

300617

3
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

"DISEÑO DE UN CONTROLADOR DE ARRANQUE
DE MOTORES ELECTRICOS"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA
ESPECIALIDAD EN ELECTRONICA
Y EN COMUNICACIONES
P R E S E N T A :
OSAM ARIDI AWAR

DIRECTOR DE TESIS: ARANDA PEREZ GUILLERMO ING.

MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

- INTRODUCCION	4
- CAPITULO 1 CONTROL DEL ARRANQUE DE MOTORES.	6
1.1 Tipos de motores.	
a) Motor de jaula o reja de ardilla.	6
b) Motor de inducción de rotor devanado.	10
c) Motor síncrono.	14
1.2 Efecto que produce una carga mecánica en un motor síncrono.	17
1.3 Normas para clasificar los tipos de motores de inducción según NEMA.	22
1.4 Control de motores y tipos de arranque.	25
a) Puesta en marcha de un motor.	25
b) Arranque a tensión nominal.	28
c) Arranque a tensión reducida.	29
1.5 Control de motores de avance lento y en forma intermitente.	31
1.6 Control de aceleración al arranque.	31
1.7 Arranque de motores de jaula de ardilla multivelocidad.	33
1.8 Arranque para motores de rotor devanado.	35
1.9 Arranque de motores síncronos.	38
1.10 Tipos de protecciones para motores e instalaciones eléctricas.	39
1.11 Protecciones contra corto circuito.	42
1.12 Frenado del motor.	43
1.13 Arranque de motores de inducción tipo jaula de ardilla.	45
a) Arranque a tensión completa.	45

b) Arranque a tensión reducida.	47
1) Arrancador tipo resistencia primaria.	47
2) Arrancador tipo reactor primario.	47
3) Arrancador por autotransformador.	48
4) Arrancador de motores con devanado dividido o bipartido.	48
5) Arrancador de motores con conexión estrella-delta.	48
1.14 Tipos de pruebas necesarias de motores.	49
a) Resistencia del estator.	50
b) Pérdidas en vacío.	50
c) Pérdidas de carga aislada.	50
d) Pruebas con carga.	51
- CAPITULO 2 TIPOS DE ARRANCADORES EXISTENTES EN EL MERCADO NACIONAL.	52
2.1 Marcas de arrancadores.	52
a) Compañía Simans de México.	53
1) Arrancadores automáticos de motores con devanado bipartido.	53
2) Arrancadores automáticos de motores con polos conmutables.	53
3) Arrancadores automáticos a tensión reducida tipo K 981.	56
b) Empresa Square D de México.	64
1) Arrancadores manuales de motores fraccionarios con elemento térmico de aleación fusible.	64
2) Arrancadores magnéticos de C.A. a plena tensión.	68
3) Arrancadores magnéticos de C.A. a tensión reducida tipo autotransformador.	68
4) Arrancadores magnéticos de C.A. a tensión reducida tipo resistencia primaria.	68
5) Arrancadores magnéticos de C.A. estrella-delta.	68
6) Arrancadores para motores de C.A. tipo devanado bipartido.	68
c) Compañía Telemecanique de México.	71
1) Arrancador y frenador suave para motores asíncronos ALTISTART 3.	73

- CAPITULO 3	DESCRIPCION DEL CONTROLADOR DE ARRANQUE PROPUESTO.	79
3.1	Especificaciones del controlador propuesto.	79
3.2	Diagrama por bloques del circuito controlador.	81
- CAPITULO 4	DISEÑO DEL CONTROLADOR DE ARRANQUE PROPUESTO.	90
4.1	Diseño del controlador propuesto.	90
- CAPITULO 5	PRUEBAS NECESARIAS PARA EL CONTROLADOR DE ARRANQUE.	112
5.1	Puesta en marcha del controlador.	112
5.2	Consideraciones importantes.	115
5.3	Gabinetes o "Cofrets" protectores según normas NEMA.	116
-	CONCLUSIONES.	120
-	BIBLIOGRAFIA.	122

INTRODUCCION.

El presente trabajo se basa en el diseño y desarrollo de un prototipo de un controlador electrónico para el arranque de motores industriales. Se pretende controlar el voltaje de alimentación al o a los motores que se desee mover durante el periodo de arranque.

Este trabajo está dirigido a todo estudiante de la carrera eléctrica-electrónica en su etapa terminal ó a cualquier ingeniero vinculado con esta área y cuyo mayor interés se enfoca al control y en específico al control de motores. Por ello, se tratarán conceptos de una forma general, suponiendo que el lector tiene conocimientos previos sobre el tema.

Con este dispositivo se pretende ahorrar energía que resulta muy costosa para empresas que tienen un volumen considerable de motores industriales. Este dispositivo es de fácil manejo, es sencillo en cuanto a los componentes que lo forman, eficiente y además económico.

Dicho equipo tiene la ventaja de poderse modificar de una forma relativamente fácil para poder controlar otro tipo de motores más grandes.

Otra aplicación que resulta muy interesante y que se le

puede dar a este controlador, es la de manejar solenoides que accionen válvulas para dejar pasar cierta cantidad de algún ingrediente químico durante un proceso de mezclas de diversas sustancias para la fabricación de un producto.

Este dispositivo está diseñado originalmente, para el control de hasta cuatro dispositivos electromecánicos que pueden ser relevadores, solenoides, o incluso pequeños motores. Así, de igual forma, se desarrolló para seleccionar hasta cuatro periodos de tiempo de control de los mismos. Sin embargo se puede modificar para poder manejar hasta diez dispositivos electromecánicos y hasta diez periodos de control diferentes haciendo al circuito ligeras modificaciones.

Este trabajo está dividido en cinco capítulos. En el capítulo uno se enfoca la atención a los tipos de motores más utilizados y sus modos de control. En el segundo capítulo se describen los controladores de arranque existentes en el mercado así como sus especificaciones. Posteriormente, en el capítulo tres se lleva a cabo una descripción del arrancador propuesto cuyas especificaciones se basan en las ya existentes en el mercado. En el cuarto capítulo se justifican los componentes usados en el diseño del prototipo controlador del arranque de motores y finalmente, en el quinto y último capítulo se explican algunas pruebas prácticas que se pueden efectuar para el controlador de arranque.

CAPITULO 1

CONTROL DEL ARRANQUE DE MOTORES

Antes de mencionar lo referente al control de motores se mencionarán, de forma breve, los tipos de motores existentes en el mercado, destacando los de mayor uso en la industria.

1.1) Tipos de motores

a) Motor Jaula o reja de ardilla.- En la industria se requieren motores de fácil construcción y económicos como lo es éste motor, el cual se describe a continuación.

Para la construcción del rotor de jaula de ardilla, primero, sobre el eje, se ensamblan laminaciones troqueladas de acero magnético que tienen huecos o ranuras en las que se funde cobre. Se introducen barras conductoras a través de los huecos y en cada extremo, un anillo de cobre que forma un circuito de baja resistencia eléctrica como se muestra en la figura 1.1. En la figura 1.2 se presentan las características de potencia de dicho motor tomando en cuenta la corriente y la tensión aplicada al mismo.

La gran desventaja del motor de inducción jaula de

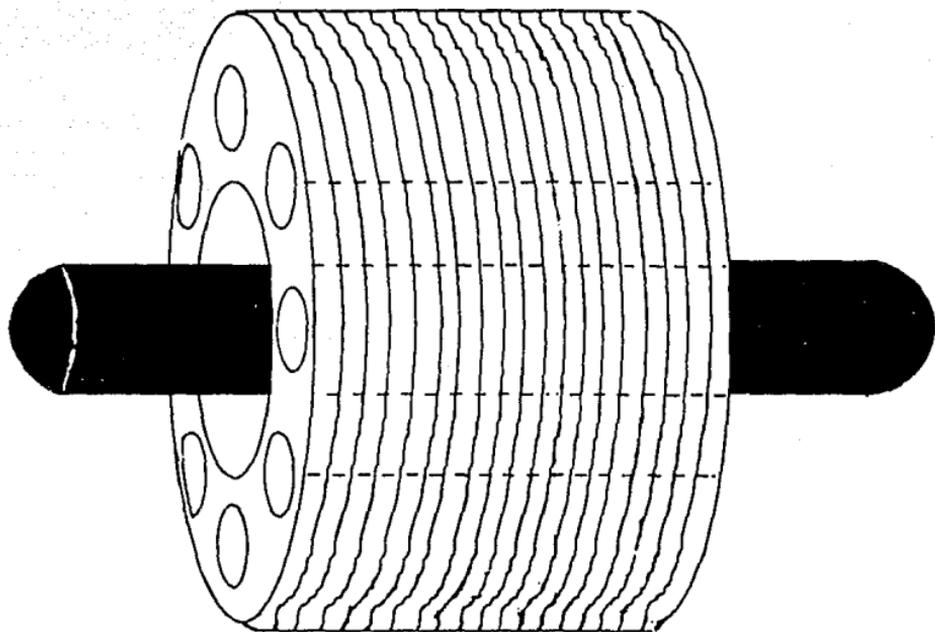


Figura 1.1 Rotor de un motor de Jaua de Ardiã

ardilla es que durante el arranque requiere de una corriente muy elevada con un factor de potencia muy bajo. Sin embargo, a pesar de que la magnitud de esta corriente es tan grande, desarrolla un par mecánico muy pequeño. Cuando el motor arranca, la jaula de ardilla actúa como el secundario de un transformador en corto circuito causando que el motor tome una corriente excesiva si se conecta a tensión completa. Esto reduce en gran medida sus aplicaciones prácticas puesto que debido a la corriente que consume resulta poco económico.

Como el par es directamente proporcional al flujo y a la corriente $T = K \cdot \Phi \cdot I$, donde $K =$ constante, $\Phi =$ flujo magnético e $I =$ corriente aplicada. Suponiendo que se aplica la mitad de la tensión, entonces el flujo se reduce a la mitad y la corriente eléctrica también y se tiene:

$$T = K \cdot \frac{1}{2}(\Phi) \cdot \frac{1}{2}(I) = K \cdot \frac{1}{4}(\Phi \cdot I)$$

donde:

$T =$ Par mecánico del motor

$K =$ Constante

$\Phi =$ Flujo magnético del motor

$I =$ Corriente eléctrica del motor

Observando la fórmula anterior, se tiene que la cuarta parte del flujo por la corriente es igual al par. El par en este motor de inducción es proporcional al cuadrado del

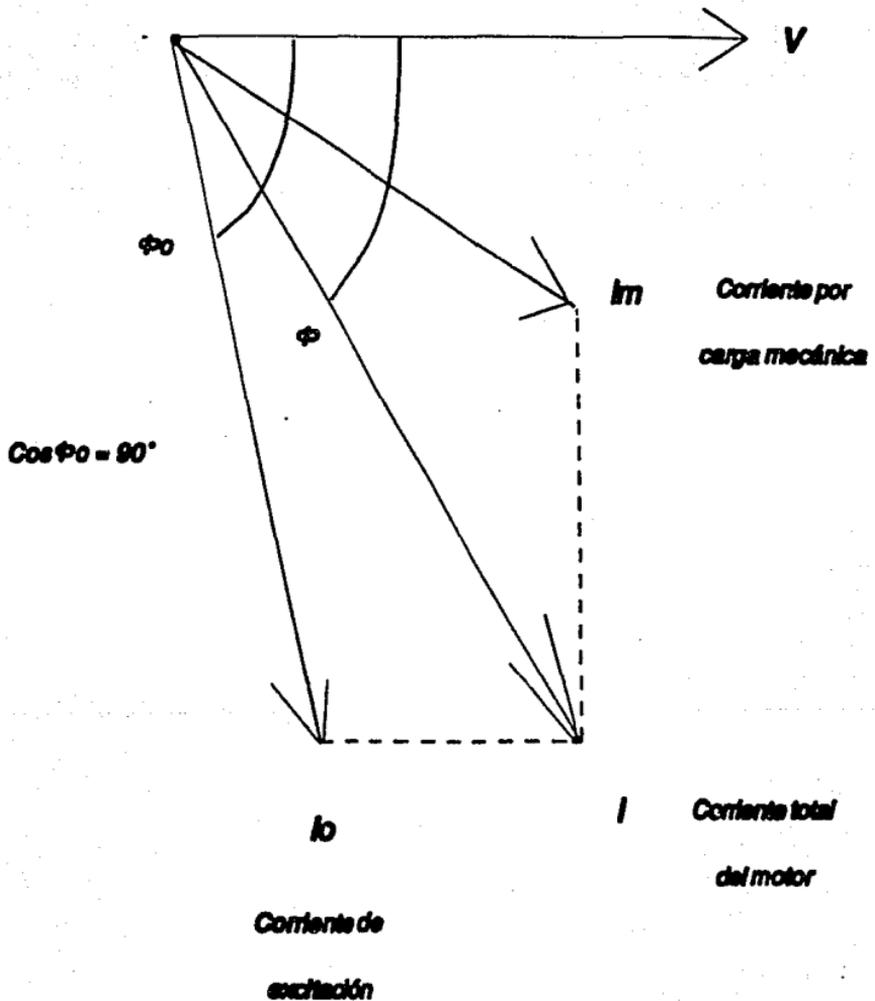


Figura 1.2 Diagrama vectorial característico del voltaje vs. corriente en un motor Jaula de ardilla

voltaje. El porcentaje de tensión es el valor de tensión aplicado entre el voltaje nominal en por ciento. Por ejemplo, si se reduce la tensión al 90 % el par sera del 81 %.

b) Motor de inducción de rotor devanado.- Al introducir resistencia en el rotor, la corriente de éste decrece puesto que depende de la f.e.m. (fuerza electromotriz) y de la impedancia del rotor. El par es directamente proporcional a la corriente eléctrica. Así, si la corriente decrece, el par mecánico también decrece. Entonces, con el objeto de que estos dos valores no se reduzcan, es necesario aumentar la f.e.m. en el rotor y esto es posible unicamente haciendo que el flujo magnético rotatorio corte al rotor a mayor velocidad.

De lo anterior se deduce que para que éste efecto se produzca, es necesario que el deslizamiento aumente. En la figura 1.3 se muestran las curvas típicas comparando los motores a rotor devanado y de jaula de ardilla.

A medida que la resistencia del rotor aumenta, la velocidad disminuye. Dicha disminución es a costa de la eficiencia debido a las pérdidas $I^2 \cdot R$ del rotor.

El devanado del rotor es similar al del estator. Las terminales del devanado del rotor se conectan a tres anillos en donde se conectan las escobillas a través de las

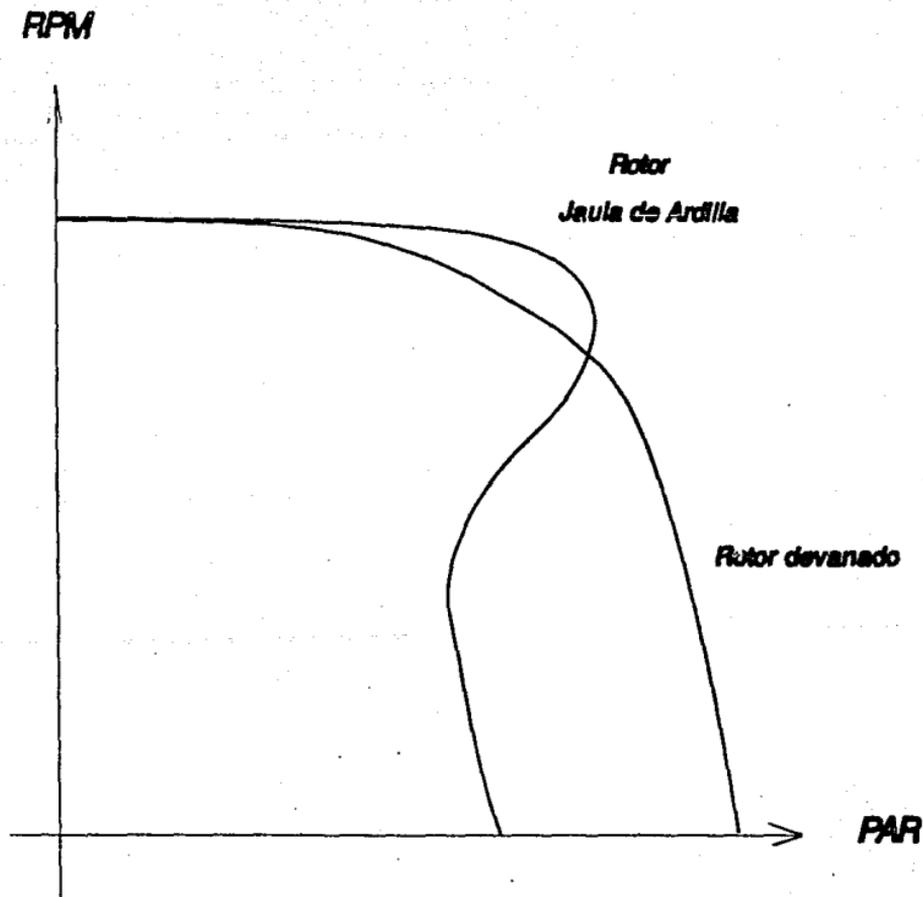


Figura 1.3 Comparación de las curvas RPM vs. Par entre motores Jaula de Ardilla y a rotor devanado

resistencias externas. Estas resistencias externas se conectan y desconectan del circuito por medio de reóstatos que se mueven en forma manual por el operador del equipo.

Durante el arranque, las resistencias externas están conectadas completamente al rotor. Esto hace que la corriente del rotor esté poco defasada con respecto al voltaje y al flujo magnético del entrehierro, de manera que se obtiene un par de arranque mayor comparado con el motor jaula de ardilla. Además de producir buen par de arranque, la corriente de arranque en el estator no es tan elevada como en el motor de jaula de ardilla y esta ventaja se ve reflejada en mayor duración de los relevadores, transformadores y componentes asociados que interactúan para el control del arranque.

De lo anterior se deduce que el motor de rotor devanado tiene mejores características de arranque que el de jaula de ardilla, sin embargo, tiene malas características en operación normal además de ser un motor bastante más costoso.

En teoría, un motor de uso general tendría una resistencia de rotor algo elevada al arranque y una resistencia baja en marcha. Con un rotor devanado, se puede conectar una resistencia externa al circuito del rotor para variar la característica de arranque y para permitir el ajuste de velocidad en marcha. Otros métodos de éste tipo se

basan en el diseño y modificación de la jaula en motores de jaula de ardilla.

En la figura 1.4 se ilustra un rotor de doble jaula. También se muestra la disposición general del flujo de dispersión que se origina por la reactancia X_r del rotor. La densidad de flujo magnético en la base de la ranura es muy alta en comparación a la densidad de flujo magnético en la superficie cerca de la circunferencia. En consecuencia, la reactancia de la barra interior es mayor que la de la barra externa. Pero la resistencia en la barra interna es menor a la externa pues es inversamente proporcional al área.

El efecto inductivo es proporcional a la frecuencia. En el arranque, la frecuencia es la de la línea (normalmente 60 Hz), pero en marcha, la frecuencia cambia, y se denomina $s\omega$. La impedancia de la barra externa es menor a la de la interna en el arranque por lo cual la corriente eléctrica mayoritaria circulará por la barra externa y el rotor tendrá una resistencia eléctrica efectiva alta. Pero al aumentar la velocidad, la impedancia de la barra interna se reduce y por tanto circulará más corriente a través de la jaula interna y entonces la resistencia eléctrica efectiva en el rotor es baja.

Es posible lograr un efecto semejante extendiendo la anchura del canal en conexión entre la barra externa e

interna del motor de la figura 1.4 formando un devanado de barra profunda, con la ranura de forma casi rectangular transversal.

c) Motor Síncrono.- De igual forma que un generador de corriente directa puede trabajar como motor, el alternador puede trabajar como motor síncrono si se conecta el estator a una fuente trifásica o monofásica de corriente alterna.

La condición para que exista par en el motor síncrono es que la velocidad del rotor gire en sincronismo con el campo magnético giratorio (el deslizamiento tiene que ser igual a cero).

La figura 1.5 muestra un conductor "a" bajo un polo norte, el cual lleva una corriente hacia el observador. Esta corriente tiende a impulsar el conductor de izquierda a derecha y si el conductor está fijo, como es el caso del motor síncrono, tenderá a impulsar al polo de derecha a izquierda.

Como la corriente es alterna, la dirección será opuesta en el siguiente medio ciclo y cuando el polo sur está sobre el conductor "a" se produce un par mecánico.

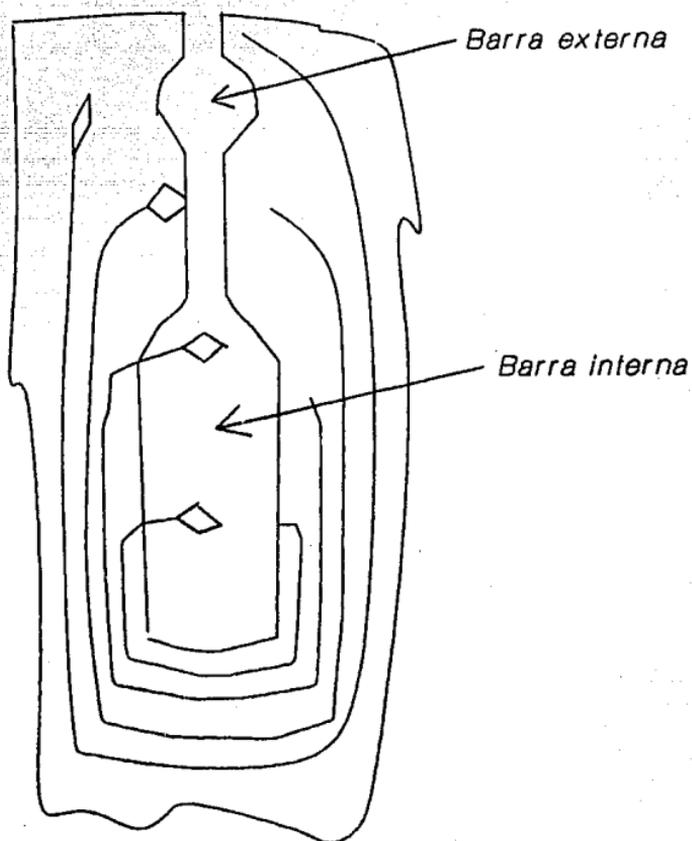


Figura 1.4 Corte transversal de una sección del rotor de Jaula de Ardlila de barra profunda.

