RCL	204	01	1	254	43	RCL
155	04	04	205	00	0	255	05	05
156	65	X	206	95	=	256	32	X:T
157	43	RCL	207	42	STO	257	43	RCL
158	03	03	208	07	07	258	08	08
159	95	=	209	03	3	259	77	GE
160	42	STO	210	05	5	260	38	SIN
161	08	08	211	01	1	261	43	RCL
162	02	2	212	07	7	262	08	08
163	65	X	213	04	4	263	55	÷
164	89	π	214	02	2	264	01	1
165	65	X	215	02	2	265	00	0
166	43	RCL	216	00	0	266	95	=
167	04	04	217	64	OP	267	42	STO
168	95	=	218	04	04	268	07	07
169	42	STO	219	69	OP	269	01	1
170	06	06	220	05	05	270	06	6
171	53	C	221	61	GT0	271	01	1
172	43	RCL	222	33	X2	272	07	7
173	06	06	223	76	LBL	273	02	2
174	75	-	224	57	ENG	274	07	7
175	43	RCL	225	43	RCL	275	04	4
176	08	08	226	05	05	276	07	7
177	54	>	227	55	÷	277	69	OP
178	50	IXI	228	01	1	278	04	04
179	95	=	229	00	0	279	69	OP
180	42	STO	230	95	=	280	05	05
181	05	05	231	42	STO	281	61	GT0
182	43	RCL	232	07	07	282	35	1/X
183	02	02	233	01	1	283	76	LBL
184	32	X:T	234	06	6	284	38	SIN
185	43	RCL	235	01	1	285	43	RCL
186	01	01	236	07	7	286	05	05
187	77	GE	237	02	2	287	55	÷
188	34	JX	238	07	7	288	01	1
189	43	RCL	239	04	4	289	00	0
190	01	01	240	07	7	290	95	=
191	95	=	241	69	OP	291	42	STO
192	42	STO	242	04	04	292	07	07
193	02	02	243	69	OP	293	03	3
194	43	RCL	244	05	05	294	05	5
195	05	05	245	61	GT0	295	01	1
196	32	X:T	246	35	1/X	296	07	7
197	43	RCL	247	76	LBL	297	04	4
198	08	08	248	34	JX	298	02	2
199	77	GE	249	43	RCL	299	02	2

300	00	0	350	43	RCL	400	43	RCL
301	69	OP	351	11	11	401	13	13
302	04	04	252	67	EQ	402	32	X:T
303	69	OP	253	10	E'	403	43	RCL
304	05	05	254	43	RCL	404	15	15
305	61	GT0	255	11	11	405	22	INV
306	33	X2	356	55	=	406	67	EQ
307	76	LBL	357	01	1	407	30	TAN
308	15	E	358	08	8	408	43	RCL
309	04	4	359	00	0	409	09	09
310	05	5	360	65	X	410	95	=
311	03	3	361	89	$\pi$	411	42	ST0
312	01	1	362	95	=	412	10	10
313	04	4	363	42	ST0	413	10	E'
314	02	2	364	11	11	414	76	LBL
315	01	1	365	43	RCL	415	30	TAN
316	03	3	366	12	12	416	43	RCL
317	67	OP	367	65	X	417	09	09
318	04	04	368	43	RCL	418	95	=
319	43	RCL	369	11	11	419	42	ST0
320	09	09	370	95	=	420	10	10
321	69	OP	371	42	ST0	421	43	RCL
322	06	06	372	15	15	422	13	13
323	04	4	373	02	2	423	32	X:T
324	05	5	374	65	X	424	43	RCL
325	01	1	375	89	$\pi$	425	15	15
326	03	3	376	65	X	426	77	GE
327	03	3	377	43	RCL	427	45	YX
328	01	1	378	12	12	428	43	RCL
329	03	3	379	95	=	429	15	15
330	07	7	380	42	ST0	430	55	=
331	69	OP	381	14	14	431	01	1
332	04	04	382	53	C	432	00	0
333	43	RCL	383	43	RCL	433	95	=
334	10	10	384	14	14	434	42	ST0
335	69	OP	385	75	-	435	00	00
336	06	06	386	43	RCL	436	03	3
337	53	C	387	15	15	437	05	5
338	43	RCL	388	54	)	438	01	1
339	09	09	389	50	IXI	439	07	7
340	75	-	390	95	=	440	04	4
341	43	RCL	391	42	ST0	441	02	2
342	10	10	392	13	13	442	02	2
343	54	)	393	43	RCL	443	00	0
344	50	IXI	394	10	10	444	69	OP
345	95	=	395	32	X:T	445	04	04
346	42	ST0	396	43	RCL	446	69	OP
347	11	11	397	09	09	447	05	05
348	00	0	398	77	GE	448	61	GT0
349	32	X:T	399	39	COS	449	24	CE