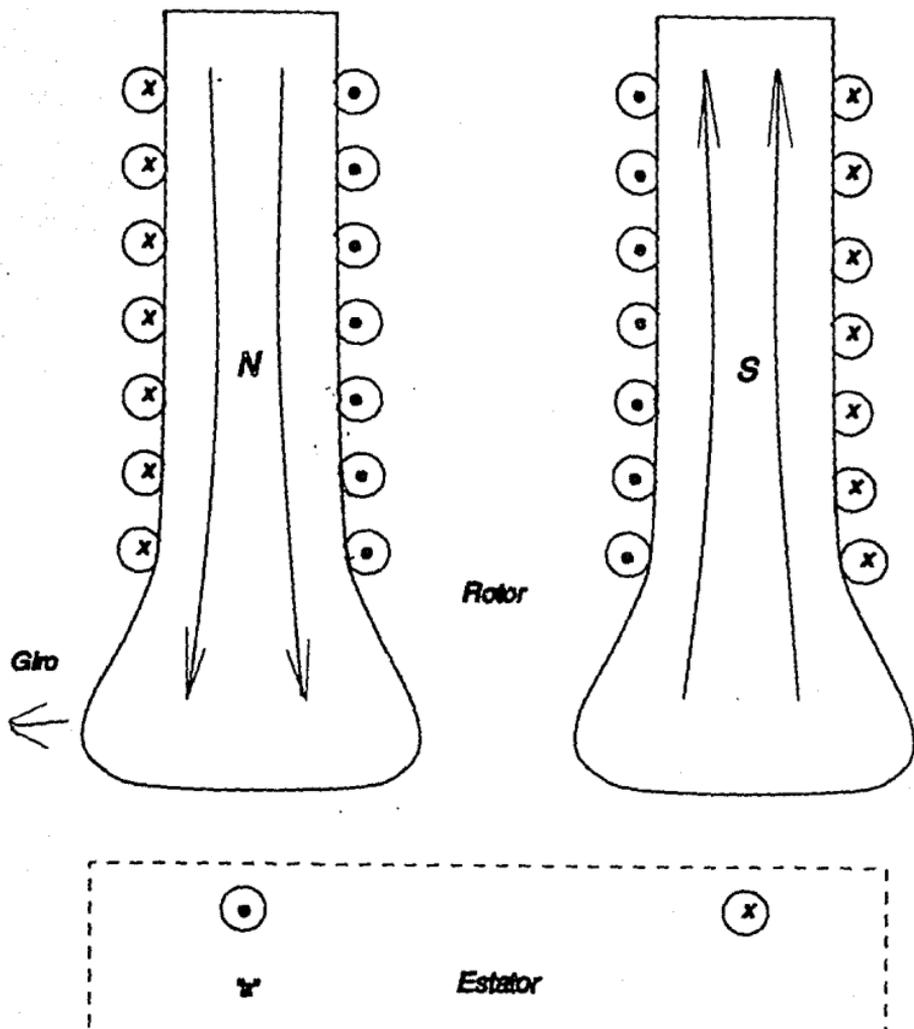


Figura 1.5 Se observan los polos de un motor de rotor devanado

1.2) Efecto que produce una carga mecánica en un motor síncrono

Si a un motor de corriente directa se le aplica carga mecánica, la velocidad disminuye ligeramente, esto reduce la magnitud de la fuerza contra-electromotriz, pero la corriente de armadura aumenta suministrando el par adicional que requiere la carga. Esto es,

$$V = E + (I_a \cdot R_a)$$

$$I_a = (V - E)/R_a$$

donde:

V= Fuerza electromotriz

E= Fuerza contraelectromotriz

I_a= Corriente de armadura

R_a= Resistencia de armadura.

Cuando a un motor síncrono se le aplica carga mecánica, su velocidad no puede disminuir puesto que opera a velocidad constante. De lo anterior se deduce que no puede aumentar la corriente en la misma forma que lo hace un motor de corriente directa. Cuando un motor síncrono trabaja en vacío (esto es sin carga), la fuerza electromotriz está representada por la curva "e" de la figura 1.6.

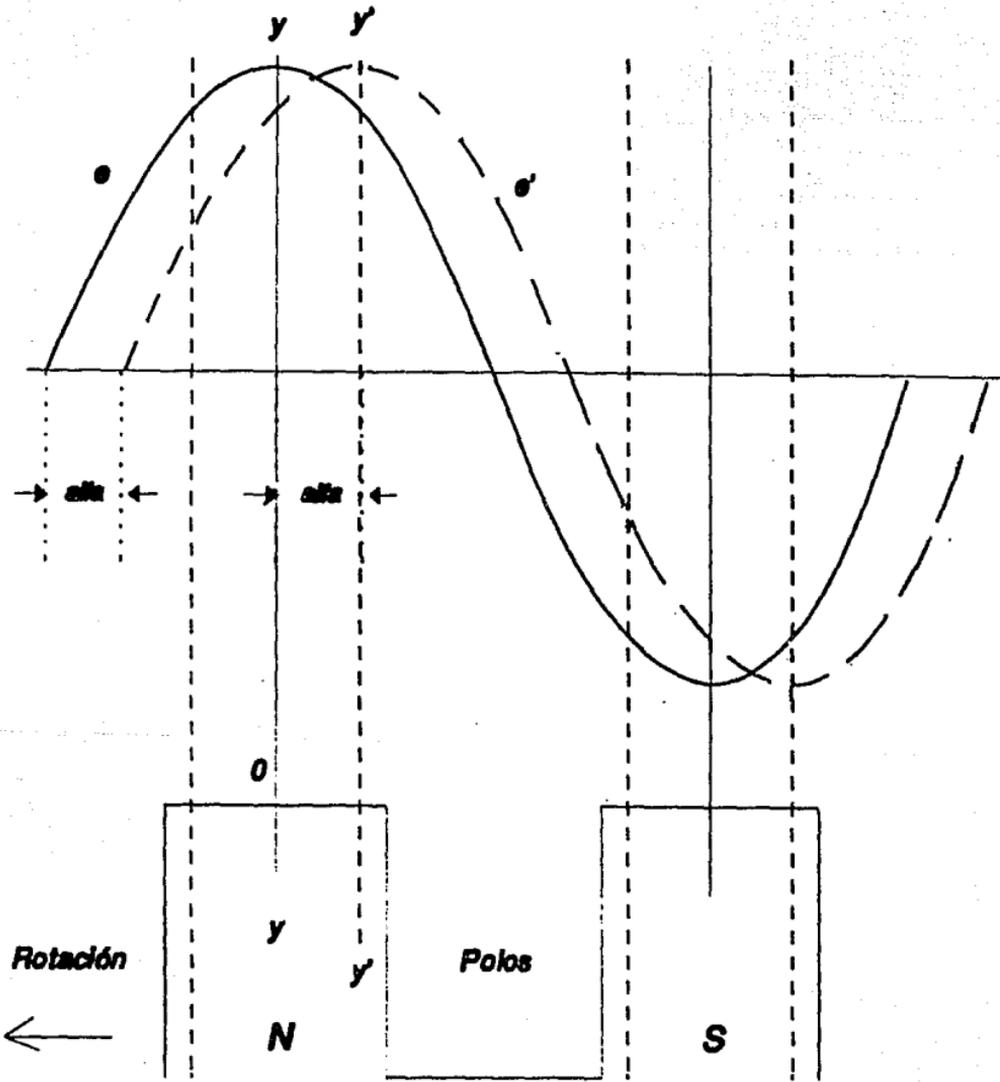


Figura 1.6 Defasamiento debido a carga mecánica en un motor síncrono

Suponiendo que se aplica carga mecánica a la flecha del motor, entónces el rotor se detiene momentáneamente bajo la acción de esa carga y se atrasa un ángulo α con respecto a la posición que tenía originalmente. Por supuesto que sigue girando a velocidad síncrona. En estas condiciones, el centro del polo está ahora sobre el eje $y'y'$ y la fuerza contra-electromotriz inducida no alcanza su valor máximo al mismo tiempo que cuando estaba trabajando al vacío. Esto se muestra en el diagrama vectorial de la figura 1.7.

En este diagrama se muestra que el motor tiene una tensión aplicada V y una fuerza contra-electromotriz $-E_a$ a 180° con respecto a V trabajando en vacío.

Si se aplica una carga mecánica al rotor, la fuerza contra-electromotriz se defasa un ángulo α con respecto a la fuerza contra-electromotriz sin carga. Con este defasamiento, la tensión resultante es E_o , la cual está adelantada un ángulo β con respecto a la corriente del motor suponiendo que el factor de potencia es unitario.

Si se aumenta la corriente de excitación, el vector $-E_a$ puede aumentar y el valor del ángulo β puede adelantarse con respecto al voltaje aplicado. Todo esto se muestra en la figura 1.8.

Por otro lado, si se reduce la corriente de excitación,

$-Ea'$

Eo

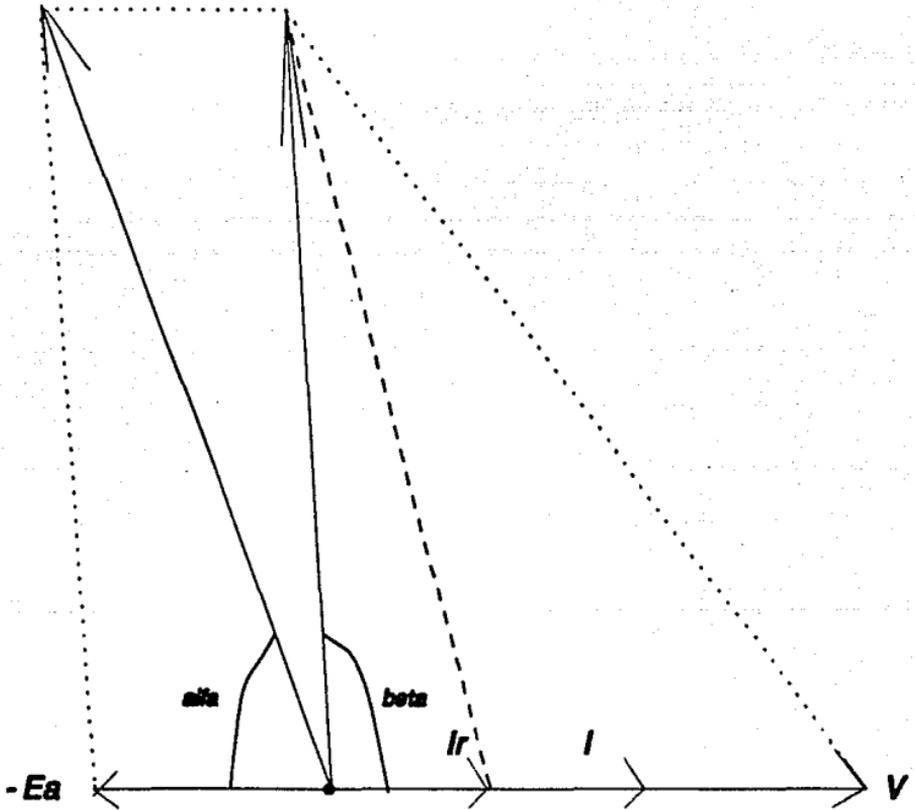


Figura 1.7 Diagrama vectorial de un motor sincrónico trabajando en vacío donde V es la tensión aplicada y $-Ea$ es la fuerza contraelectromotriz

el vector E_a disminuye y el factor de potencia se atrasa como se observa en la figura 1.9.

1.3) Normas para clasificar varios tipos de motores de inducción según NEMA

En NEMA, los motores se clasifican por letras código y letras clase según el tipo de diseño. A continuación se presenta la tabla 1.10 que muestra para las letras código, los kVA's de entrada a rotor bloqueado por cada HP de salida. Estos valores son los mismos que la relación de corriente de arranque y la corriente a plena carga para un motor trifásico con eficiencia de 85 % y $\text{Cos } \phi = 0.9$.

En seguida, se describen la letras clase para dichos motores.

Clase "A".- Corriente de arranque de 5 a 14 veces la corriente a plena carga. Par de arranque 150% del par a plena carga. Letras código " F" a " R". Temperatura máxima igual a 155 °C.

Clase "B".- Corriente de arranque de 4.5 a 5 veces la corriente a plena carga. Par de arranque igual a 150 % del par a plena carga. Letra código "E". La mayoría de los diseños corresponde a este tipo de letra.

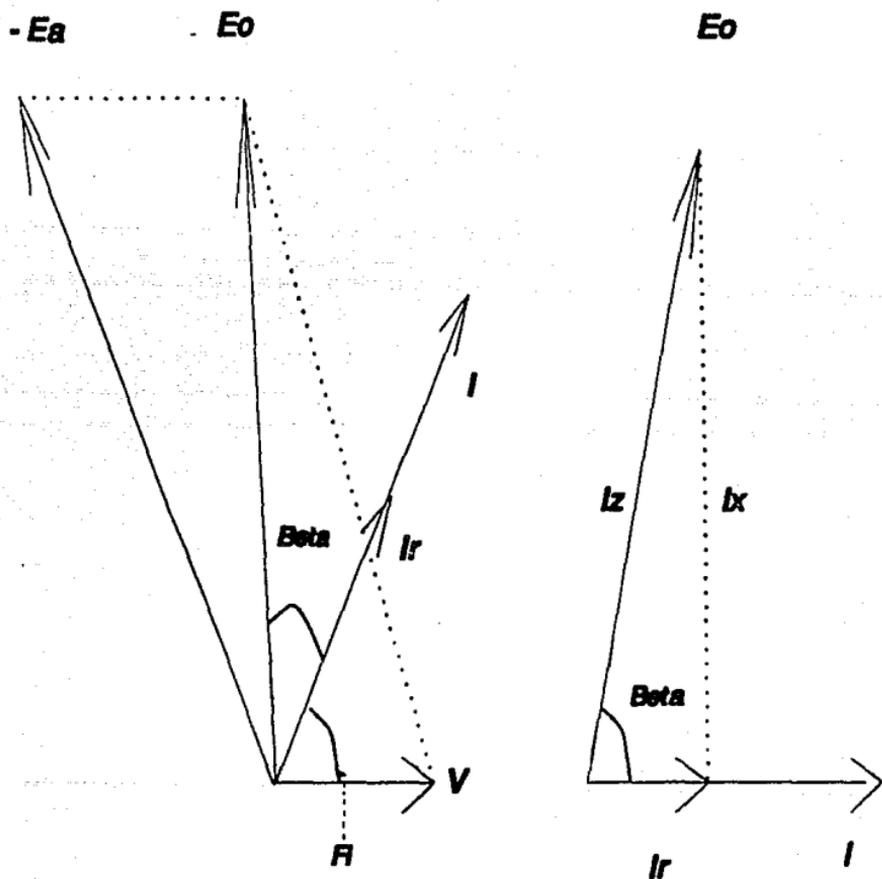


Figura 1.8 Diagrama vectorial de un aumento en la corriente de excitación de un motor sincrónico

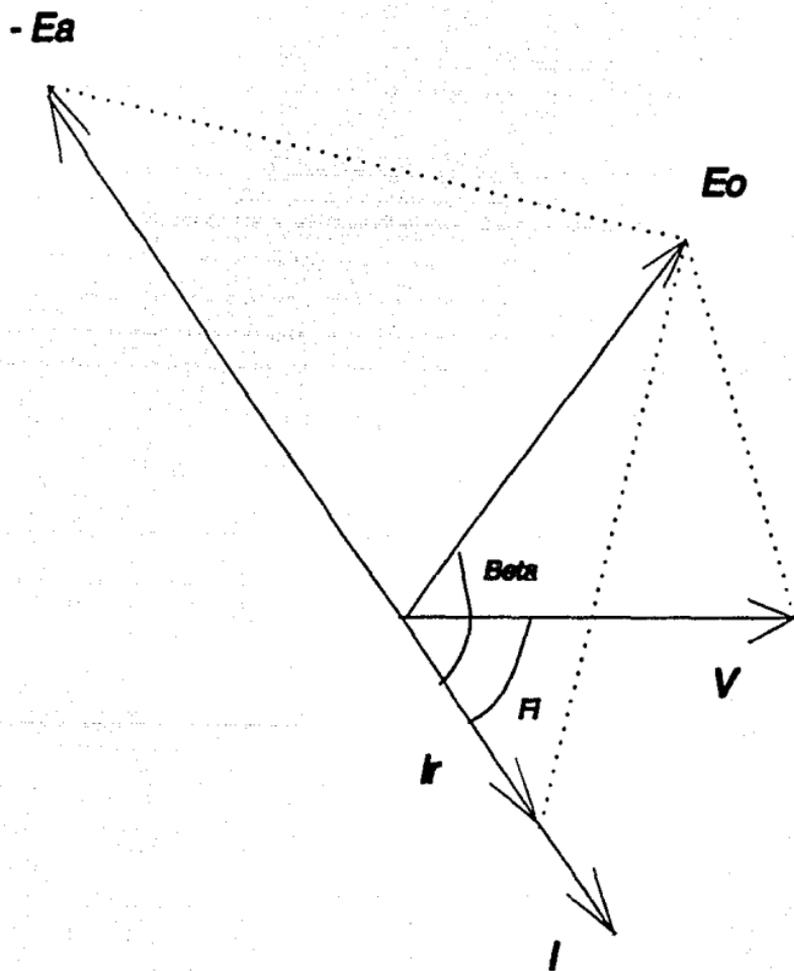


Figura 1.9 Diagrama vectorial con disminución de corriente de excitación en un motor síncrono

Clase "C".- (Doble jaula de ardilla) Corriente de arranque 4.5 a 5 veces la corriente a plena carga; par de arranque 225 % del par a plena carga, este motor también se define según la tabla por la letra código "E". Aplicaciones en equipo que requiere alto par de arranque.

Clase "D".- Alta resistencia en el rotor, alto deslizamiento, par de arranque 275 % del par a plena carga.

Rotor Devanado.- Resistencia en el devanado del rotor, alto par de arranque y baja corriente de arranque. Es similar al par de arranque del anterior. Posibilidad de variación de velocidad.

1.4) Control de motores y tipos de arranque

Los circuitos y equipos de control pueden realizar diversas funciones. Se les puede clasificar en once tipos generales de acuerdo con la forma de control ejercido sobre el motor. Cada tipo se puede subdividir a su vez en innumerables variantes, que se basan en principios básicos comunes. El objetivo de este inciso es el de proporcionar la información de la forma más clara posible acerca del control de motores.

a) Puesta en marcha de un motor.- Se deben tomar en cuenta varios parámetros para la selección del equipo de

Letra Código	KVA/HP	Letra Código	KVA/HP
A	0 a 3.14	L	9 a 9.99
B	3.15 a 3.54	M	10 a 11.19
C	3.55 a 3.99	N	11.2 a 12.49
D	4 a 4.49	P	12.5 a 13.99
E	4.5 a 4.99	R	14 a 15.99
F	5 a 5.59	S	16 a 17.99
G	5.6 a 6.29	T	18 a 19.99
H	6.3 a 7.09	U	20 a 22.4
J	7.10 a 7.99	Y	22.4 en adelante
K	8 a 8.99		

Tabla 1.10 Códigos NEMA para motores de inducción
a rotor bloqueado

control para un motor. Los más comunes son la corriente eléctrica, la frecuencia y la tensión nominal del motor o motores así como la carga mecánica a mover. Además es necesario colocar circuitos de protección a los motores de acuerdo al servicio, tipo de motor y funciones de control requeridas.

La utilización de un control de arranque a tensión nominal o uno a tensión reducida depende de los lineamientos de la compañía distribuidora de energía y de la capacidad de la corriente de la instalación así como del consumo de potencia y su costo. Otros factores que intervienen en la selección pueden ser control de velocidad, controles de servicio intermitente y hasta el tipo de motor usado.

La normatividad mexicana dicta al respecto primeramente, que la frecuencia del voltaje de línea debe ser de 60 Hz, un voltaje entre línea y neutro de 110 volts y de 220 volts entre línea y línea en instalaciones trifásicas. En muchas circunstancias se utilizan transformadores para elevar los voltajes dependiendo de los motores o motor a usar.

Al realizar los cálculos de una instalación se toman en cuenta los diagramas vectoriales de la tensión aplicada que puede darse en volts o kilovolts, la potencia reactiva aplicada que puede darse en volt-amperes o en kilovolt-amperes y finalmente los dos vectores anteriores producen un

vector resultante que es el de la potencia real dada en watts o en kilowatts. Normalmente, se forma un ángulo entre los vectores de potencia real y la corriente reactiva al cual se le denomina ángulo de fase. Existe también un factor cuyo valor según normas mexicanas no debe exceder el valor de 0.90 y éste está dado por el coseno del ángulo de fase mencionado anteriormente llamado coseno de "fi". Al momento de arrancar motores grandes se observa que la corriente requerida por los mismos aumenta según el par mecánico a mover lo cual afecta al vector de corriente reactiva y por lo tanto al factor coseno de "fi".

Si dicho valor fuera excedido, se vería afectada la línea de la comisión federal de electricidad por sobrecarga y por consiguiente se tendría una pérdida de energía eléctrica en dicha línea en la cual pueden estar conectadas instalaciones cercanas de otras fábricas o industrias en las que habría apagones considerables. Y no solo se da este efecto sino que puede llegar a quemarse la línea o los transformadores de alimentación. La compañía federal de electricidad prevee una serie de medidas que deben considerarse antes de la instalación y de no hacerlo, se le multa, en forma excesiva, a las industrias que no cumplen con dicho lineamiento y hasta el pago de instalaciones que pudiesen resultar dañadas o quemadas. Para evitar salirse del valor del factor de potencia ya mencionado se utilizan diversos métodos como condensadores conectados a los mismos

motores o elementos inductivos compensatorios que reducen notablemente el factor de potencia.

b) Arranque a tensión nominal.- El funcionamiento de éste tipo de arranque es simplemente la conexión directa del motor a la línea de alimentación, lo cual se puede lograr mediante un interruptor de cuchillas. Dicho método solo permite protección al motor a través de fusibles.

Para arrancar o parar motores pequeños de potencia fraccionaria que van desde 1 a 5 caballos de fuerza y de bajo consumo de corriente, se usan, normalmente un simple interruptor y un capacitor de bajo valor conectado en paralelo al interruptor para evitar desgaste en los contactos de éste último debido al arco eléctrico que se produce entre dichos contactos. Este sistema de arranque y paro se aplica en pequeños aparatos incluso domésticos como ventiladores y otros dispositivos semejantes que debido a su sencillez son muy económicos.

En motores de hasta 7.5 HP de potencia y menores a 600 Volts es común utilizar un arrancador manual de conexión directa a la línea. Dichos arrancadores reúnen características similares de protección contra sobrecarga y sobretensión. El arrancador más usado consta de un contactor electromagnético que combinado con dispositivos piloto, puede dar una buena protección al motor.

Al adoptar un control de éste tipo se deben considerar e inspeccionar los conductores de la instalación así como la capacidad del sistema de distribución para evitar penalización por parte de la compañía de distribución.

c) Arranque a tensión reducida.- Este método de control se utiliza siempre que un motor, al trabajar a tensión nominal y durante el periodo de arranque, cause descensos de la tensión en las líneas de la compañía distribuidora o en los cables de la instalación. Hay también otras variables a considerar al seleccionar éste tipo de control como cuando se pone en marcha un motor directamente a la línea, se produce un esfuerzo excesivo o choque entre las diversas piezas, tales como piñones, engranes, aletas de ventiladores, poleas y acoplamientos o empalmes. Las transmisiones de correa se ven sujetas a bastante deslizamiento ante cargas mecánicas muy pesadas a no ser que se aplique un par lento y uniforme hasta alcanzar velocidad plena o giro nominal.

El arranque a tensión reducida se logra mediante el uso resistencias, autotransformadores o reactancias con el propósito de reducir el voltaje de la línea hasta un valor determinado durante el arranque. Sin importar los medios utilizados para reducir la tensión, deben estar proyectados de forma adecuada dependiendo del motor. Más adelante se detalla el controlador digital de motores que se plantea como prototipo en este trabajo, y cuya función es la de lograr

mantener el o los motores bajo tensión reducida durante el arranque.

Otro método muy utilizado es el de usar un motor con devanado dividido y control secundario para poder obtener tensión reducida. En éste método de arranque se aplica tensión nominal al devanado primario que sería el del estator (parte estática del motor) y en serie con el devanado secundario del motor que sería el del rotor y además se interponen resistencias que reducen notablemente la intensidad del arranque. Las resistencias conectadas al rotor van desconectándose de forma gradual conforme aumenta la velocidad, de modo que al alcanzar dicha velocidad, los anillos del rotor quedan en corto circuito. Este sistema tiene la ventaja de que también puede servir para regular la velocidad de giro.

Al reducir la tensión se debe tomar en consideración que también se reduce el par de arranque del motor. Si un motor, de acuerdo a la carga mecánica a la que se someta, no es capaz de proporcionar el par suficiente a voltaje nominal, mucho menos logrará el par para iniciar el giro a tensión reducida. El par de arranque de un motor de inducción está en función inversa del cuadrado de la intensidad de arranque del rotor o aproximadamente el cuadrado de la tensión de línea. Esto es que si por ejemplo en condiciones de tensión reducida, la tensión se reduce al 50 %, la intensidad de

arranque del motor se reducirá también al 50 % de su valor normal pero el par se reducirá al 25 % del valor nominal.

1.5) Control de motores de avance lento y en forma intermitente

Los equipos analógicos, elevadores, prensas, gruas así como otros mecanismos requieren que el motor sea arrancado en forma repetida durante períodos de tiempo cortos con el propósito de colocar la máquina en un lugar determinado.

Cuando se realizan ésta clase de maniobras de arranque intermitente, o arranques rápidos sucesivos, la potencia nominal del arranque debe ser superior a la de un arranque normal.

1.6) Control de la aceleración al arranque

Existen motores de jaula de ardilla especialmente diseñados para manejar dos, tres o cuatro velocidades. Dichas velocidades se pueden usar cuando se desee o en forma escalonada.

El control manual de aceleración o de velocidad para este tipo de motores se logra haciendo que el operador cierre el contactor adecuado de acuerdo a la carga mecánica a mover. En el caso de motores de rotor devanado se usa un tambor de

contactos que va intercalando diversas resistencias eléctricas al circuito del rotor para lograr la velocidad deseada.

El control de velocidad de modo automático se puede lograr por diversos métodos. El más sencillo es el de retardo fijo. En este método se usa un relevador de acción retardada para cada paso o velocidad. Cuando se da marcha a la velocidad más baja, se excita el primer relevador de acción retardada, que luego de un tiempo deja de actuar, generando la excitación del segundo contactor, aumentando así la velocidad en éste segundo paso. Esta operación puede ejecutarse tantas veces o escalones como se requiera para controlar la velocidad o aceleración. La mayor desventaja que presenta este caso es que muchas veces no se adapta a las condiciones funcionales de la máquina, de la carga mecánica a mover y de la corriente requerida por el motor.

Otro tipo de control es el llamado control por frecuencia de deslizamiento. Este sistema se emplea en los motores de rotor devanado así como también para excitar el campo en motores síncronos, una vez alcanzada la velocidad síncrona.

Debido a que la frecuencia y el voltaje del rotor en motores de anillos es proporcional a la velocidad, se puede adaptar un relevador sensible a la frecuencia para activar

cada velocidad por pasos progresivos como ya se mencionó.

Al seleccionar alguno de éstos métodos se deben considerar varios factores, por ejemplo, el control de tipo manual depende mucho del operador. El control de retardo fijo es sensible al tiempo. Y el de frecuencia de deslizamiento es sensible a la velocidad del motor.

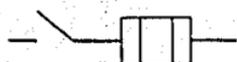
Se puede tener un controlador híbrido que use uno o más de los métodos anteriores de forma combinada dependiendo de la instalación.

1.7) Arranque de motores de jaula de ardilla multivelocidad

Antes de mencionar el sistema de arranque para éstos y otros motores, es necesario conocer algunas simbologías muy utilizadas en los diagramas eléctricos de dichos sistemas, los cuales se proporcionan en la figura 1.11.

Los motores de una sola velocidad de este tipo son puestos en marcha con arrancadores electromagnéticos directos. Por otra parte para uno de diversas velocidades se necesita un sistema de control especial dependiendo de su embobinado.

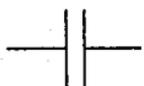
Para motores de dos velocidades se tienen dos



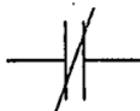
Interruptor con fusible



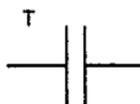
Bobina del relevador magnetico



Contacto normalmente abierto (N.A.)



Contacto normalmente cerrado (N.C.)



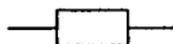
Contacto N.A. con cierre retrasado



Boton de arranque



Boton de paro



Resistencia electrica

Figura 1.11 Simbologías comunes.

arrollamientos o bobinados en el estator diferentes o puede ser de polos consecuentes que solo tiene un arrollamiento en el estator. En el de polos consecuentes se tienen dos velocidades dependiendo de la conexión de las bobinas del arrollamiento. Normalmente, la relación de velocidad es de 2 a 1. Así, como en el caso anterior, se pueden tener más velocidades al conmutar uno o más devanados. Esto se ve en la figura 1.12.

1.8) Arranque para motores de rotor devanado

El motor de rotor devanado es muy similar al de jaula de ardilla, excepto que tiene arrollamientos en el rotor en vez de barras en corto circuito. Al interponer resistencias en el circuito del rotor a través de un tambor de conmutación, se controla la velocidad en escalones o pasos. La forma común de arrancar este tipo de motor consiste en conectar directamente a la línea el devanado del estator por medio de un interruptor manual y un interruptor múltiple que intercala resistencias de arranque en el devanado del rotor (ver figura 1.13). El control secundario del rotor consta de un tambor con varios contactos cuya acción puede ser manual o movido por el mismo motor, por un contactor electromagnético o por un redstato hidráulico. Dicho control se utiliza para el arranque y puede tener control de velocidad y cualquier número de escalones o solamente dos o tres escalones o pasos.

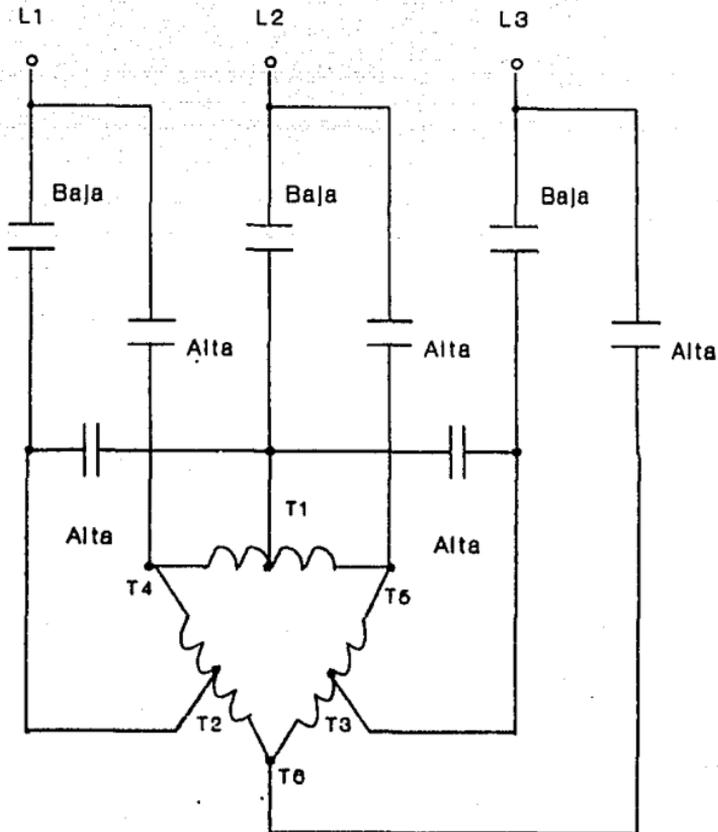


Figura 1.12 Control de un motor de Jaula de Arrollado de dos velocidades.

Se requiere que haya un entrecruce entre los escalones de forma que impida el arranque del motor al estar conectado el devanado del rotor a línea directa o sin resistencias intercaladas.

1.9) Arranque de motores síncronos

El motor síncrono se debe arrancar de forma similar al de jaula, solo que se intercala una resistencia al devanado durante el arranque para que ésta disipe el calor generado por la intensidad de la corriente eléctrica. Normalmente, al arranque se aplica tensión reducida agregando un relevador sensible a la frecuencia de deslizamiento o de conexión al inductor del devanado. Al momento de alcanzar el 95 % de la velocidad síncrona, los devanados del inductor son alimentados por dicho relevador con corriente continua. Dicho relevador es un componente que juega un papel muy importante pues tiene un rango de trabajo limitado, de tal modo que debe conectar la resistencia y eliminar también la excitación del campo magnético si el motor pierde el sincronismo. Muchos motores de este tipo van provistos de circuitos de protección contra sobrecorrientes y de ajuste del campo. Sus características varían de acuerdo a especificaciones del fabricante y al uso que se les vaya a dar.

Al seleccionar algún método de arranque de los antes

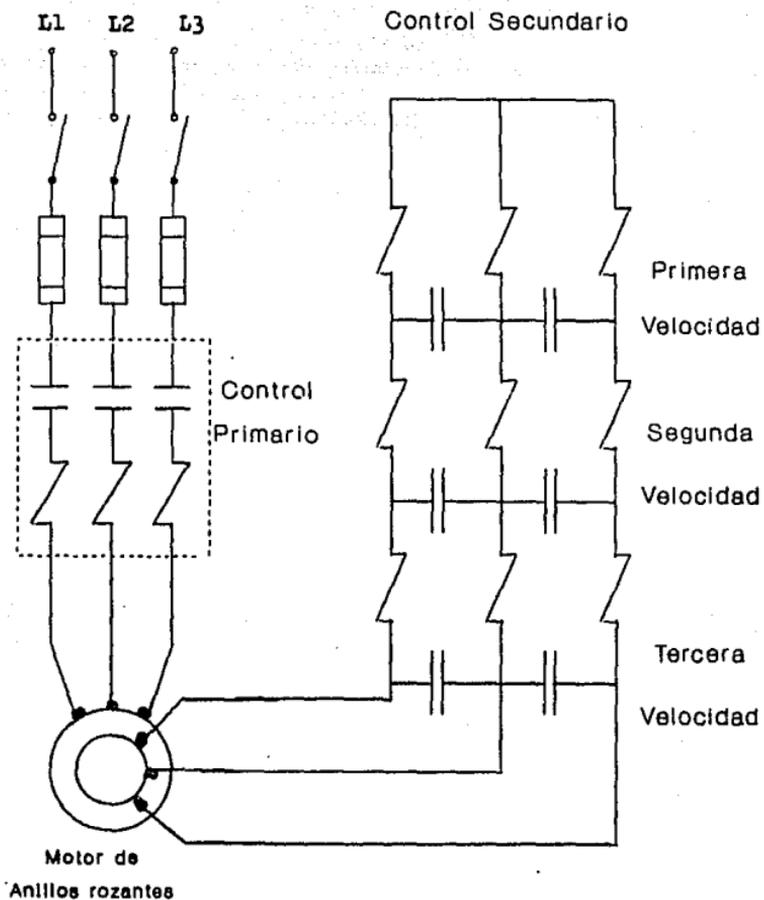


Figura 1.13 Control de velocidad en un motor de anillos rozantes

mencionados, se deben tomar en cuenta el tipo de motor, si dicho motor requiere tensión reducida al arranque, si se necesita control de velocidad, si el controlador o sus componentes secundarios ofrecen protección adecuada al motor y a la instalación, si son correctas las tensiones de línea y de control así como la frecuencia.

En el siguiente inciso se mencionan algunas de las protecciones más usadas para motores e instalaciones.

1.10) Tipos de protecciones para motores e instalaciones

Las protecciones a motores e instalaciones deben usarse ante la sobrecarga mecánica o eléctrica que puede tener el motor. La corriente que un motor puede absorber depende mucho de la carga mecánica al cual se ve sometido, por lo tanto existen diversas protecciones desde las más sencillas hasta las más complejas que sensan la sobrecorriente desconectando al motor cuando ésta alcanza un límite prefijo.

Uno de los métodos sencillos de protección contra sobrecargas consiste en el uso de termorelevadores bimetalicos conectados en serie con los conductores que alimentan al motor. Dichos elementos térmicos se calientan por el exceso de corriente y actúan como contactos que abren el circuito de la bobina excitadora. En la figura 1.14 se

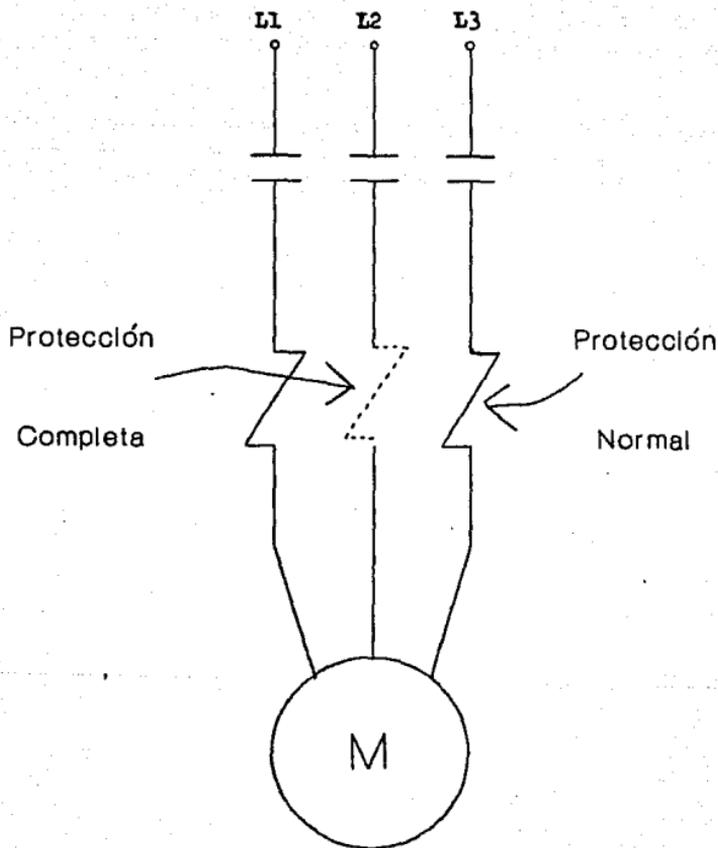


Figura 1.14 Tipos de protecciones para motores trifásicos.

presenta un caso de protección de éste tipo en un motor trifásico.

El sistema anterior tiene una desventaja, ya que una pequeña sobrecarga tarda algún tiempo en disparar el relevador mientras una gran sobrecarga dispara el relevador de forma instantánea. En el caso de un corto circuito, el relevador puede sufrir un efecto llamado remanencia magnética en la que sus contactos permanezcan pegados por un período de tiempo lo suficientemente largo como para que el motor o sus conductores sufran daño considerable.

De igual forma el fabricante proporciona datos técnicos de los límites de disparo de dichos elementos, dando una pequeña tolerancia que probablemente es la causa de fallas en motores de plantas industriales. Es importante que se le de una revisión y mantenimiento preventivo tanto a los elementos protectores como a los de control y al mismo motor en sí. Se dan casos en que las chumaceras o baleros de los ejes del motor no se lubrican lo que presenta un esfuerzo mecánico adicional al motor o veces se quedan pegados al eje y es una de las principales causas de disparo repetitivo de los circuitos de control. Por tanto, estas situaciones se deben tener presentes al dar mantenimiento al equipo.

También se llega a dar el caso de que los devanados estén defectuosos o por calentamiento su barníz protector se

deteriora repercutiendo en un mayor consumo de corriente del motor. Se debe escoger un motor cuya potencia mecánica sea mucho mayor a la carga mecánica a mover para evitar trabajo forzado y sobrecalentamiento.

1.11) Protecciones contra corto circuito

Otro tipo de protección es contra corto circuito. Los motores de corriente alterna al igual que los de jaula de ardilla llegan a absorber hasta un 600 % de intensidad de corriente nominal en condiciones fuertes de arranque. Esto se considera como un corto circuito. Los relevadores térmicos antes mencionados requieren un tiempo para actuar y por tanto no pueden dar protección contra cortos circuitos tan rápidos. La línea que alimenta al motor debe estar provista de fusibles de acción rápida o circuitos electrónicos más complejos que interrumpan el paso de corriente más rápidamente que los relevadores de sobrecarga. Pueden combinarse ambos casos conectándolos en serie en la línea de alimentación del motor.

Otra protección es la llamada por enclavamiento que evita que un motor se ponga en marcha antes o después que otro. Por ejemplo, si se tiene un sistema de aire acondicionado en un edificio que consiste en una bomba de enfriamiento y en un compresor y éste último funcionara sin estar en servicio la bomba de la torre de enfriamiento, la

presión aumentaría en el compresor actuando el relevador manométrico de presión y parando la máquina para no deteriorar al mismo compresor. El controlador digital propuesto en éste trabajo contempla dicha situación pues solo se puede seleccionar uno de cuatro motores a arrancar pero no todos a la vez, de ello se hablará posteriormente.

Una protección más es contra tensión mínima. Cuando la tensión de línea disminuye, los devanados pueden deteriorarse en forma grave. Por ello, en motores de mucha potencia se usa un relevador especial que desconecta el motor de la línea cuando detecta una subtensión fuera del límite.

Todas estas protecciones se pueden utilizar en motores monofásicos o para trifásicos con la variante que los contactos de los relevadores deben ser triples en caso de motores trifásicos y usarse fusibles en cada fase.

Existen más tipos de protecciones, pero quedan fuera del presente trabajo.

1.12) Frenado del motor

Existen varios factores que se deben considerar al parar un motor. Hay máquinas que para su paro solo requieren que se interrumpa la corriente de alimentación en el motor y que el mismo gire por inercia hasta frenarse, pero no es así,

cuando por ejemplo se usan máquinas esmeriladoras, rectificadoras que deben parar de repente o también una grua o un montacargas que debe frenar de forma rápida o mantener cargas pesadas. El método de freno rápido puede ser manual o automático y dentro de ésta clasificación puede ser de tipo mecánico o electromecánico. El freno manual se consigue por medio de pulsadores, interruptores y otros dispositivos semejantes y además por medio de frenos de disco mecánico que luego de interrumpir la corriente eléctrica aplica cierta fricción para frenar al motor. También, en vez de usar un disco mecánico se da el caso del freno electromagnético que consiste en interruptores que activan las bobinas de relevadores de contactos de doble posición o múltiples que una vez que interrumpen la corriente, ponen en conducción una resistencia en serie entre los devanados del estator que presentan así una oposición al campo que genera el rotor al girar en inercia hasta frenarse. El otro método automático trabaja en forma casi semejante pero con la excepción de que no usa pulsadores o interruptores manuales sino que los interruptores o contactores se mueven a través de flotadores, sensores de presión o de otro tipo automático.

A continuación se detalla con un ejemplo los pasos de arranque para un motor Jaula de ardilla.

1.13) Arranque de motores de inducción tipo Jaula de ardilla

a) Arranque a tensión completa.- En la figura 1.15 se muestra un diagrama completo de éste método de arranque para un motor pequeño de menos de 7.5 caballos de fuerza.

El sistema de arranque es sencillo y funciona de la siguiente manera; al activar de forma manual el botón "a", la corriente circulará a través de la bobina del arrancador M. Esta bobina energiza el contacto M que autoalimenta la bobina y activa los tres contactos independientes M que alimentan al motor.

El motor continuará girando, siempre y cuando no se active de forma manual el botón normalmente cerrado "b" que al ser activado, corta la corriente hacia la bobina M y por tanto desenergiza todos los contactos con el consecuente paro del motor.

Este sistema es poco común y solo se aplica en motores de pequeña potencia que no involucran un alto consumo de corriente.

Casi todos los motores de inducción pueden soportar corrientes elevadas de arranque a pleno voltaje. Pero esto afecta a sistemas de distribución de plantas cercanas, lo

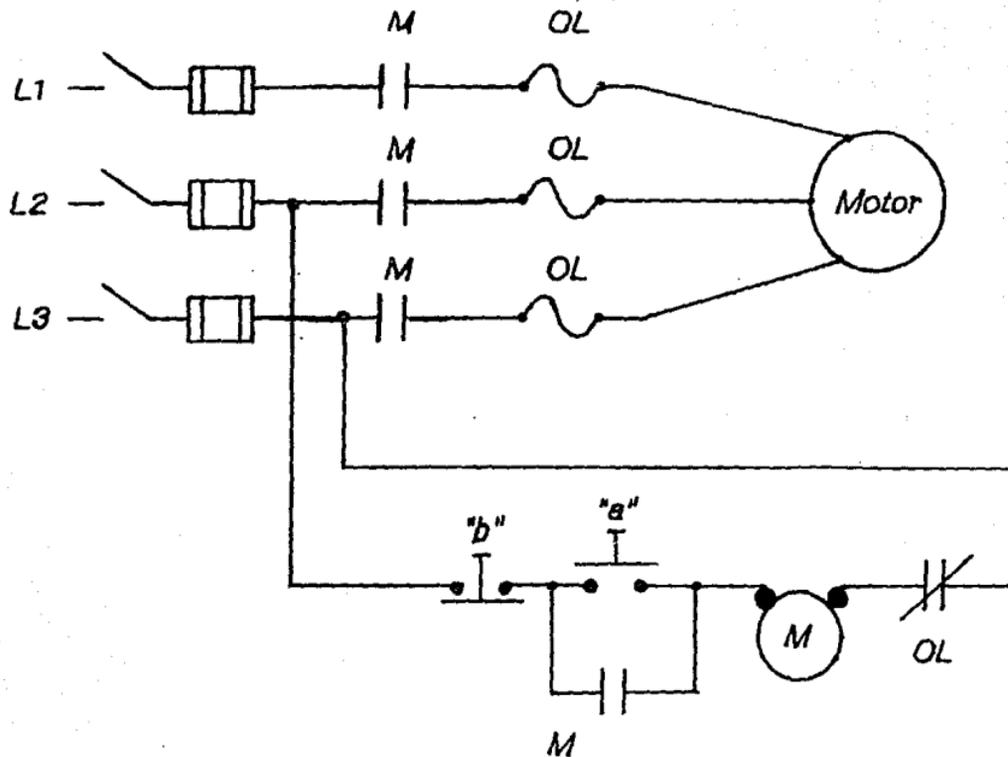


Figura 1.15 Arranque a tensión completa.

cual no es aplicable; pues la caída momentánea de tensión en los alimentadores afecta a otros equipos.