450	76	LBL	500	43	RCL	550	76	LBL
451	45	YX	501	15	15	551	10	E'
452	43	RCL	502	77	GE	552	91	R/S
453	13	13	503	59	INT			
454	55	=	504	43	RCL			
455	01	1	505	15	15			
456	00	0	506	55	=			
457	95	=	507	01	1			
458	42	STO	508	00	0			
459	00	00	509	95	=			
460	01	1	510	42	STO			
461	06	6	511	00	00			
462	01	1	512	01	1			
463	07	7	513	06	6			
464	02	2	514	01	1			
465	07	7	515	07	7			
466	04	4	516	02	2	001	16	A'
467	07	7	517	07	7	005	33	X2
468	69	OP	518	04	4	021	17	B'
469	04	04	519	07	7	025	35	1/X
470	69	OP	520	69	OP	035	18	C'
471	05	05	521	04	04	039	24	CE
472	61	GTO	522	69	OP	055	19	D'
473	23	LNX	523	05	05	059	23	LNX
474	76	LBL	524	61	GTO	069	11	A
475	39	COS	525	23	LNX	090	12	B
476	43	RCL	526	76	LBL	095	13	C
477	13	13	527	59	INT	224	57	ENG
478	32	X:T	528	43	RCL	248	34	X
479	43	RCL	529	13	13	284	38	SIN
480	15	15	530	55	=	308	15	E
481	22	INV	531	01	1	415	30	TAN
482	67	EQ	532	00	0	451	45	YX
483	28	LOG	533	95	=	475	39	COS
484	43	RCL	534	42	STO	491	28	LOG
485	09	09	535	00	00	527	59	INT
486	95	=	536	01	1	551	10	E'
487	42	STO	537	06	6			
488	10	10	538	01	1			
489	10	E'	539	07	7			
490	76	LBL	540	04	4			
491	28	LOG	541	02	2			
492	43	RCL	542	02	2			
493	09	09	543	00	0			
494	95	=	544	60	OP			
495	42	STO	545	04	04			
496	10	10	546	69	OP			
497	43	RCL	547	05	05			
498	13	13	548	61	GTO			
499	32	X:T	549	24	CE			

ETIQUETAS  
UTILIZADAS EN EL  
PROGRAMA

001	16	A'
005	33	X2
021	17	B'
025	35	1/X
035	18	C'
039	24	CE
055	19	D'
059	23	LNX
069	11	A
090	12	B
095	13	C
224	57	ENG
248	34	X
284	38	SIN
308	15	E
415	30	TAN
451	45	YX
475	39	COS
491	28	LOG
527	59	INT
551	10	E'

## CONTENIDO DE LOS REGISTROS

R00	ty	R06	qx	R12	ry
R01	XN	R07	tx	R13	py
R02	Xv	R08	Ax	R14	qy
R03	0::	R09	YN	R15	AY
R04	rx	R10	Yv	R16	
R05	px	R11	0Y	R17	

## LISTADO DEL PROGRAMA REALIMENTADO

```

5 HOME
10 REM *****
11 REM PROGRAMA PARA CONTROLAR
12 REM HARDWARE POSICIONADOR
13 REM DE ANTENA PARABOLICA
14 REM *****
20 PR# 2: PRINT (0): PRINT (2): PRINT
(4): PRINT (6): PRINT (7): PRINT
(9): PRINT (11): PRINT (12):
PRINT (14)
30 PR# 0:A = 1: PR# 3: PRINT (0)
; PR# 2: PRINT (16): PRINT (
13): PRINT (12): PR# 3: PRINT
(0): PR# 2: PRINT (16): PRINT
(15): PRINT (14)
40 PR# 0: PRINT "EXISTE MOVIMIEN
TO INDEPENDIENTE S/N"; INPUT
OPT$
50 IF LEFT$(OPT$,1) = "N" GOTO
470
60 B = 1: REM LLEGADA DE CAMBIO
70 PR# 2: PRINT (1): PR# 1: INPUT
(PX): PR# 2: PRINT (1): PR#
1: INPUT (PX): PR# 2: PRINT
(0): PRINT (3): PR# 1: INPUT
(PY): PR# 2: PRINT (2)
80 PR# 0: INPUT "PX1,PY1";PX1,PY
1
90 X1 = PX1 - PX:Y1 = PY1 - PY
100 IF (X1 + Y1 = 0) GOTO 470
110 X = ABS (X1)
120 IF (X > 90) THEN M = 15: GOTO
200
130 IF (X > 60) THEN M = 14: GOTO
200
140 IF (X > 35) THEN M = 13: GOTO
200
150 IF (X > 20) THEN M = 12: GOTO
200
160 IF (X > 10) THEN M = 11: GOTO
200
170 IF (X > 5) THEN M = 10: GOTO
200
180 IF (X > 1) THEN M = 9: GOTO
200
190 M = B
200 Y = ABS (Y1)
210 IF (Y > 90) THEN L = 15: GOTO
290