Los motores grandes deben someterse a reglamentos de la compañía de distribución, dichas normas pueden limitar la corriente de arranque por motor y la tasa de cambio de la misma (por ejemplo, 25 Amperes cada medio segundo).

b) Arranque a tensión reducida.- Con el objeto de limitar la corriente de arranque existen cinco tipos de arrancadores a tensión reducida, los cuales son:

- 1) Arrancador tipo resistencia primaria
- 2) Arrancador tipo reactor primario
- 3) Arrancador por autotransformador
- 4) Arrancador para motor con embobinado dividido
- 5) Arrancador para motor conexión estrella-delta.

1) Arrancador tipo resistencia primaria.- En este tipo de arrancadores se interponen resistencias eléctricas en serie entre los cables de línea y el motor y se colocan contactores en paralelo con dichas resistencias de tal modo que cuando el motor alcanza una velocidad nominal, se cierran dichos contactos. Otro método es el de utilizar reóstatos de gran capacidad que reducen en forma gradual el valor de la resistencia eléctrica conforme el motor alcanza la velocidad nominal de giro.

2) Arrancador tipo reactor primario.- En este caso se conectan bobinas o reactancias en vez de resistencias y de igual forma se va disminuyendo su valor conforme se alcanza el giro nominal.

3) Arrancador por autotransformador.- En este arrancador se utiliza un autotransformador para alimentar el motor de forma que gracias a su característica de multivoltajes se le aplica un voltaje reducido al motor al momento del arranque y posteriormente se conecta directamente el motor a la línea cuando ha alcanzado velocidad plena. A dichos autotransformadores se les conoce también como compensadores del factor de potencia.

4) Arrancador con embobinado dividido.- Para éste arrancador se tiene un motor cuyo bobinado es doble o dividido posibilitando así que por medio de contactores se pueda seleccionar con que bobinado trabajará el motor al arranque y luego se conmutará al siguiente bobinado una vez alcanzado el giro antes mencionado.

5) Arrancador para motor con conexión estrella-delta.- En éste método lo que se hace es conectar el estator del motor a la línea en conexión estrella al instante del arranque y en delta luego que el motor ha alcanzado su velocidad nominal. Este método requiere que dicho estator esté diseñado con las conexiones antes mencionadas.

Tanto en el caso de motores de corriente directa como en el caso de los de corriente alterna, es esencial que la corriente inicial que absorben los motores sea limitada a valores razonablemente bajos de forma que la caída de voltaje en las líneas se mantenga dentro de los estándares. Si la corriente al arranque fuera demasiado alta produciría el efecto de que la iluminación parpadeara o disminuyera su brillo o que otros motores que ya estaban trabajando disminuyan su velocidad momentáneamente.

1.14) Tipos de pruebas necesarias de motores

Los diversos métodos de pruebas que permiten la evaluación del funcionamiento de un motor de inducción son más complicados que los requeridos para uno de corriente continua. Particularmente, las de determinar las pérdidas con y sin carga mecánica y las de impedancias requieren tiempo y equipo especial y difícil de hayar en una instalación educacional tales como una fuente controlada y trifásica de corriente alterna cuya frecuencia pueda regularse hasta 15 Hertz. Dichas pruebas se especifican en la norma 112A de IEEE. Este trabajo se limita a pruebas que se realizan en un laboratorio modesto con tiempo limitado y es consistente con el método de medición a la entrada, reconocido en dicha norma a excepción de la prueba de carga aislada que no se incluye. Sin embargo, cabe mencionar que ya existen en el mercado programas de cómputo simuladores que proporcionan resultados

muy similares o cercanos a los esperados en laboratorios dependiendo de la aplicación requerida.

Tipos de pruebas.- Existen varias pruebas que se realizan a los motores antes de ser instalados de manera definitiva. Dentro ellas se mencionan las siguientes.

a) Resistencia del estator.- La resistencia eléctrica del devanado del estator se puede medir con un ohmetro estando el motor en completo reposo y sin alimentación. En la misma norma 112A de IEEE en el parrafo 5-15 se presenta el factor que se debe calcular y considerar en el valor final de la impedancia y es el de corrección de la resistencia por temperatura, entre otros factores.

b) Pérdidas en vacfo.- Al operar sin carga, la potencia de entrada P_{ent} es igual a la potencia mecánica más la pérdida por potencia eléctrica disipada en forma de calor y que se da por la expresión $I^2 \cdot R$ siendo R la resistencia antes mencionada. Las pérdidas por fricción, aerodinámicas y del núcleo se consideran constantes en todo el rango de carga.

c) Pérdidas de carga aislada.- Para determinar dichas pérdidas, es condición necesaria el de retirar el rotor de la máquina para hacer la medición de la entrada de potencia del estator para una serie de corrientes en el mismo. En seguida

se mueve el rotor a velocidad síncrona y en dirección opuesta al flujo síncrono y se mide la entrada con y sin potencia aplicada al estator. El tiempo y esfuerzos necesarios para retirar y reemplazar el rotor de un motor de unos cuantos caballos de fuerza hace exclusiva ésta prueba a los laboratorios industriales. Por tanto sin ésta prueba, la eficiencia calculada será algo mayor a la real.

d) Pruebas con carga.- Bajo carga, se efectúan medidas de la potencia de entrada, la corriente de la línea y el deslizamiento en seis puntos de carga entre el 25 y el 150 % de la nominal. Para el deslizamiento, se recomienda el uso de una pistola de luz estroboscópica o intermitente, pues la medición con tacómetro no permite una medida significativa, ya que una desviación o error del 1% en la velocidad medida resulta en un error aún mayor del deslizamiento.

En el siguiente capítulo se exponen algunos controladores de arranque comerciales que hay en México, para posteriormente, mencionar las especificaciones del controlador de arranque propuesto.

CAPITULO 2

ARRANCADORES EXISTENTES EN EL MERCADO NACIONAL

En las grandes industrias siempre se ha tenido la necesidad de controlar el arranque de motores de gran capacidad para mover maquinaria pesada. En este trabajo se mencionan algunas de las problemáticas que encierra el no poder arrancar los motores industriales de forma adecuada y se plantean soluciones viables.

Como referencia a este proyecto se han investigado dispositivos que ya existen en nuestro país.

La tecnología ha desarrollado medios eficientes de control de arranque y de control de velocidad así como protecciones para los motores industriales. Entre las compañías que se encuentran en nuestro país y que destacan por la fabricación y diseño de arrancadores y controladores de velocidad de motores industriales, están Siemens de México S.A. de C.V., Square D de México S.A. de C.V., Telemecanique de México S.A. de C.V., entre otras.

2.1) Marcas de arrancadores

A continuación se describirán de forma breve las características técnicas de los arrancadores y otros

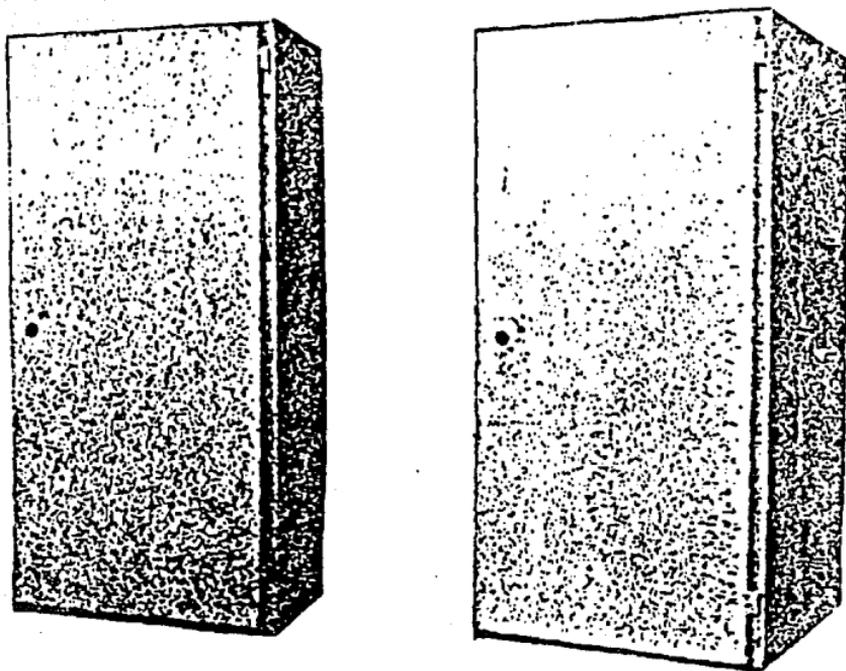


Fig. 2.1 Gabinetes "Simobat 1000" de Simens.

elementos que maneja cada compañía. Todo esto ha sido obtenido de las tablas del fabricante, con autorización de las normas mexicanas (NOM.)

a) La compañía Siemens de México de origen Alemán, se ha distinguido por la eficiencia de los dispositivos que maneja, algunos de los cuales se mencionan en seguida.

1.- Arrancadores automáticos para motores con devanado bipartido. Los motores con devanado bipartido y rotor "jaula de ardilla", tienen una construcción semejante a los normales excepto que los mencionados tienen el estator con dos devanados idénticos que se pueden conectar en secuencia a la línea de alimentación.

La finalidad de este tipo de motores es permitir la realización del arranque limitando la corriente y el par en motores de hasta 500 HP, 440 V.

Dicho arrancador se suministra dentro de una caja metálica para usos generales del tipo "Simobat 1000" como se muestra en la figura 2.1. Posteriormente se dan los diagramas de conexión en la figura 2.2

2.- Arrancadores automáticos para motores con polos conmutables (conexión Dahlander). Hay aplicaciones y necesidades en máquinas herramienta, equipos y máquinas para

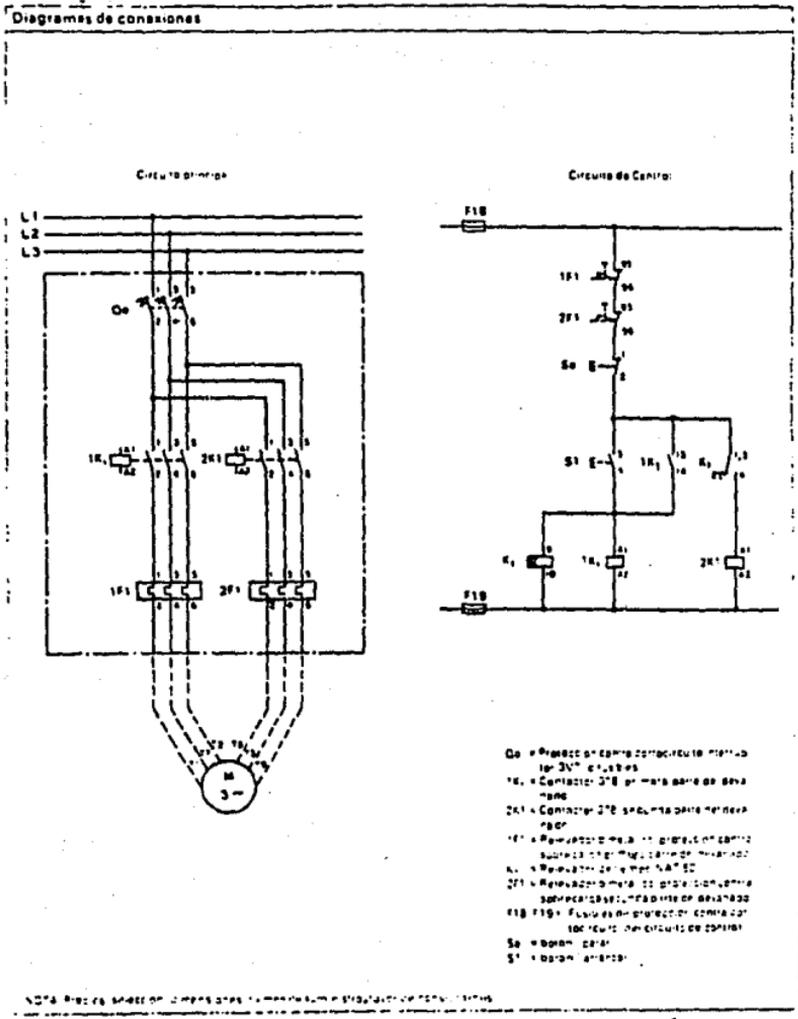


Fig. 2.2 Diagrama de Arrancadores Automáticos para Motores con Devanado Bipartido.

propósitos especiales, en donde se precisen dos velocidades en un mismo motor.

Dos o más velocidades pueden obtenerse de un motor, dependiendo del número de devanados y de su conexión.

Un tipo de motor de dos velocidades pero con un sólo devanado en conexión Dahlander es el que se describe.

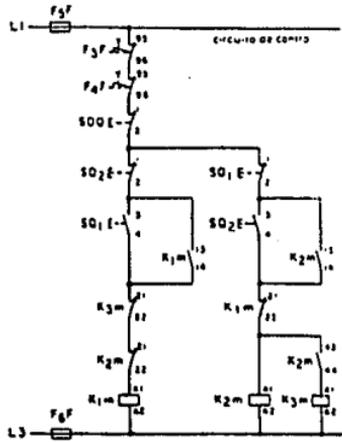
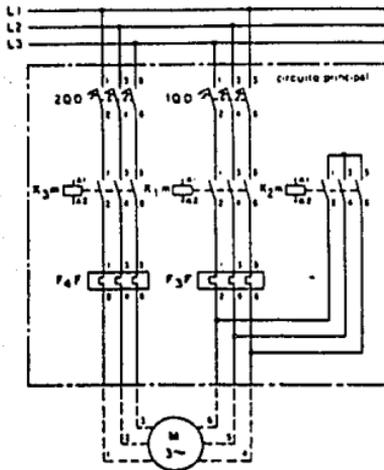
En los motores con éste tipo de conexión, se consigue cambiar la potencia, el número de polos y como consecuencia el par nominal y las corrientes. En la figura 2.3 se ve el diagrama de conexión para este arrancador.

Se tienen disponibles dentro de la caja metálica antes mencionada tipo Simobat "1000".

3.- Arrancadores automáticos a tensión reducida tipo K 981. Para el arranque de motores trifásicos hasta 300 HP a 400 V con autotransformador, no reversibles con bobinas de accionamiento por corriente alterna hasta 440 V, 60 Hz en caja de usos generales. Ver figura 2.4

Con el arrancador a tensión reducida tipo autotransformador, se reduce la tensión en los bornes del motor según la relación de transformación del autotransformador. Por lo general, se usan

Diagramas de conexiones del arrancador

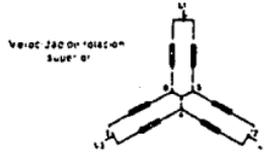
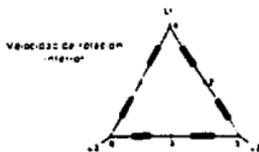


100 200 = Protección contra cortocircuito interruptor 3VT o fusibles
 K1m = Contactador de la velocidad inferior
 K2m = Contactador de la velocidad superior
 R1, R2 = Respetivos relevadores bimetalicos de protección contra sobrecarga de las velocidades inferior y superior

F4F, F3F = Fuentes de protección contra cortocircuito del circuito de control
 SO2E = Botón "parar"
 SO1E = Botón "arrancar" velocidad inferior
 SO1E = Botón "arrancar" velocidad superior

Diagramas de conexión para motores Jaula de Ardilla, conexión Dahlander (polos conmutables)

Un avance de conexión Dahlander, dos velocidades en sentido de giro



Para las conexiones Dimensiones Termicas del motor Ver en la construcción

Fig. 2.3 Diagrama de Arrancadores Automáticos para Motores de Polos Conmutables (Conexión Dahlander).

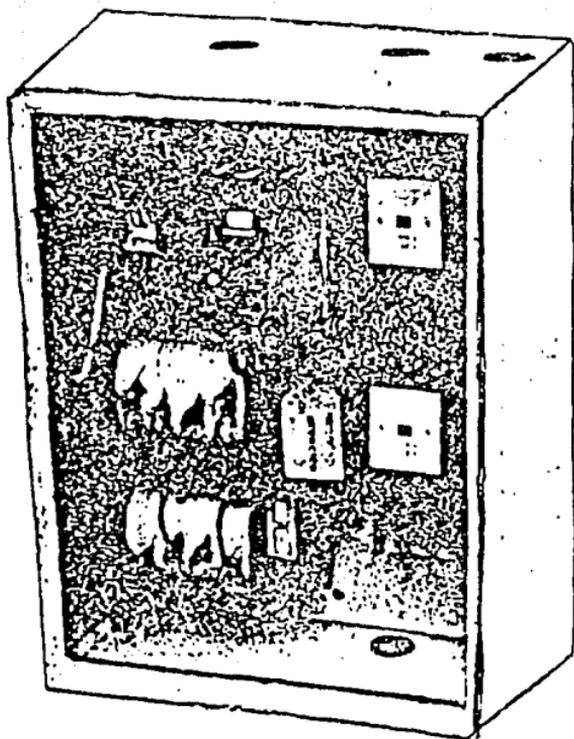


Fig. 2.4 Arrancador Automático del Tipo "K 981" de Simens.

autotransformadores con derivaciones de 50, 60 y 80 % de la tensión nominal. A continuación se muestra la figura 2.5 dada por el fabricante del arrancador y sus diagramas de conexión.

Para este tipo de arrancador se utiliza un autotransformador conocido como ATP cuya descripción general se da en seguida.

Los autotransformadores compensadores de arranque, como su nombre lo indica, tienen su principal aplicación en arrancadores a tensión reducida, para motores de inducción, trifásicos, monofásicos y con rotor de "Jaula de ardilla".

Estos autotransformadores tienen derivaciones al 50, 65 y 80 % de la tensión nominal. Son del tipo seco y para servicio interior. Se deben conectar como se indica en la figura 2.6 a los contactores.

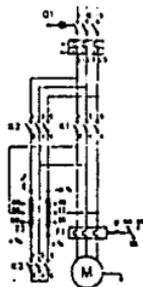
En general se recomienda usar las derivaciones de 65% para efectuar la compensación de arranque del motor; la derivación del 65 % del lado izquierdo se conecta a la fase L1 del motor, la línea L2 de la fase L2 del motor y la derivación del 65 % del lado derecho a la fase L3 del motor. Ver figura 2.6.

El autotransformador (T7) forma una parte esencial de

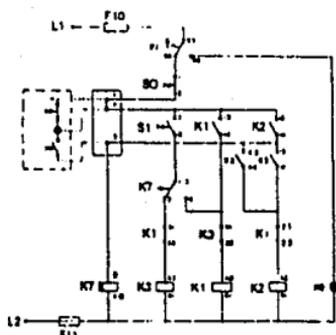
Arrancadores automáticos a tensión reducida tipo K981

Diagramas de conexiones

Circuitos de potencia



Circuitos de control



Ejecución estándar.

Con accionamiento por pulsadores
(Contacto de corta duración)

Los arrancadores pueden controlarse en
combinación con interruptores de presión
modificando e alarmado en la siguiente
forma

- K1 Autotransformador
- K2 Contactor a tensión reducida arran-
que
- K3 Contactor punto estrella
- K4 Contactor a plena tensión marcha
- A1 Interruptor con resaca permanente
- S1 Selector arranque
- SO Botón parada
- K7 Relé de protección
- F1 Relé de protección de sobrecarga
- Q1 Interruptor de protección de sobrecarga
- F10 Fusible de protección contra cortocircuito
- F11 Fusible de protección contra cortocircuito
- HO Lámpara de advertencia de sobrecarga

Para control a distancia remoto conectar a
este en los terminales como indica con los
cables de comando a puente en el cable
de potencia

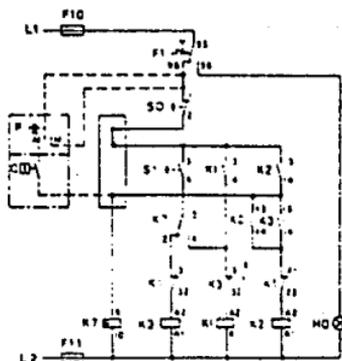


Figura 2.5

los arrancadores a tensión reducida a 981. La figura 2.6. presenta además, el contactor K2 (contactor de arranque), el K3 (contactor del punto estrella) y el M1 (contactor de marcha): El es el relevador bimetálico de protección contra sobre carga.

Condiciones normales de operación de estos autotransformadores.

- I) Temperatura ambiente permisible de -20 hasta 40 °C
- II) Elevación de temperatura: 80 °C
- III) Altitud de operación: 2500 m
- IV) Frecuencia nominal: 60 Hz
- V) Tensión a frecuencia de la línea, entre fases:
440 ó 220 V
- VI) Ciclos de operación:
 - Conectado 12 s
 - Desconectado 5 min, 48 s
 - Arranques/h máximo 10
 - Descanso 2 horas

Selección

El autotransformador debe seleccionarse de acuerdo a la tensión y potencia nominal del motor; vease tabla de selección. De 10 HP en 220 V, 20 y 40 HP en 440 V, solo derivaciones de 65 y 80 %. Ver la tabla de selección 2.7

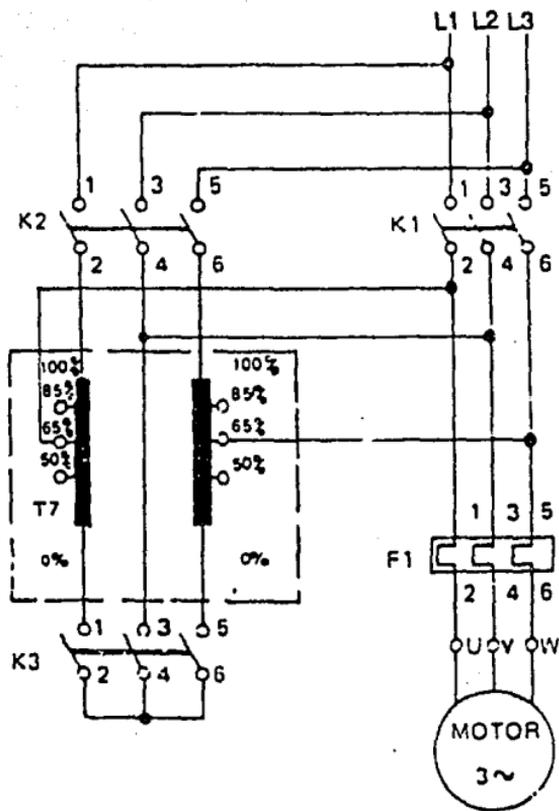


Fig. 2.6 Diagrama Eléctrico de un Autotransformador.

para estos autotransformadores.

* La aplicación de estos arrancadores comprende el accionamiento de motores para el control bombas centrífugas, sopladores, sistemas de aire acondicionado, etc.

Deben trabajar en condiciones ambientales normales con temperatura de 25 grados centígrados y deben montarse en posición vertical.

b) Esta vez se mencionarán algunas de las características de los controladores empleados por la empresa Square D de México de origen americano, cuyos equipos también son muy usados en nuestro país.

1.- Arrancadores Manuales para motores fraccionarios con elemento térmico de aleación fusible. Los arrancadores manuales clase 2510 Tipo F proveen protección contra sobrecargas en motores monofásicos de corriente alterna o directa, así como la operación manual de arranque y paro.

2.- Arrancadores magnéticos de C.A. a plena tensión. Los arrancadores a tensión completa para motores de corriente alterna constituyen el medio más sencillo de arrancar motores, cuando el par de arranque en estas condiciones no causa daño en la máquina movida y la corriente no es excesiva para la línea de alimentación. Ver tablas 2.8 a 2.10.

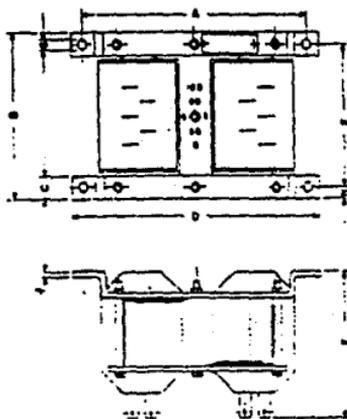
Autotransformadores para arranque a tensión reducida ATP

Tabla de selección de Autotransformadores

Potencia de operación HP	Tensión de Servicio V	Modelo	Código No	Potencia de operación HP	Tensión de Servicio V	Modelo	Código No
10 HP	220	ATP 110-1	318 019	30 HP	440	ATP 110-1	318 019
30 HP	220	ATP 110-2	318 021	40 HP	440	ATP 110-4	318 071
45 HP	220	ATP 110-3	318 033	60 HP	440	ATP 111-1	318 063
75 HP	220	ATP 111-2	318 045	75 HP	440	ATP 111-3	318 095
100 HP	220	ATP 111-4	318 057	100 HP	440	ATP 111-5	318 108
150 HP	220	ATP 112-1	318 069	160 HP	440	ATP 112-2	318 110
				200 HP	440	ATP 113-1	318 122
				300 HP	440	ATP 113-2	318 134

Dimensiones en mm.

Tipo ATP	Tamaño Hp	HP	Volt	A	B	C	D	E	F (mód.)	G	H	J	Peso Kg
A1	10-20	220-440		305	228	318	327	197	200	1428	155	78	23
		30	320										27
		40	220										28
		40	440										28
A3	75-100	80	440	348	378	38	381	241	230	1748	18	78	47
		75	220										61
		75	440										63
		100	220										65
		100	440										66
A3	150-200	180	220	369	337	38	403	299	243	1748	18	78	78
		180	440										78
		200	440										128
A4	300	440		499	354	608	623	343	375	2063	264	85	133



T A B L A 2.7

3.- Arrancadores magnéticos de C.A. a tensión reducida tipo autotransformador. Estos arrancadores proporcionan una aceleración suave y una reducida corriente en el arranque del motor, mediante contactores magnéticos y un autotransformador. A continuación se muestra la tabla 2.11 del fabricante comparando varios arrancadores según capacidad y modelo y también para selección.

4.- Arrancadores magnéticos de C.A. a tensión reducida tipo resistencia primaria. Este tipo de arrancadores, proporcionan una aceleración suave y una reducida corriente en el arranque del motor, mediante la instalación de resistencias en serie con los devanados del motor.

5.- Arrancadores magnéticos de C.A. Estrella-Delta. Estos arrancadores están diseñados para cambiar automáticamente las conexiones de un motor Estrella-Delta de modo que los devanados del mismo, son conectados primero en Estrella, durante el arranque y posteriormente, en Delta para marcha continua. Ver tabla de selección 2.12.

6.- Arrancadores para motores de C.A. tipo Devanado Bipartido. Consiste en un arrancador magnético para cada devanado y un relevador de tiempo.

Un motor de devanado bipartido, está formado por dos devanados paralelos separados eléctricamente y que tienen las

T A B L A 2.8

ARRANCADORES MAGNETICOS COMBINADOS A TENSION PLENA CON
DESCONECTOR EN CAJA MOLDEADA PROPORCIONADOS POR BOLAFE S DE
MEXICO.



PARA ELEMENTOS TERMICOS DE ALERACION FUSIBLE		3 POLOS		60 HZ		600 V C.A. MAX
CAPACIDAD C.P. MAX 3 Ø	VOLTS	TAMAÑO PORTAFUSIBLES (MORDAZA) AMPERES	ARRANCADOR TAMAÑO	CAJA USOS GENERALES TIPO 1	CAJA A PRUEBA DE AGUA TAM ACEPO-MOX TIPO 4	CAJA A PRUEBA DE POLVO TIPO 12
3	220	30	0	LBG12	LBA12	LBW12
	440	30	0	LBG13	LBA13	LBW13
5	220	30	1	LCG12	LCA12	LCW12
	440	30	0	LCG13	LCA13	LCW13
7.5	220	60	1	LCG13	LCA13	LCW13
	440	30	1	LCG14	LCA14	LCW14
10	220	60	2	LDG12	LDA12	LDW12
	440	30	1	LDG14	LDA14	LDW14
15	220	60	2	LDG12	LDA12	LDW12
	440	30	2	LDG14	LDA14	LDW14
25	220	100	3	LEG15	LEA15	LEW15
	440	60	2	LEG14	LEA14	LEW14
30	220	200	3	LEG12	LEA12	LEW12
	440	100	3	LEG13	LEA13	LEW13
50	220	200	4	LFG15	LFA15	LFW15
	440	100	3	LEG13	LEA13	LEW13
60	220	400	5	LGG15	LGA15	LGW15
	440	200	4	LFG13	LFA13	LFW13
100	220	400	5	LGG15	LGA15	LGW15
	440	200	4	LFG13	LFA13	LFW13
200	220	600	6	LSHG13	LSHA13	LSHW13
	440	400	5	LCG13	LCA13	LCW13
400	440	600	6	LSHG12	LSHA12	LSHW12

CAPACIDAD EN CP		CAPACIDAD DEL DESCONECTOR EN CAJA MOLDEADA	
220 V	440 V	AMPS	
3-25	5-50	100	
30-50	100	225	
100	200	400	
200	400	600	

TAMAÑO ARRANCADOR	CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR EN VA
0-1	50
2-3	100
4-5	150
6*	150

Los transformadores de control se proporcionan según el tamaño con capacidades como las mostradas en la tabla superior.

Los interruptores no incluyen fusibles, ni los arrancadores elementos térmicos.

T A B L A 2.9

CLASE
8539

ARRANCADORES MAGNETICOS COMBINADOS A TENSION PLENA CON INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS TIPO L PROPORCIONADOS POR SQUARE D DE MEXICO.

PARA ELEMENTOS TERMICOS DE ALEACION FUSIBLE ■				3 POLOS 60 Hz.		600VCA MAX.	
CAPACIDAD EN CP. MAX 30	VOLTS.	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO	ARRANCADOR TAMAÑO	GABINETE USOS GENERALES TIPO 1	GABINETE A PRUEBA DE AGUA LAM. INDIRIDABLE TIPO 4	GABINETE A PRUEBA DE POLVO TIPO 12	GABINETE A PRUEBA DE EXPLOSION TIPO 7 CD Y 9 EFC
1.5	220	FAL36015	0	IBC42	LBW42	LBA42	LR42
	220	FAL36020	0	IBC41	LBW41	LBA41	LR41
	440	FAL36015	0	IBC42	LBW42	LBA42	LR42
5	220	FAL36030	1	LCC44	LCW44	LCA44	LCR44
	440	FAL36015	1	LCC43	LCW43	LCA43	LCR43
7.5	220	FAL36050	1	LCC45	LCW45	LCA45	LCR45
	440	FAL36020	1	LCC46	LCW46	LCA46	LCR46
10	220	FAL36050	2	LCC43	LDW43	LDA43	LCR43
	440	FAL36030	1	LCC44	LDW44	LDA44	LCR44
15	220	FAL36070	2	LDC44	LDW44	LDA44	LCR44
	440	FAL36040	2	LDC42	LDW42	LDA42	LCR42
20	220	FAL36100	3	LEG43	LEW43	LEA43	LCR43
	440	FAL36050	2	LEG43	LEW43	LEA43	LCR43
25	440	FAL36070	2	LDC44	LDW44	LDA44	LCR44
30	220	KAL36125	3	LEG42	LEW42	LEA42	LCR42
	440	FAL36070	3	LEG44	LEW44	LEA44	LCR44
40	220	KAL36175	4	LEG43	LEW43	LEA43	LCR43
	440	FAL36100	3	LEG43	LEW43	LEA43	LCR43
50	220	KAL36200	4	LEG44	LEW44	LEA44	LCR44
	440	KAL36125	3	LEG42	LEW42	LEA42	LCR42
60	220	KAL36175	5	LCC43	LCW43	LCA43	LCR43
	440	KAL36125	4	LCC45	LCW45	LCA45	LCR45
75	220	KAL36300	5	LCC44	LCW44	LCA44	LCR44
	440	KAL36150	4	LEG42	LEW42	LEA42	LCR42
100	220	KAL36400	5	LCC46	LCW46	LCA46	LCR46
	440	KAL36200	4	LEG44	LEW44	LEA44	LCR44
125	220	MAL36500	6	AHC44	AHW44	AHA44	---
	440	LAL36250	5	LCC43	LCW43	LCA43	LCR43
150	220	MAL36600	6	AHC47	AHW47	AHA47	---
	440	LAL36300	5	LCC44	LCW44	LCA44	LCR44
250	440	LAL36400	6	AHC43	AHW43	AHA43	---
350	440	MAL36800	6	AHC45	AHW45	AHA45	---
400	440	MAL36800	6	AHC48	AHW48	AHA46	---

Instrucciones para ordenar (8538 y 8539)

- 1.- Especificar clase y el tipo de arrancador, así como la potencia del motor en el CP, la tensión, frecuencia y corriente a plena carga.
- 2.- Cantidad y número de elementos térmicos.
- 3.- Especificar cualquier adición o accesorio.
- 4.- Para adicionar lámpara piloto solicitar precio a la planta o distribuidor.

TABLA 2.11

ARRANCADORES MAGNETICOS DE CA A TENSION REDUCIDA
PROPORCIONADOS POR SQUARE D DE MEXICO.

CLASE
8606
8630
8640
8547

TABLA COMPARATIVA

Tipo de Arrancador	Características en % de los valores a Tensión Nominal			VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Tensión del Motor	Corriente de Línea	Par de Arranque		
Autotransformador 230V Clase 8606	80 85 90	64 42 25	64 42 25	<ol style="list-style-type: none"> Proporciona mayor par por ampere de corriente de línea Las derivaciones en el autotransformador permiten arrancar en el arranque Conveniente para períodos largos de arranque Arranque con transición cerrada Durante el arranque, la corriente del motor es menor que la corriente de línea 	<ol style="list-style-type: none"> En potencias de bajo caballo su aplicación es más cara Bajo factor de potencia
Resistencia Primaria (Clase 8547 & 8549)	70	70	48	<ol style="list-style-type: none"> Acceleración suave la tensión del motor se incrementa con la velocidad Alto factor de potencia durante el arranque Arranque con transición cerrada En potencia de bajo caballo su aplicación es menos cara que con autotransformador Posibilidad de hasta 7 puntos de aceleración 	<ol style="list-style-type: none"> Eficiencia del par bajo La resistencia libera calor Arranques en exceso de 5 segundos requieren resistencias muy costosas El ausite de la tensión de arranque es difícil para tener condiciones variables
Devanado Biepartido (Clase 8640)	100	85	48	<ol style="list-style-type: none"> Es el más económico de los 4 arañados Arranque con transición cerrada La mayoría de los motores con tensión dual pueden ser arañados con devanado biepartido en el motor de las dos tensiones 	<ol style="list-style-type: none"> No conveniente para cargas con alta inercia, que requieren arranques muy prolongados Requieren un diseño especial del motor para tensiones mayores que 230 Volt
Estrella Delta (Clase 8630)	100	33 1/3	33 1/3	<ol style="list-style-type: none"> Costo moderado menor que el de resistencia primaria e autotransformador Conveniente para cargas con alta inercia que requieren arranques muy prolongados Eficiencia del par alto 	<ol style="list-style-type: none"> Requiere diseño especial del motor Par de arranque bajo

TABLA DE SELECCIÓN

CARACTERÍSTICA NECESARIA	TIPO DE ARRANCADOR A USAR (Listado en orden de recomendación)	COMENTARIOS
Menor corriente de línea	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador (Clase 8606) Estrella - Delta (" 8630) Devanado Biepartido (" 8640) Resistencia Primaria (" 8547) 	Alternativas similares entre 1 y 2 & entre 3 y 4
Acceleración suave	<ol style="list-style-type: none"> Resistencia Primaria (" 8547) Estrella - Delta (" 8630) Auto Transformador (" 8606) Devanado Biepartido (" 8640) 	
Alto par de arranque	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador (" 8606) Resistencia Primaria (" 8547) Devanado Biepartido (" 8640) 	El motor de devanado biepartido no es capaz de aceptar el 100% la carga hasta que el segundo devanado sea conectado.
Conveniencia por largos arranques	<ol style="list-style-type: none"> Auto Transformador (" 8606) Estrella - Delta (" 8630) Resistencia Primaria (" 8547) 	Para esta resistencia el arranque de resistencia primaria debe ser provisto con una resistencia adecuada para uso en largos arranques
Conveniencia por frecuentes arranques	<ol style="list-style-type: none"> Resistencia Primaria (" 8547) Auto Transformador (" 8606) Estrella - Delta (" 8630) 	En general el motor de devanado biepartido es inadecuado para arranques frecuentes
Para fáciles cargas de arranque	<ol style="list-style-type: none"> Devanado Biepartido (" 8640) Estrella - Delta (" 8630) Resistencia Primaria (" 8547) Auto Transformador (" 8606) 	
Bajo costo	<ol style="list-style-type: none"> Devanado Biepartido (" 8640) Estrella - Delta (" 8630) Auto Transformador (" 8606) Resistencia Primaria (" 8547) 	Estadado en orden del precio del arrancador por C/P

TABLA 2.12

ARRANCADORES MAGNETICOS DE CA ESTRELLA-DELTA TIPO L
 PROPORCIONADOS POR SQUARE D DE MEXICO.

CLASE 8630

60 HERTZ		3 ELEMENTOS TERMICOS DE ALEACION FUSIBLE				600 Volts CA MAX.			
Características		Tam.	TRANSICION ABIERTA			TRANSICION CERRADA			
Cap. C P Máx.	Volts		Caja usos generales	Caja a prueba de agua	Uso industrial a prueba de polvo	Caja usos generales	Caja a prueba de agua	Uso industrial a prueba de polvo	
			TIPO 1	TIPO 4	TIPO 12	TIPO 1	TIPO 4	TIPO 12	
			TIPO	TIPO	TIPO	TIPO	TIPO	TIPO	
7 1/2	220	1YD	LCG-5	LCW-5	LCA-5	LCG-6	LCW-6	LCA-6	
	440-550	1YD	LCG-5	LCW-5	LCA-5	LCG-6	LCW-6	LCA-6	
10	220	1YD	LCG-5	LCW-5	LCA-5	LCG-6	LCW-6	LCA-6	
	440-550	1YD	LCG-5	LCW-5	LCA-5	LCG-6	LCW-6	LCA-6	
15	220	2YD	LDG-5	LDW-5	LDA-5	LDG-6	LDW-6	LDA-6	
	440-550	1YD	LCG-5	LCW-5	LCA-5	LCG-6	LCW-6	LCA-6	
25	220	2YD	LDG-5	LDW-5	LDA-5	LDG-6	LDW-6	LDA-6	
	440-550	2YD	LDG-5	LDW-5	LDA-5	LDG-6	LDW-6	LDA-6	
30	220	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
	440-550	2YD	LDG-5	LDW-5	LDA-5	LDG-6	LDW-6	LDA-6	
40	220	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
	440-550	2YD	LDG-5	LDW-5	LDA-5	LDG-6	LDW-6	LDA-6	
50	220	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
	440-550	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
60	220	4YD	LFG-5	LFW-5	LFA-5	LFG-6	LFW-6	LFA-6	
	440-550	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
75	220	4YD	LFG-5	LFW-5	LFA-5	LFG-6	LFW-6	LFA-6	
	440-550	3YD	LEG-5	LEW-5	LEA-5	LEG-6	LEW-6	LEA-6	
100	220	5YD	LGG-1	LGW-1	LGA-1	LGG-2	LGW-2	LGA-2	
	440-550	4YD	LFG-5	LFW-5	LFA-5	LFG-6	LFW-6	LFA-6	
150	220	5YD	LGG-1	LGW-1	LGA-1	LGG-2	LGW-2	LGA-2	
	440-550	4YD	LFG-5	LFW-5	LFA-5	LFG-6	LFW-6	LFA-6	
200	220	6YD	SHG-1	SHW-1	SHA-1	SHG-2	SHW-2	SHA-2	
	440-550	5YD	LGG-1	LGW-1	LGA-1	LGG-2	LGW-2	LGA-2	

terminales en la caja de conexiones, preparada para este fin.

El relevador de tiempo cambia de forma automática de un devanado durante el arranque a otro en plena marcha.

A continuación se da la tabla 2.13 para la selección de cajas por tamaños según capacidades.

* Las aplicaciones más comunes para este tipo de arrancadores es para controlar motores que accionan máquinas herramientas, aire acondicionado, compresores, etc. Se recomienda su uso en condiciones normales de temperatura de 25 grados centígrados. Se deben montar sobre la pared con una inclinación menor de 23 grados.

c) Ahora se mencionarán algunas características de los dispositivos de control usados por la compañía Telemecanique de México de origen francés.

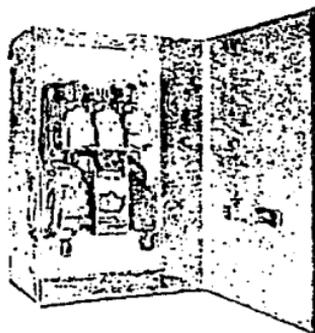
Esta empresa se dedica al control de motores, válvulas y otros dispositivos a través de varios sistemas como controladores lógicos programables a través de pantallas o mostradores por leds (displays) con teclado integrado llamadas terminales. También se pueden programar a través de una interfaz y una computadora personal. Pero éste trabajo se enfoca a un dispositivo en particular llamado ALTISTART 3 que es un arrancador que trabaja con un microprocesador y otros

TABLA 2.13

ARRANCADORES MAGNETICOS PARA MOTORES DE CA CON DEVANADO BIPARTIDO TIPO L PROPORCIONADOS POR SQUARE D DE MEXICO.

ELEMENTOS TERMICOS TIPO ALEACION FUSIBLE

60 HERTZ		Arranque Automático en Dos Pasos.		V 600 VOLTS MAX. CA		
No. de polos	Tamaño	CP MAXIMOS		Caja para usos generales TIPO 1	Caja a prueba de agua TIPO 4	Caja a prueba de polvo TIPO 12
		220 Volts	440-550 Volts	TIPO	TIPO	TIPO
3 Polos 3 Fases	1PW	15	20	LCG-1	LCW-1	LCD-1
	2PW	30	50	LDG-1	LDW-1	LDD-1
	3PW	60	100	LEG-1	LEW-1	LED-1
	4PW	100	200	LFG-1	LFW-1	LFD-1
	5PW	200	400	LCG-1	LGW-1	LGD-1



TIPO LDG. 1

No incluye los elementos térmicos, para seleccionarlos use la corriente de plena carga por devanado (normalmente es la mitad de la corriente total del motor).

elementos que lo hacen ser muy confiable y cuyos parámetros se pueden ajustar.

1.- Arrancador y frenador suave para motores asíncronos ALTISTART 3 (ATS-23). El arrancador-controlador ALTISTART 3 es diseñado para resolver los problemas de paro y arranque de motores asíncronos de tres fases y su arquitectura se basa en el uso de un microprocesador que controla el arranque, el paro y la protección del o de los motores por mover.

Este arrancador asegura un arranque suave y un paro igualmente suave y controlado para motores asíncronos trifásicos, sin que se den picos de corriente elevados o cambios mecánicos drásticos. En general se constituye por un microprocesador que monitorea varios parámetros del motor y a su vez controla los tiristores que son los encargados de alimentar al motor.

Este dispositivo viene provisto de varios tipos de funciones y ajustes que habilita y controla el operador respectivamente, las cuales son:

- I) Ajuste de la corriente de operación del motor
- II) Ajuste de la rampa de comienzo
- III) Opción para arranque con un impulso de sobretensión (llamado impulso "booster")
- IV) Frenado por freno libre desconectando la

alimentación

- V) Paro suave a través del control de la rampa de desaceleración
- VI) Paro eléctrico aplicando voltaje directo a la armadura

Un microprocesador controla y optimiza continuamente los parámetros de operación del arrancador y del motor, estos parámetros son:

- + Condiciones de comienzo y paro
- + La temperatura del motor comparada con una imagen simulada, ya calculada que tiene el microprocesador
- + La corriente del motor comparada con la corriente máxima admisible que depende de:
 - Del rango permisible del arrancador
 - De la corriente indicada en la placa del motor
 - La duración de operación
 - La habilitación de las alarmas del motor y del arrancador así como el accionamiento de protecciones
 - El monitoreo de las líneas de alimentación
 - El funcionamiento del mostrador (display) de leds indicadores.

En la siguiente figura (2.14) se muestra el dispositivo físicamente también, el diagrama por bloques del

microprocesador y de los tiristores.

A continuación se muestra el diagrama general de conexión por bloques del arrancador (diagrama 2.15).

También, se da una tabla (2.15 A) del fabricante para la selección del arrancador según la capacidad del motor.