```

```

220 IF (Y > 60) THEN L = 14: GOTO
290
230 IF (Y > 35) THEN L = 13: GOTO
290
240 IF (Y > 20) THEN L = 12: GOTO
290
250 IF (Y > 10) THEN L = 11: GOTO
290
260 IF (Y > 5) THEN L = 10: GOTO
290
270 IF (Y > 1) THEN L = 9: GOTO
290
280 L = 8
290 IF (B < > 1) THEN GOTO 360

300 C = 8: D = 8
310 IF (C = M) THEN GOTO 330
320 C = C + 1
330 IF (D = L) THEN GOTO 350
340 D = D + 1
350 N = C: P = D: GOTO 370
360 N = M: P = L
370 IF X1 > = 0 THEN GOTO 390
380 REM EX-OR DE N CON 255
390 IF Y1 > = 0 THEN GOTO 410
400 REM EX-OR DE P CON 255
410 N = N * 16
420 K = N + P
430 PR# 3: PRINT (K)
440 PR# 2: PRINT (16): PR# 0
450 IF NOT ((C = M) AND (D = L)
) THEN GOTO 310
460 B = 0: GOTO 70
470 IF A < > 1 THEN GOTO 550
480 INPUT "CAMBIAMOS POSICION S/
N": OPT$
490 IF ( LEFT$ (OPT$, 1) = "N" THEN
GOTO 550
500 INPUT "DAME POSICION NUEVA(P
X1,PY1):PX1,PY1
510 PR# 3: PRINT (PX1): PR# 2: PRINT
(16)
520 PRINT (13): PRINT (12)
530 PR# 3: PRINT (PY1): PR# 2: PRINT
(16)
540 PRINT (15): PRINT (14)
550 PR# 0:A = 0
551 HOME
560 INPUT "SE DESEA MOVIMIENTO S
/N": OPT$
570 IF ( LEFT$ (OPT$, 1) = "N" THEN
GOTO 550
580 INPUT "TERMINAMOS S/N" INPUT
OPT$
590 IF LEFT$ (OPT$, 1) = "N" GOTO
550
600 GOTO 1000
1000 END

```

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

- 1.- VIRGIL MORING FAIRES  
DESIGN OF MACHINE  
ELEMENTS.  
Ed. by Mac Millan  
Company.
- 2.- ROLLAND T. HINKLE  
DESIGN OF MACHINES  
Prentice - Hall, Inc.
- 3.- HALL, HOLOWENCO, LAUGHLIN  
DISEÑO DE MAQUINAS.  
Mc Craw Hill. 1982.
- 4.- R. ROSENBERG  
REPARACION DE MOTO-  
RES ELECTRICOS.  
Ed. Gustavo Gili, S.A.
- 5.- D.R. GRAHAM, F.B. GOLDEN  
SCR MANUAL SIXTH ---  
EDITION.  
General Electric.  
1979.
- 6.- J. H. GALLOWAY  
USING THE TRIAC FOR  
CONTROL OF AC POWER.  
General Electric.
- 7.- F. W. GUTZWULLER, J.D. MENG  
PHASE CONTROL OF ---  
SCR'S WITH TRANSFOR-

MER AND OTHER INDUC-  
TIVE AC LOADS.

General Electric.

- 8.- R. CHAUPRADE / F. MILSANT  
CONTROL ELECTRONICO -  
DE LOS MOTORES DE CO-  
RRIENTE ALTERNA.  
Ed. Gustavo Gili, S.A.
- 9.- DON L. CANNON, GERALD LUECKE  
ELECTRONIC CONTROL OF  
ENERGY SYSTEM.  
Texas Instruments ---  
Learning Center.
- 10.- NEIL M. SCHMITT, ROBERT F.  
FARWELL.  
ELECTRONIC CONTROL OF  
AUTOMATION SYSTEMS.  
Texas Instruments ---  
Learning Center.
- 11.- TIMOTHY J. MALONEY  
ELECTRONICA INDUSTRIAL  
Ed. Prentice / Hall --  
Internacional.
- 12.- BRUCE A. ARTWICK  
MICROCOMPUTER INTERFA-  
CING.  
Ed. Prentice Hall.
- 13.- HOROWITZ AND HILL  
THE ART OF ELECTRONICS  
Cambridge University -  
Press.