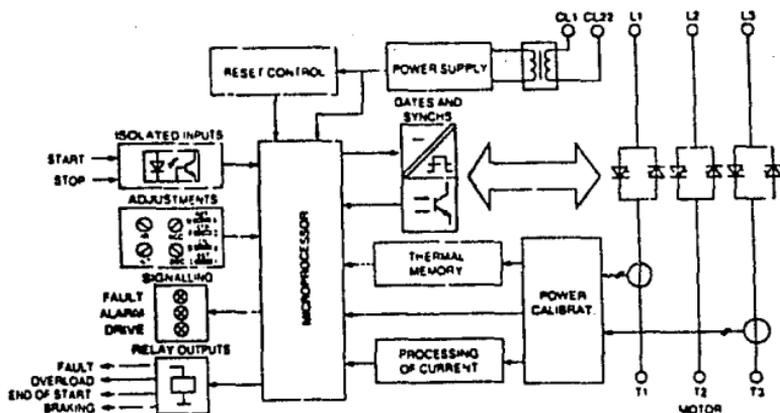
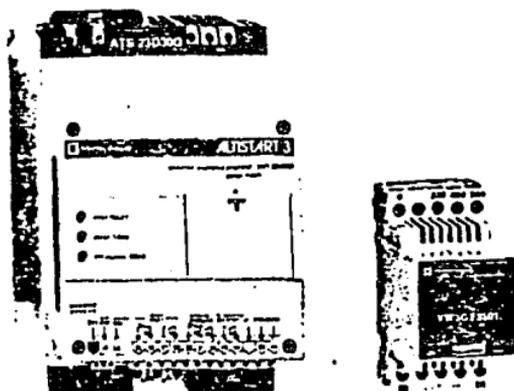
Este es uno de los modelos más eficientes y versátiles de los vistos hasta ahora, sin embargo su inconveniente es que vienen fabricados de Francia, por lo cual resultan muy costosos así como la reparación que solo puede darse en la misma empresa de su venta.

Como se puede notar, éste es uno de los dispositivos más eficientes y versátiles conocidos en México.

El arrancador que propone este trabajo es mucho más sencillo, sin embargo, es funcional y más económico, así como de fácil mantenimiento y reparación.

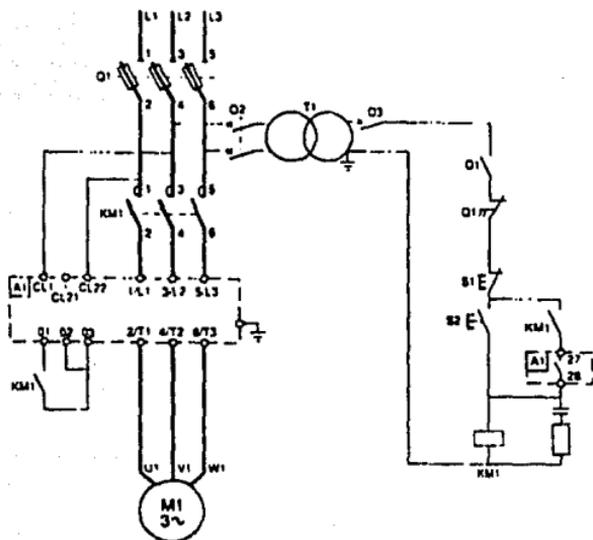
Nota.- Todos estos arrancadores se usan para motores que van desde 1/3 HP hasta 500 HP's y que trabajan en rangos de voltaje de 120 a 440 Volts con una frecuencia de 50 a 60 Hz.

Fig. 2.14 Diagrama del Arrancador "ALTISTART 3"
de la compañía Telemecanique de México.



En la parte superior se muestra el aspecto físico de éste controlador y en la parte inferior su diagrama por bloques.

Fig. 2.15 Diagrama de Conexión Simplificado del Arrancador "ALTISTART 3" Proporcionado por la Compañía Telemecanique de México.



- Donde:
- M1 = Motor
 - AI = ALTISTART
 - KM1 = Contactor auxiliar
 - Q1 = Interruptor principal con fusibles
 - Q2-Q3 = Circuitos de protección ("breakers")
 - T1 = Transformador
 - S1-S2 = Botones de contacto ("Push buttons")

T A B L A 2.15 (A)

TABLA DE SELECCION DEL ARRANCADOR ALTISTART 3 PROPORCIONADA POR LA COMPANIA TELEMECANIQUE DE MEXICO.

La tabla mostrada corresponde a condiciones normales de uso: 12 arranques por hora, 3 veces In (corriente nominal del motor) durante 60 s máximo.

Temperatura cerca del ALTISTART de 0 a 40 °C.

Potencia máxima del motor Corriente (I) Modelo Peso

220/240 V	380/415 V	440 V	460/500 V			
kW	kW	kW	kW	A	kg	
1,8	3	3,5	4	7	ATS-23U70*	3,000
3	5,5	5,5	7,5	12	ATS-23O12*	3,100
4	7,5	7,5	10	16	ATS-23O16*	4,100
7,5	15	15	18,5	30	ATS-23O30*	4,400
11	22	25	30	44	ATS-23O44*	6,900
18,5	37	40	45	72	ATS-23O72*	9,400
30	55	63	75	105	ATS-23C10*	10,200
40	75	90	100	140	ATS-23C15*	14,000
75	132	150	160	245	ATS-23C24*	44,000
90	160	180	220	300	ATS-23C30*	45,000
132	225	257	295	410	ATS-23C41*	56,000
180	315	375	425	585	ATS-23C58*	62,000
250	450	530	600	820	ATS-23C82*	112,000
355	630	750	800	1200	ATS-23M12*	124,000

CAPITULO 3

DESCRIPCION DEL CONTROLADOR DE ARRANQUE PROPUESTO

En el presente capítulo se detallan en primera instancia las especificaciones del controlador propuesto, las cuales se basan en las especificaciones de algunos controladores mencionados en el capítulo anterior, así como en las características del mismo circuito.

3.1 Especificaciones del controlador propuesto

El controlador que se describe en este capítulo tiene como finalidad que el operador pueda escoger un motor a la vez de entre cuatro motores para ser arrancado. Sin embargo, el controlador puede ser programado para arrancar hasta diez motores. Para este trabajo se diseñó para cuatro motores evitando así que el circuito fuese más complejo. De igual forma, puede seleccionar el tiempo de arranque que va desde los 8 s hasta los 40 s en que dicho motor trabajará a tensión reducida. Una vez arrancado dicho motor procede a arrancar el siguiente motor. En realidad el diseño del circuito resulta muy simple ya que el operador solo maneja tres contactores digitales, siendo el primero el que le sirve para seleccionar el motor a mover, el segundo para seleccionar uno de entre cuatro periodos de arranque que pueden ser ajustables y el tercer contactor es el que pone en

marcha al motor. El circuito propuesto se alimenta a través de una línea de fase y neutro (110 V ca) pues consta de una fuente de poder que reduce el voltaje de línea y lo transforma de corriente alterna a corriente directa (12 V cd, 1 A). El consumo del circuito controlador es muy pequeño (aproximadamente 500 mA a 12 V cd) pues utiliza transistores y circuitos integrados. La capacidad de este sistema puede ser tan grande como se desee modificando la etapa final del circuito, ésto es, la etapa final consta de relevadores tripolares de doble tiro cuyas bobinas son excitadas por el circuito mencionado. Por lo tanto se tienen relevadores con bobinas de impedancia igual o semejante (aproximadamente 50 ohms), pero con contactores de mayor o menor capacidad de corriente eléctrica. Para el caso específico del presente trabajo, se diseñó el circuito en un "protoboard" pudiendo controlar motores de entre 7 y 12 caballos de fuerza. Sin embargo, modificando los relevadores de la etapa terminal como ya se mencionó, se pueden manejar motores de hasta 150 caballos de fuerza. La tensión nominal en una instalación trifásica debe ser de 220 Volts entre fase y fase y de 110 Volts entre cualquier fase y neutro. La capacidad de corriente depende del consumo del motor que se especifica en las tablas del fabricante y en base a ello se selecciona la capacidad de corriente que deben soportar los contactores de los relevadores. Posteriormente se describirán los relevadores con mayor detalle. A continuación se muestra en forma general por medio de un diagrama de bloques lo antes

mencionado (ver figura 3.1). De acuerdo a las tablas de especificaciones de los circuitos integrados empleados, se determinó que el rango de temperatura dentro del cual el circuito debe operar está entre los 0 y 40 °C.

Las características de este controlador hace que sus especificaciones sean compatibles o lo más semejantes a las especificaciones de algunos de los controladores comerciales ya existentes, lo cual lo hace funcional en un caso práctico.

3.2) Diagrama de bloques del circuito

En seguida se explica en forma general los bloques que componen al controlador.

En primera instancia se tiene el bloque del circuito de control cuyo objetivo primordial es el de que a través de un subbloque que es el panel de control realice la actuación de determinado relevador o contactor electromagnético y de igual forma controla la duración del periodo de energización del mismo y provee el impulso inicial para el arranque.

Este bloque de control consiste principalmente en un circuito secuenciador usado para seleccionar la duración del pulso al cual trabajará el circuito temporizador que a su vez genera dicho pulso de arranque al tocar el botón de arranque. Dicho pulso a su vez se ve reflejado en solo alguno de los

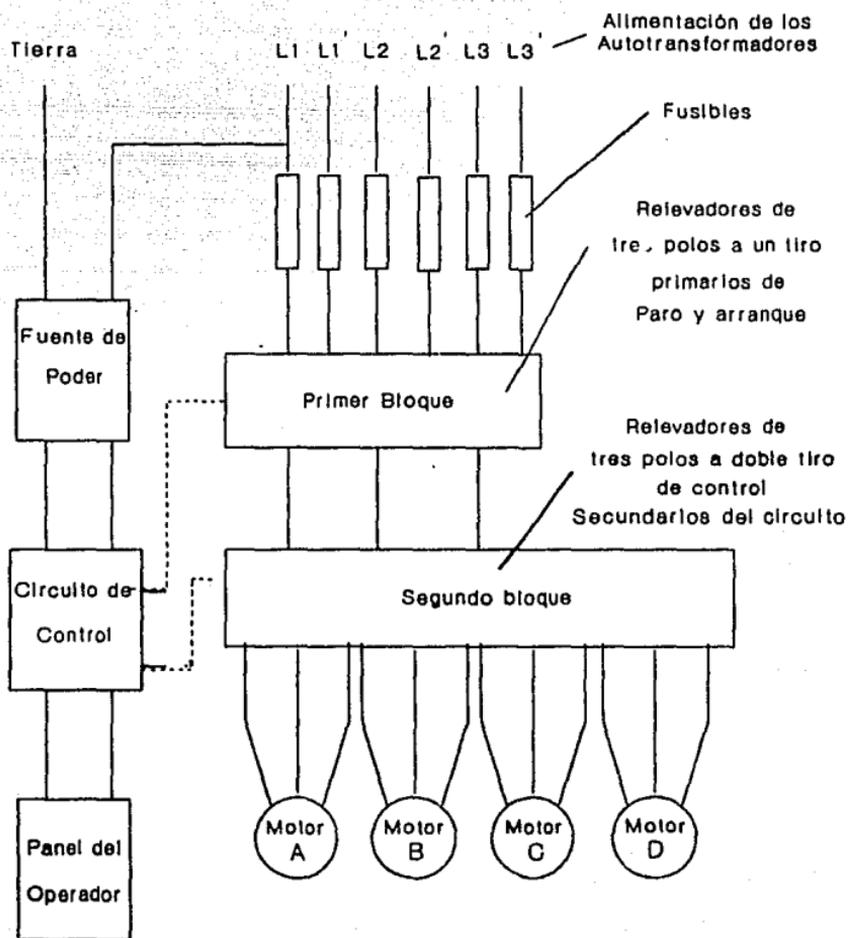


Figura 3.1 Diagrama por bloques del controlador propuesto.

circuitos de potencia gracias a otro circuito secuenciador que es controlado por el botón de selección de motor.

El bloque del panel de control es de suma importancia ya que a través de este bloque, el operador hace que se energizen los relevadores de control primario y posteriormente selecciona el motor y el tiempo de arranque y finalmente pulsa el botón de comienzo del arranque.

En realidad el manejo de dicho panel es sencillo ya que el operador tendrá sólo los controles de: botón de encendido o apagado, botón de período de arranque a tensión reducida, botón seleccionador de motor y finalmente el botón de comienzo. En forma general se describieron los controles principales que maneja el operador, pero a dicho panel se le pueden adicionar controles tales como pulsador de paro o controles de velocidad para motores multivelocidad.

A diferencia de los botones ordinarios de presión que sufren desgaste mecánico por el uso, el diseño de éste prototipo utiliza botones digitales ya que los circuitos electrónicos que usa son sensibles al tacto y no presentan el inconveniente anterior. Se recomienda al operador tener mucho cuidado de seleccionar el motor y el tiempo adecuado pues si no lo hace puede provocar por ejemplo que de un período muy corto y el motor seleccionado no alcance su velocidad nominal produciendo apagones momentáneos en la iluminación u otros

efectos antes descritos. Y para evitarlo, se coloca una tabla de instrucciones justamente al frente del panel para que el operador lo vea con facilidad y pueda seguir dichas instrucciones que poco a poco y con la práctica se le harán más habituales.

Una ventaja más que ofrece el controlador propuesto, es de que a través de un potenciómetro acoplado al circuito electrónico, el operador puede ajustar de entre un rango determinado el tiempo que durará energizado el relevador de arranque.

Dicho controlador está diseñado en este caso para controlar o energizar relevadores de contactores trifásicos para motores igualmente trifásicos, sin embargo se puede aplicar este concepto para energizar relevadores con contactores sencillos siendo éstos usados en motores monofásicos o en motores de corriente directa.

Cabe mencionar que dicho controlador fué realizado con el propósito de seleccionar uno de cuatro períodos de arranque y uno de entre cuatro motores. Sin embargo, se puede modificar el circuito para trabajar en la selección de hasta diez estados ya mencionados.

El operador puede seleccionar un motor a la vez y la duración del período de arranque en el que el motor trabajará

a tensión reducida. Al terminar dicho período, los contactores regresarán a su posición original debido a un mecanismo de resortes, haciendo que el motor, una vez adquirida su velocidad nominal se conecte a plena tensión. Por tanto una vez alcanzada ésta etapa, el operador puede seleccionar el otro motor y darle comienzo de igual forma que al motor anterior teniendo en cuenta que tanto la capacidad potencial del motor como el período pueden ser diferentes al motor anterior, pero es condición necesaria para este sistema que el operador se da cuenta de que el primer motor ha alcanzado su giro nominal, es decir dejar pasar un poco más de tiempo que el período seleccionado de tiempo de arranque para poder seleccionar el otro período y motor.

Esto es una ventaja significativa que se tomó en cuenta en el momento del diseño. Esto es, que los motores se moviesen en forma secuencial ya que si se arrancan los motores de manera no simultánea, es decir no al mismo tiempo, el consumo inicial de corriente se reduce notablemente que si se arrancaran todos a la vez y por lo tanto solo funciona para ciertas aplicaciones industriales como la que se mencionó antes sobre el accionamiento de un mecanismo de aire acondicionado.

Posteriormente, se diseñó la fuente de poder, siendo ésta capaz de proporcionar los voltajes y corrientes necesarias para alimentar el circuito de control.

En la figura 3.2 se tienen los subbloques del controlador teniendo cada uno su función como se muestra en seguida.

En resumen se puede decir que el primer bloque es en sí, el bloque de control que envía las señales necesarias para activar alguno de los relevadores durante un cierto período de tiempo. Posteriormente se tiene el bloque llamado fuente de alimentación que es la encargada de suministrar el voltaje y corriente necesarios para alimentar al circuito y que ésta funcione correctamente. En seguida, se tienen los relevadores cuya función básica es la de conmutar uno de entre dos estados de voltaje que son a plena tensión y a tensión reducida que puede ser suministrada por un autotransformador. Y finalmente se tienen los motores que se pretende mover.

Todos estos bloques a excepción de los motores y de las protecciones así como de los autotransformadores pueden estar contenidos dentro de un mismo gabinete dentro del cual se alojen los componentes electrónicos. Así dicho gabinete, tendría en su exterior los controles del operador, un cable con clavija para su alimentación y también las salidas en que se conectan los autotransformadores por un lado y los motores por el otro con sus componentes de protección asociados respectivamente. La idea general se muestra en la figura 3.3.

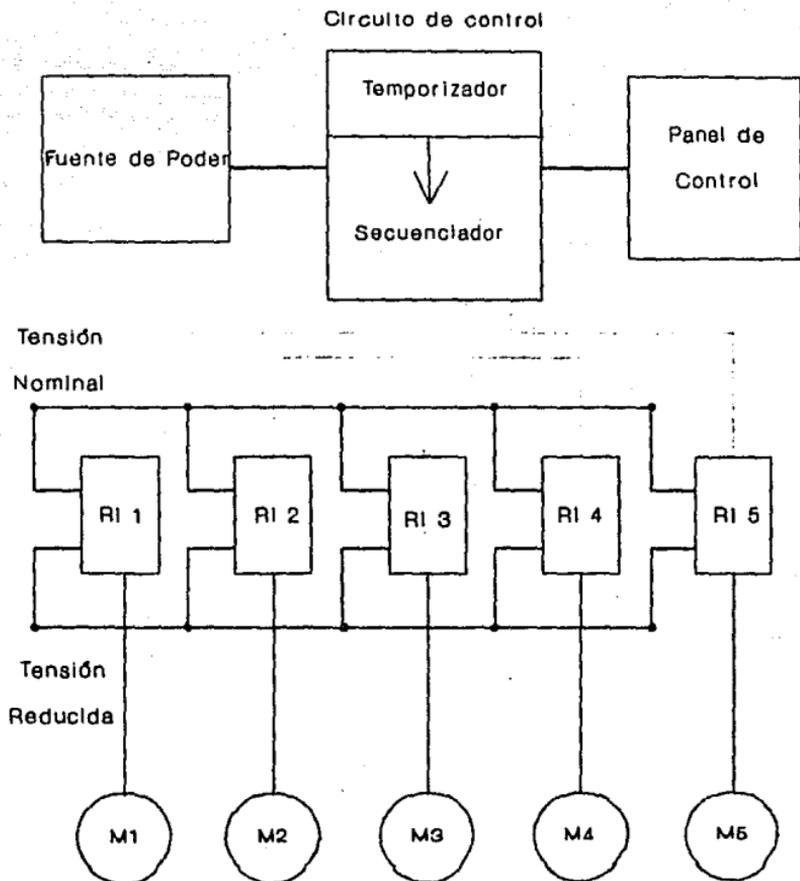


Figura 3.2 Subbloques del circuito propuesto

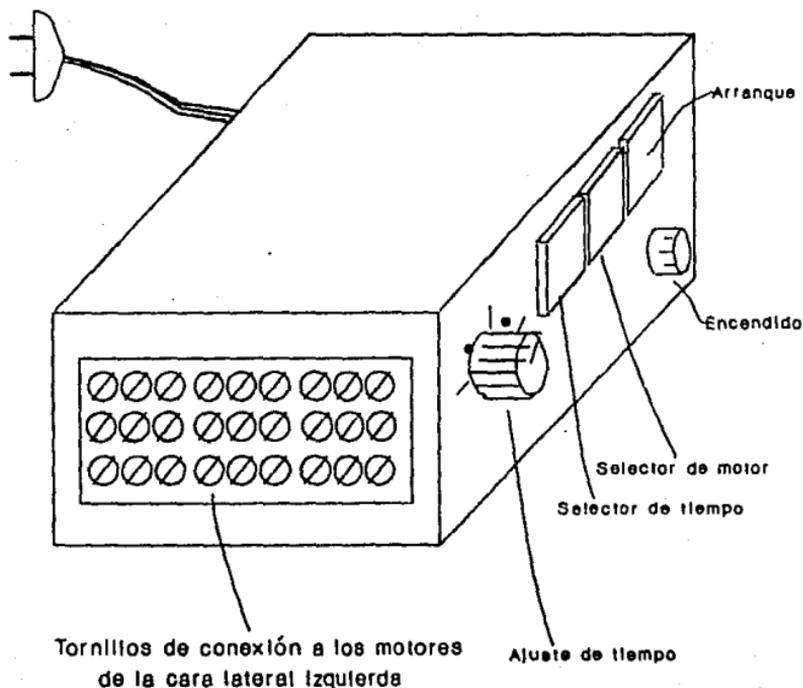


Figura 3.3 Gabinete con el controlador

El propósito de este trabajo es enfocarse a los componentes que constituyen el bloque de control antes mencionado, lo cual se verá en el siguiente capítulo con mayor detalle.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL CONTROLADOR DE ARRANQUE PROPUESTO

En el presente capítulo se describen de una forma más detallada los circuitos que forman los bloques que componen dicho controlador.

4.1) Descripción del controlador propuesto

En el presente capítulo se describen en forma breve en los subbloques del controlador de arranque en base a la función que realizan.

Antes de mencionar las primeras etapas del controlador, es necesario destacar el hecho de que para los bloques de temporización, de secuenciación y de potencia se usaron circuitos integrados y transistores especiales (NE 555, MC 4017, MC 4066 y TIP 122) de fácil adquisición y bajo costo en el mercado. Además, según tablas del fabricante, éstos componentes son capaces de trabajar a voltajes de hasta 15 V en corriente directa y consumen muy poca corriente (aproximadamente, 10 mA por circuito) a excepción de los transistores de potencia que consumen mayor corriente (200 mA cada uno), lo cual es una gran ventaja, pues evita que se utilicen circuitos integrados reguladores de voltaje y corriente en el circuito de la fuente de poder, ahorrando así

de una forma el costo del controlador. Otra razón que justifica el uso de dichos componentes es que según tablas del fabricante, los pulsos generados por cada circuito son totalmente reconocibles o compatibles entre un circuito y otro.

El primer bloque lo forma el controlador en si que a su vez consta de las siguientes etapas:

Como primera etapa se tiene un circuito temporizador a base de un circuito integrado NE 555 en configuración monostable como lo muestra la figura 4.1. Este circuito actua de la siguiente forma. Cuando la entrada del disparador (pata 2 del integrado) está ligeramente abajo de $(1/3) \cdot V_{cc}$ (describiremos V_{cc} como el voltaje directo de 12 Volts antes mencionado), el circuito produce un pulso de salida en su pata número 3 cuya duración depende de los componentes asociados al circuito (RC). El fabricante da una formula para el cálculo del periodo del pulso en estado alto y es la siguiente:

$$T = 1.1 \cdot R \cdot C$$

donde:

T = Periodo del pulso alto.

R = Resistencia eléctrica.

C = Capacitor del circuito.

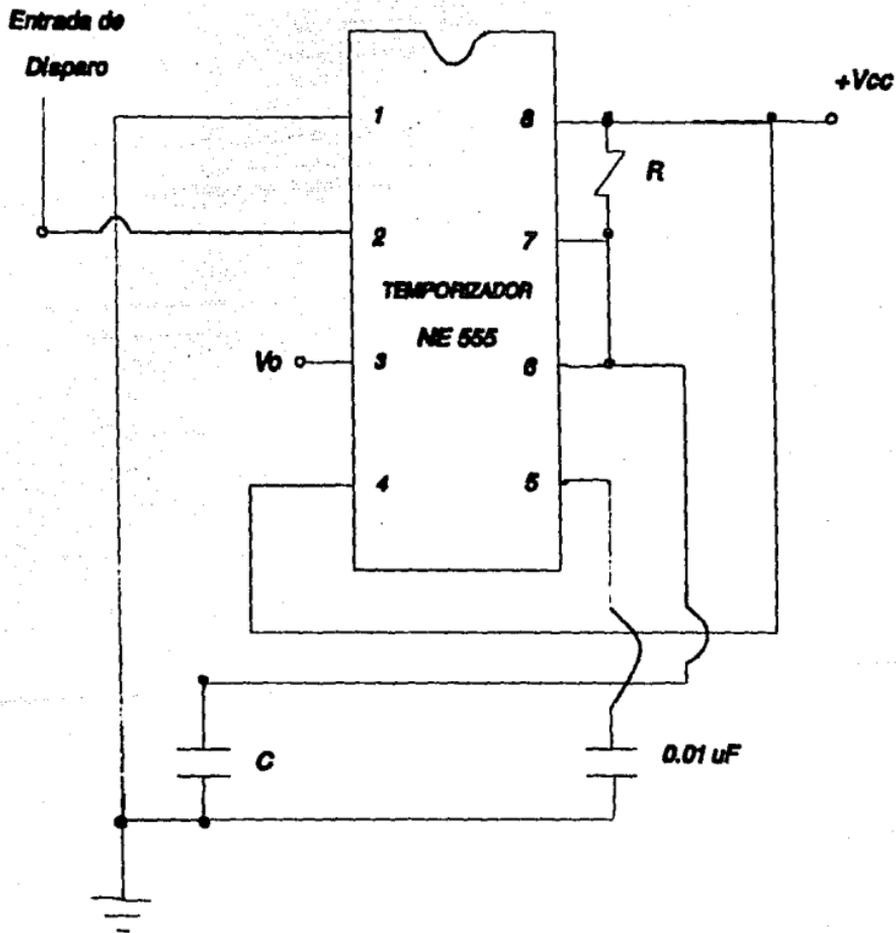


Figura 4.1 El circuito NE 555 configurado como monoestable

Para el caso de este trabajo se mantuvo constante el valor del capacitor; en este caso de 25 microfaradios y se usaron valores de resistencia de 227, 247, 300 y 590 kilohms respectivamente, pero solo uno a la vez. Además considerando un potenciómetro en serie con las cuatro resistencias por lo tanto aplicando la fórmula anterior con los valores dados se tienen los siguientes períodos de arranque para cada caso: $T_1 = 6.25$ s, $T_2 = 6.79$ s, $T_3 = 8.25$ s y $T_4 = 16.22$ s y teniendo el potenciómetro en el mínimo se tienen resistencias de 27, 47, 100 y 390 kilohms, con lo cual los períodos son: $T_1' = 0.74$ s, $T_2' = 1.29$ s, $T_3' = 2.75$ s y finalmente, $T_4' = 10.72$ s. Dichos tiempos fueron usados debido a que en la realidad se observa que para motores de entre 3 a 10 caballos de fuerza, los tiempos requeridos para el arranque son muy similares a los obtenidos por el cálculo y realización del circuito en cuestión. Sin embargo dichos tiempos no están limitados a los valores antes dados, pues si se tuviese que controlar motores más grandes, simplemente se tendría que recalcular los valores resistivos para obtener períodos más prolongados de acuerdo a los requerimientos de los motores según su capacidad y que en algunos casos también se proporcionan por el fabricante.

Con esto se puede ver que si se modifica el valor del potenciómetro, también se logra un período de arranque mayor por lo cual esto lo hace un circuito muy versátil. Se usó este circuito, pues los pulsos que genera son muy exactos y

por la fácil construcción del circuito empleando un mínimo de componentes asociados al circuito NE 555.

Este circuito monostable también se uso como pulsador digital. Para este caso, se cambió el valor del capacitor a 0.1 microfaradios y una resistencia de 27 kilo-ohms. de tal forma que al suministrar voltaje estático del cuerpo del operador al pin del circuito de disparo (pin 2), éste envía un pulso de selección cuya duración es de 0.003 segundos por el pin de salida (pin 3).

Para el bloque selector de tiempos y de motor se utilizaron los circuitos MC 4017 (secuenciador) y MC 4066 (selector) respectivamente. Los cuales se explican a continuación.

En seguida de este circuito se usó un circuito de tecnología CMOS conocido como contador de uno a diez estados (uno a la vez) con el número de MC 4017, dicho contador recibe un pulso de reloj y cada vez que recibe dicho pulso cambia, haciendo que solo una de sus diez salidas quede en estado alto. Pero también esta provisto de una pata llamada "Master Reset". Por ejemplo, si dicha pata se conectara a la salida número cinco del circuito, éste solo haría un conteo desde su salida uno hasta la cuatro y volvería a comenzar en uno, tal y como se configuró en éste sistema. (Ver la figura 4.2).

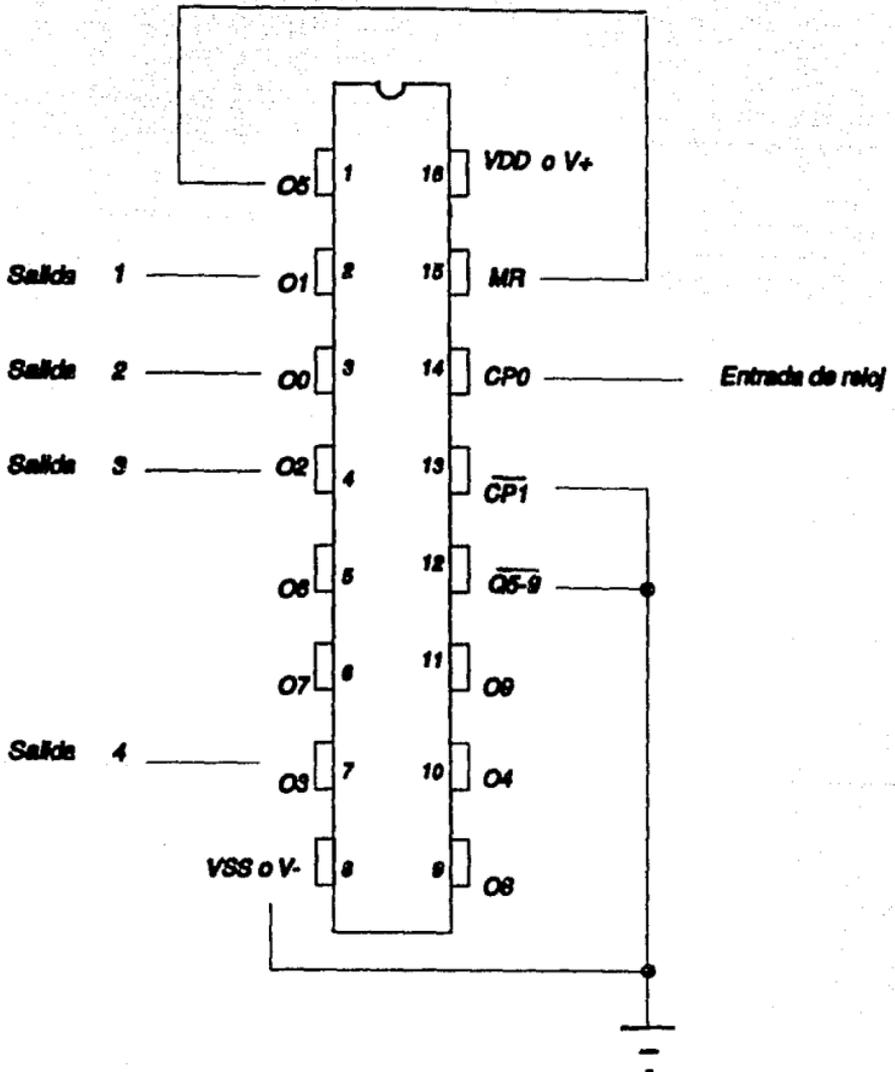


Figura 4.2 Diagrama general de conexión del circuito CMOS 4017 como contador de cuatro salidas

Se utilizó el circuito MC 4017 pues el pulso generado por el NE 555 es totalmente reconocible por el MC 4017 para trabajar en condiciones normales como contador decimal y además puede trabajar en un rango de voltaje de alimentación tan amplio como 15 Volts C.D. con un consumo de corriente mínimo disipando por lo tanto menor potencia en forma de calor.

El llamado pulso de reloj lo suministra el circuito monoestable antes mencionado y es lo suficientemente grande en amplitud como para excitar al circuito MC 4017, de manera que al pulsar cada vez el botón, se tenga una de cuatro salidas del contador en estado alto, como lo muestra la figura 4.3.

Posteriormente, se utilizó un circuito integrado también de la familia CMOS con el número MC 4066 o el MC 4016 que son equivalentes. Dicho circuito es conocido como interruptor bidireccional cuádruple, es decir cuatro interruptores bidireccionales dentro del mismo circuito. Se explicará el funcionamiento de uno de ellos pues los demás trabajan de igual forma. Por ejemplo, para uno de estos interruptores se tienen tres patas que son la entrada, la salida y el habilitador. Cuando no hay pulso en el habilitador, la impedancia entre la pata de entrada y la de salida es demasiado alta, es decir que no conduce corriente entre la entrada y la salida. Cuando hay un pulso en el

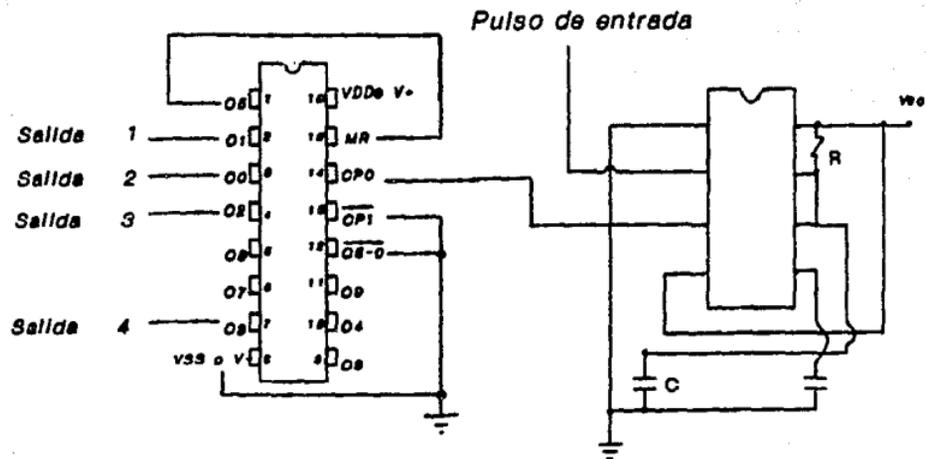


Figura 4.3 Diagrama del selector digital de cuatro salidas

nabilitador, su impedancia decrece a un valor muy pequeño, de tal modo que pasa a conducir corriente y es conocido como bidireccional por que la corriente que deja pasar puede circular tanto en un sentido como en el otro. Siendo el pulso de salida del contador MC 4017 lo suficientemente alto como para excitar las entradas habilitadoras del MC 4066.

Se uso el circuito MC 4066 pues al ser de la misma familia de los CMOS también acepta los pulsos generados por el MC 4017 y también presenta un consumo en corriente mínimo.

Hasta este punto, se conectan las cuatro salidas del circuito contador MC 4017 a los cuatro habilitadores, pero solo uno tendrá pulso ya que el contador solo activa una de sus cuatro salidas.

Las salidas y entradas del circuito anterior se conectan en serie entre un banco de cuatro resistencias antes mencionadas, el potenciómetro y el monostable NE 555 logrando así conmutar solo una de ellas a la vez y por lo tanto dando el monostable un pulso de salida cuya duración ya fué calculada dependiendo del valor de la resistencia seleccionada. El circuito anterior es denominado selector de tiempo o duración del pulso en estado alto.

En seguida se tiene el mismo circuito de selección con el MC 4017 y el MC 4066, pero en este último se conectan

todas las entradas en común a la salida del monostable antes mencionado y las salidas van a la siguiente etapa que en seguida se explicará, de tal forma que el pulso del monostable solo se verá reflejado en una de cuatro salidas. Todo esto se ve en la figura 4.4.

Posteriormente se conectan dichas salidas a las bases de los transistores de potencia (Darlington). Por tanto el pulso y su duración solo excitará a uno de estos cuatro transistores que a su vez excitan las bobinas de los relevadores de tres polos a doble tiro que son la etapa final del circuito y los cuales conmutan hacia los motores voltaje nominal o voltaje reducido suministrado por los autotransformadores de corriente alterna. Esto se puede observar en la figura 4.5.

Para este caso se usaron transistores de la compañía Motorola pues satisfacen los requerimientos de diseño cuyo número es TIP 122. Además se pueden conseguir fácilmente y su costo es bajo.

El arreglo de transistores Darlington del transistor TIP 122 consiste en dos transistores montados como lo muestra la figura 4.6 donde el primer transistor Q1 maneja poca corriente entre colector y emisor, pero su ganancia en corriente es elevada (factor hfe o beta). Es decir, requiere una corriente mínima de excitación en su base para

Pulso de entrada de
la pata No. 3 del ME 858

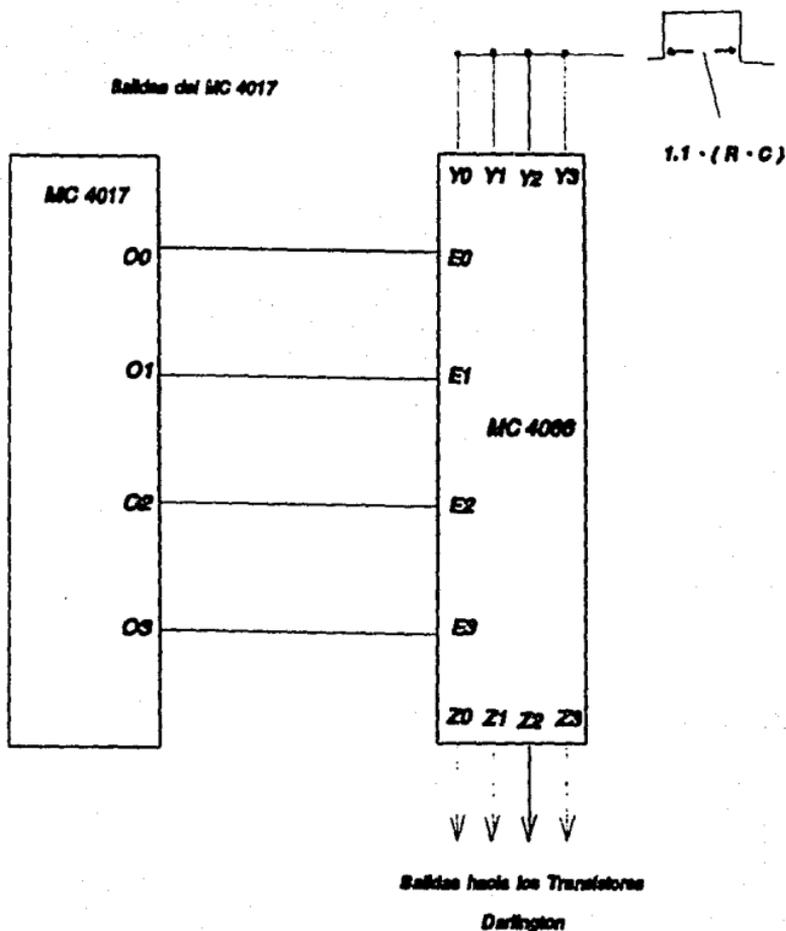


Figura 4.4 Esquema del circuito MC 4017 con
el circuito MC 4066

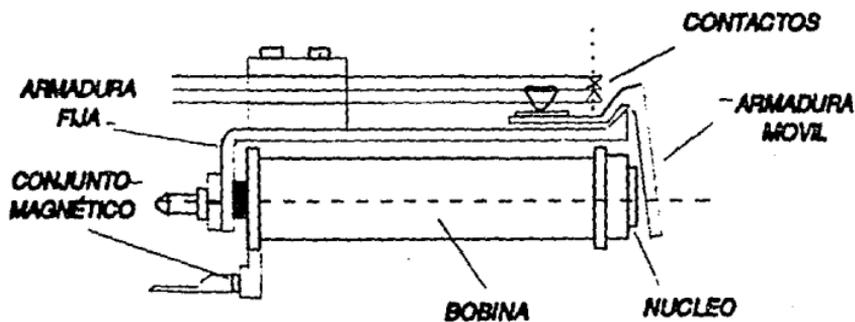
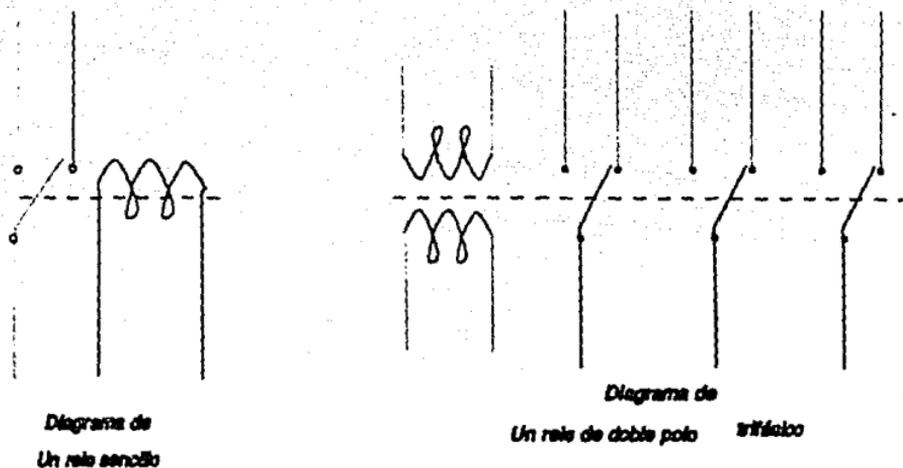


Figura 4.5 Diagramas de relevadores y estructura física de un tipo de relevador

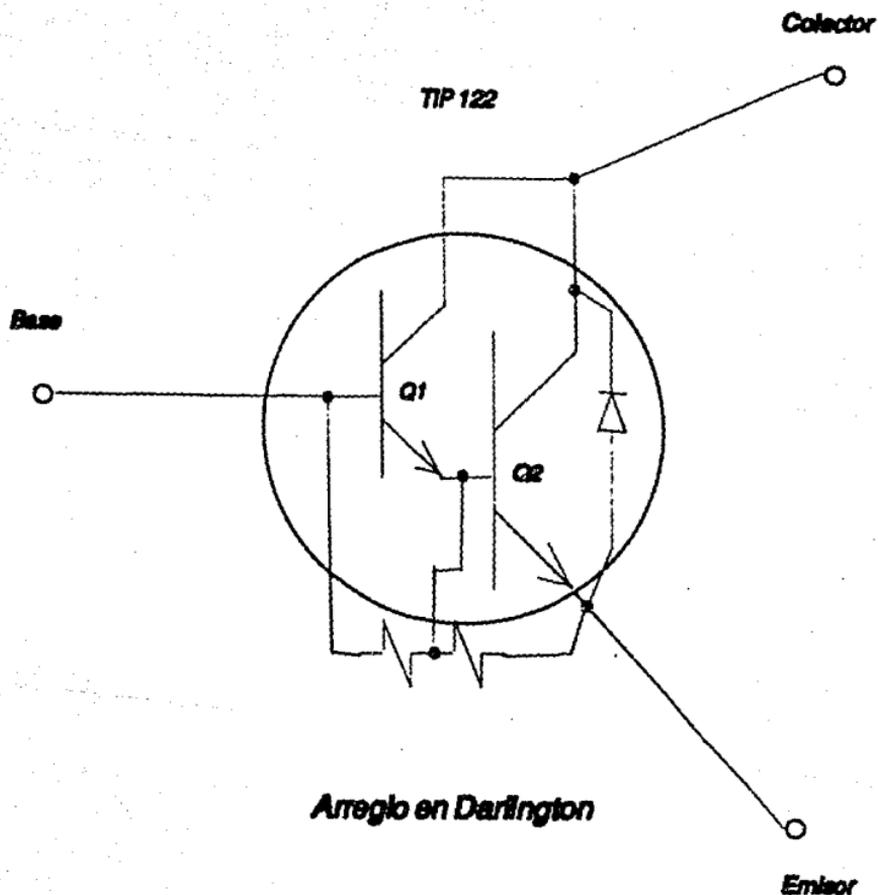


Figura 4.6 Configuración interna del transistor TIP 122

dejar drenar una mayor corriente entre su colector y emisor. El otro transistor Q2 tiene una ganancia menor en corriente, pero tiene mayor capacidad de drenar corriente entre su colector y emisor. Todo este circuito forma un transistor con una ganancia en corriente igual al producto de las dos ganancias y con una capacidad de corriente elevada. Este tipo de transistores fué seleccionado ya que la corriente necesaria para activar sus bases es factible en la salida de los circuitos integrados de la etapa anterior.

Finalmente, las bobinas de excitación de los relevadores utilizados en este proyecto tienen un valor de resistencia de entre 40 y 60 ohms. Dentro de este rango, los transistores proveen la suficiente corriente, sin sobrecalentarse, para producir la fuerza electromagnética necesaria para cerrar los contactos de los relevadores garantizando una corriente eléctrica que circula hacia los motores.

Cabe mencionar que se utilizaron relevadores, pues son elementos que con una corriente mínima de excitación en su bobina, son capaces de drenar una mucho mayor corriente entre sus contactos. Los contactos son los encargados de dejar pasar la corriente hacia los motores o suministrar los diversos voltajes a los mismos.

Se pensó en la posibilidad de usar elementos tiristores

en lugar de los transistores Darlington y los relevadores, pero dichos dispositivos tienen el inconveniente de que al aplicarles el pulso de arranque, quedan "disparados" (o en estado de conducción) a menos de que se aplique un pulso de voltaje inverso y de valor elevado en su compuerta, lo cual haría el circuito más complejo y se tendría que rediseñar de otro modo. Además de que los relevadores, al igual que los transistores usados, no representan un gran costo económicamente, se consiguen fácilmente y cumplen bien su función dentro del circuito.

Todos los componentes antes citados se seleccionaron ya que pueden soportar tensiones y corrientes de trabajo mayores a los suministrados por la fuente de poder. Sus características se muestran en las tablas de especificaciones del fabricante.

Una vez armado el prototipo del circuito, se procedió a investigar que tipo de transformador hay en el mercado común y es el más económico para diseñar la fuente de alimentación encontrando transformadores de 12 V. Posteriormente, para probar el circuito, se utilizó una fuente de poder de laboratorio para alimentarlo a una tensión de 12 V c.d. y se ajustó la fuente para proporcionar una corriente de hasta 2 Amp. En seguida se conectó todo el circuito en serie con una amperímetro digital midiendo la corriente total de consumo del circuito controlador, incluyendo las bobinas de los

relevadores observándose una corriente de 1 Ampere - aproximadamente. Con éste dato, se procedió a utilizar un transformador de 110 V c.a. de entrada y 12 V c.d. a la salida a 2 Amperes, con lo cual se garantiza el voltaje y corriente necesarios para el circuito. La siguiente etapa de la fuente de poder la constituyen diodos rectificadores de silicio del tipo 1N 4040 que según el fabricante son capaces de drenar corrientes de hasta 3 Amperes y un condensador electrolítico de 2000 microfaradios a 25 V, que en conjunto hacen que la corriente alterna se transforme en directa, que es la requerida por el circuito. Todo esto se ve en la figura 4.7.

Cabe mencionar una breve descripción de lo que son los contactores y los relevadores.

Quizá la mejor manera de describir un contactor es que es un elemento interruptor de corriente por medio de accionamiento electromecánico. Se compone de un juego de contactos fijos y un juego de contactos móviles que se cierran por efecto de tracción de un electroimán. La mayoría de los contactores usan un electroimán y un dispositivo de contactos que corresponde a uno de dos tipos comunes. El primero de ellos es el de tipo armadura en el que los contactos son retenidos por efecto de las piezas polares del electroimán con una fuerza mayor e inversa a la fuerza de un resorte que mantiene en otra posición

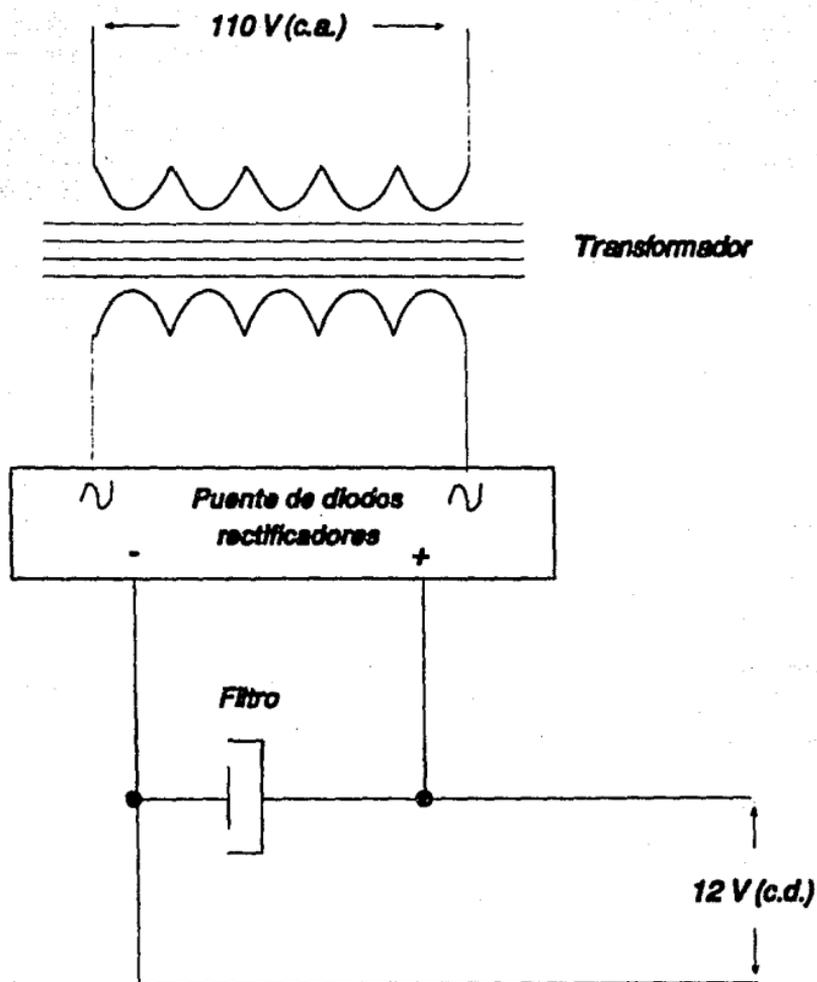


Figura 4.7 Diagrama simplificado de la fuente de poder o alimentación del circuito

(original) a los contactos que son articulados con charnelas para poderse deslizar en forma horizontal hasta tocar los contactos fijos.

El segundo tipo de es el de solenoide, en el cual, los contactos son accionados por el extremo superior del núcleo magnético del solenoide. Al excitar el solenoide, el núcleo es atraído hacia su interior elevando así verticalmente los contactos móviles hasta encontrar los contactos fijos sujetos al soporte del solenoide.

Todo lo que es necesario para que funcione el contactor es aplicar a la bobina del electroimán una tensión del valor correcto.

Se puede dar el caso de tener dos contactos fijos y uno móvil el cual en su posición original está tocando a uno de los dos contactos fijos y al energizar la bobina de excitación, cambian su posición los contactos móviles para tocar a los segundos contactos fijos, como el caso que se ocupó en este trabajo.

El relevador por su misma construcción se considera un amplificador mecánico.

Recapacitando un poco acerca del significado de la palabra amplificar. Significa aumentar, ampliar, exceder o

incrementar. Al activar o excitar la bobina de un relevador con 12 Volts de corriente directa y los contactos conmutan un circuito de 110 Volts de corriente alterna, se está amplificando la tensión mediante el uso de un relevador. Las bobinas del relevador solo requieren una corriente pequeña para su funcionamiento, la cual es dada por los transistores de la etapa final de dicho controlador y se utilizan para activar circuitos de corrientes más intensas. El relevador es inherentemente un dispositivo de una sola entrada que solo requiere de una corriente eléctrica para activar su bobina. Sin embargo al usar varios contactos, el relevador se convertiría en un dispositivo de varias salidas, por lo cual también se le puede considerar como amplificador del número de operaciones, siendo controladas por una sola entrada.

Suponiendo por ejemplo que se tiene un relevador cuya bobina funciona con 12 Volts y un amperé de corriente directa, y que los contactos del mismo controlan tres circuitos separados que funcionan con 440 Volts y 15 Amperes de corriente alterna cada una. Este relevador se convierte en un amplificador de potencia en cuanto controla considerablemente más potencia en sus circuitos de salida que la que consume en sus circuitos de entrada. También se convierte en un amplificador en cuanto al número de circuitos, ya que una sola entrada controla tres salidas independientes y separadas una de otra. En la figura 4.5 se muestra un tipo de relevador con una bobina de excitación y

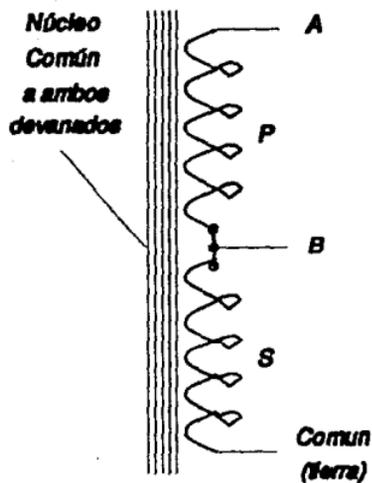
varios contactos de salida independientes uno del otro.

Por tanto, se puede decir que desde el bloque del panel de control del operador hasta los transistores de potencia que conforman al controlador, son considerados el elemento piloto o de pequeñas señales y los relevadores son la etapa de transición entre estas pequeñas señales y la etapa de potencia formada por los autotransformadores, los motores y los elementos de protección de los mismos.

Para el arranque a tensión reducida, se recomienda el uso de autotransformadores pues son de menor tamaño que los transformadores convencionales y además de menor costo. En la figura 4.8 se da el esquema de un autotransformador suministrando tensión plena y tensión reducida.

Como se ve, el funcionamiento del sistema es relativamente sencillo. Todo es debido a que se usó un mínimo de componentes y circuitos repetitivos aplicados de diferente forma en cada etapa. También cabe destacar, la importancia que tiene cada componente pues cada uno tiene una función específica, son fáciles de conseguir en el mercado y a un costo muy bajo. Todo el circuito por bloques se muestra en la figura 4.9.

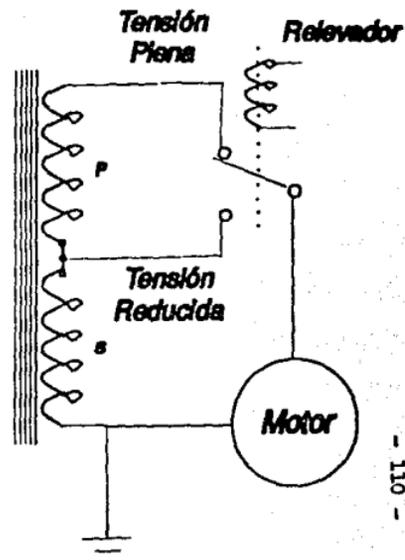
En el siguiente capítulo se mencionan algunas pruebas necesarias que se le deben efectuar al controlador propuesto



a) Diagrama básico.



b) Esquema físico.



c) Autotransformador conectado a un pequeño motor monofásico

Figura 4.8 Autotransformador que comparte el núcleo magnético y el punto eléctrico

antes de instalarse de forma definitiva.

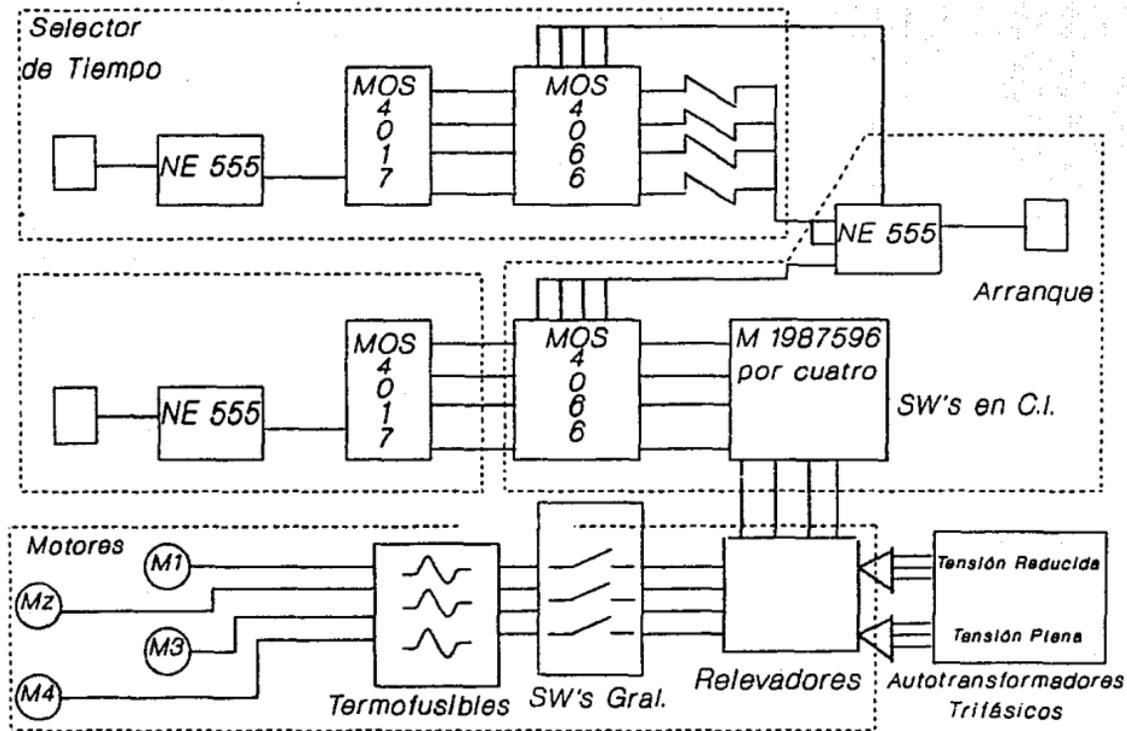


Figura 3.9 Diagrama por bloques de todo el sistema.

CAPITULO 5

PRUEBAS NECESARIAS PARA EL CONTROLADOR DE ARRANQUE

Es condición necesaria, el efectuar ciertas pruebas al circuito controlador, así como ciertas mediciones de los voltajes de alimentación, antes de ser incorporado a cierta instalación. En el presente capítulo se dan algunas de las pruebas más importantes que hay y que se deben realizar para seguridad del circuito, protección de la instalación y del personal.

5.1) Puesta en marcha del controlador

El controlador que se mencionó en el capítulo anterior fue desarrollado prácticamente en "protoboards", pero solo hasta la etapa piloto, es decir sin la etapa de potencia, se usaron pequeños motores de C.D. en lugar de las bobinas de excitación de los relevadores y hasta se uso un relevador de contactos múltiples cuya impedancia de bobina fué de 50 ohms dando los resultados esperados.

En primera instancia, se usó un cronómetro así como la gráfica tomada de un osciloscopio para poder observar la duración de tiempo del pulso al estar este en estado alto (es decir al activarse uno de los motores seleccionados) y coincide en forma casi igual a los valores antes calculados,

con lo que se demostró la eficiencia del circuito.

Un punto a tomar en cuenta en este aspecto es que se tiene en el circuito controlador un potenciómetro con el cual se puede prolongar aún más el tiempo de duración de dicho pulso. Este pulso será mayor si la carga mecánica a mover es más pesada.

Ya estando en una industria con una aplicación práctica se deben considerar varios factores para poder ajustar dicho potenciómetro así como seleccionar la capacidad de los relevadores de la etapa final del circuito y dicho factores son: determinar la carga mecánica a mover y en base a esto seleccionar un motor cuyo par de arranque sea suficiente para mover dicha carga por un tiempo prolongado, apeandose a las normas NEMA y dejando un margen de seguridad. En base al primer factor se ve el consumo de corriente que requiere dicho motor que también se proporciona en las tablas del fabricante para mover la carga mecánica sin problemas. Una vez seleccionado el motor, se seleccionan las protecciones o fusibles, la capacidad de corriente que soportan los contactos de los relevadores así como la corriente y la tensión proporcionada por los autotransformadores.

Los autotransformadores también deben apearse a normas específicas y constar de sus debidas protecciones antes de ser conectados a la línea.

Es decir que antes de implantar dicho controlador es necesario un estudio de cargas mecánicas y eléctricas de la instalación.

Una vez implantado, el proceso de arranque que deba ejecutar el operador se debe hacer con el siguiente orden que es muy importante. Primero, se debe encender el circuito de control. En este momento, los interruptores que van conectados en serie entre los contactos de los relevadores del controlador deben estar en la posición de apagado. Una vez encendido el dispositivo controlador, se debe seleccionar el número de motor a mover y el tiempo de duración del período de arranque. En seguida se da arranque a los motores con el pulsador del controlador e inmediatamente después se da encendido a los interruptores antes mencionados, con lo cual se garantiza la llegada de voltaje reducido inicialmente a los motores. Es muy importante dar un margen mayor de tiempo al ajustar el potenciómetro del controlador de tal modo que le da tiempo al operador de llevar a cabo el paso anterior. Finalmente, para frenar el motor, simplemente se apagan dichos interruptores y luego el controlador.

Existen interruptores que al estar en la posición de apagado realmente lo que hacen es conmutar a través de resistencias en paralelo las bobinas del estator del motor. Este es un método muy práctico de frenado, ya que al seguir girando el rotor del motor sin tener aplicada una tensión en

el estator, el motor se convierte en un generador que drena su corriente a través de dichas resistencias. Estas resistencias disipan la potencia generada en forma de calor, obligando así a detener el movimiento del rotor. Finalmente, si la carga mecánica movida es muy alta se aplica un freno mecánico de disco para llevar al motor a su condición de paro total.

5.2) Consideraciones importantes

Es necesario también que una vez implantado dicho sistema, tanto el panel del controlador como un tacómetro sean puestos en un lugar apropiado para el operador. Esto es debido a que si en algún momento el operador observa una variación anormal en la velocidad del motor o motores, los desconecte de la línea inmediatamente.

Para evitar este tipo de desperfectos es necesario dar un mantenimiento preventivo regular tanto a los relevadores (evitando que se queden pegados sus contactos por el uso o que ya no conduzcan corriente por la acumulación de polvo entre ambos) como al circuito electrónico del controlador limpiándolo regularmente del polvo y revisando que los niveles de tensión sean los correctos.

Se ha mencionado mucho las normas NEMA ya que son los estándares a los cuales se apega el diseño del controlador y

estas normas incluyen especificaciones tales como las letras clase para motores ya mencionadas y los calibres o los tamaños de los arrancadores. lo que facilita la selección del equipo para que cubra las condiciones de capacidad para un caso dado. Por ejemplo, el arrancador calibre cero se destina a motores de 3 caballos de fuerza y 440 volts de alimentación. El calibre 1 para 7.5 caballos de fuerza, el dos para 25, el tres para 50 y el cuatro para 100 respectivamente.

5.3) Gabinetes o "cofrats" protectores según normas NEMA

Tanto NEMA como otras organizaciones han establecido normas para la construcción de gabinetes destinados a los equipos de control. En términos generales, el equipo debe ser encerrado por las siguientes razones:

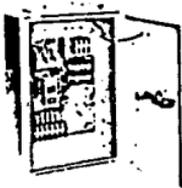
- a) Prevenir contactos accidentales con partes vivas (energizadas).
- b) Proteger el control de condiciones ambientales adversas.
- c) Prevenir explosiones o fuego que pudiera resultar del arco eléctrico, causado por los elementos de control.

Los envoltorios tipo NEMA 1 son para uso normal y sirven para evitar contactos accidentales con los aparatos de control y los circuitos bajo tensión. En dichas normas NEMA se dan varios tipos de armarios contenedores de los arrancadores o de los circuitos controladores. El "cofret" NEMA 3 protege aparatos en su interior contra cualquier fenómeno climatológico como lluvia o nieve en montajes exteriores. Los NEMA 4 son de cierre estanco, pudiéndose usar en exteriores como embarcaderos, fábricas de cerveza, etc. Los NEMA 7 se destinan a lugares donde hay riesgos por emanación de gases como mantos petrolíferos y deben satisfacer también las normas de ubicación de los de la clase 1, grupo D. Los del tipo NEMA 8 se usan donde hay gases con presencia de elementos corrosivos. Para este tipo los contactos son sumergidos en aceite. Los del NEMA 9 se usan en lugares polvorientos como fábricas de harina estando en la clase 2 en el reglamento, grupos F y G. Los del tipo 11 van dentro del grupo de "cofrets" resistentes a corrosión por ácidos o humos. También sus contactos son sumergidos en aceite. Finalmente, los del grupo NEMA 12 se destinan a locales donde se requiere protección contra suciedad, polvo y aceite como talleres mecánicos o grandes fábricas de ensamblado. En la figura 5.1 se muestran dichos gabinetes.

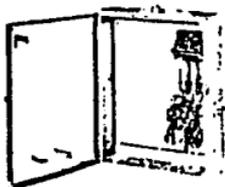
Si no se tiene en cuenta dichos factores, puede suceder que se queme la instalación o los motores, que la compañía de luz cobre una multa por un consumo excesivo o que al



NEMA 1 — Gabinete para Aplicación General



NEMA 2 — Gabinete a prueba de gases



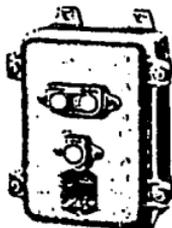
NEMA 3 — Gabinete a prueba de Intemperie



NEMA 4 — Gabinete a Prueba de Agua



NEMA 7 — Clase I Grupos C y D —
Gabinete para localizaciones peligrosas



NEMA 9 — Clase II, Grupos E, F, y G. Gabinetes
para localizaciones peligrosas.



NEMA 12 — Gabinete

5.1 Tipos de Gabinetes o "Cofrets" según Normas NEMA.

arranque se dé una caída de tensión en otros puntos de la instalación como la iluminación.

CONCLUSIONES

Como conclusiones se puede afirmar que se cumplieron los objetivos de este proyecto al poder ver funcionando físicamente el controlador de motores. También, durante el desarrollo de este circuito, se reafirmaron conocimientos generales sobre conceptos de electrónica, electricidad y magnetismo.

Otro aspecto importante es que se ven mejoras respecto al método anteriormente usado en el cual el operador tenía que estar monitoreando el tiempo de arranque o la velocidad del motor para mover el interruptor en forma manual de voltaje reducido a pleno voltaje siendo también inexacto el tiempo del periodo de arranque.

Igualmente, se destaca el hecho de que se logró ensamblar con componentes fáciles de conseguir en el mercado nacional.

También, cabe mencionar que la aplicación que tiene este controlador es muy variada pudiendo controlar otros dispositivos como válvulas de paso de flujo o para motores más pesados que muevan bombas hidráulicas de gran capacidad.

En realidad, la versatilidad y eficiencia así como sencillez de este controlador lo hacen ser una buena opción

para el control confiable de motores industriales pudiendo controlarse más de cuatro motores y con tiempos de arranque mayores o menores según se requiera.

Otro aspecto de suma importancia es que este circuito debido a su gran sencillez resulta bastante costeable, pues sus componentes se encontraron en el mercado a precio módico.

Finalmente, se puede mencionar que la utilización de dicho sistema por un usuario es fácil y no requiere ninguna preparación, únicamente se le debe indicar al operador el proceso de encendido al arranque y el proceso de apagado o paro del motor. Es un sistema seguro pues presenta protecciones adecuadas para que ni el operador ni cualquier otro usuario sufra algún accidente.

BIBLIOGRAFIA

[1] Noll M. Edwards. " LINEAR IC PRINCIPLES AND PROJECTS ".

Editorial SAMS. 1989, Ft. Worth Texas 76102 U.S.A.

[2] Boylestat Nashelsky. " ELECTRONICA ".

Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V; 1988, Atlacomulco 499-501, Fracc. Industrial San Andrés Atoto 53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

[3] William D. Stevenson. " Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia ". Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V; 1980, Atlacomulco 499-501, Fracc. Industrial San Andrés Atoto 53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

[4] Mc. Intyre. " Control de Motores Eléctricos ".

Editorial Marcombo, 1979, Barcelona España.

[5] Siskind C.H. " ELECTRICAL MACHINES - ALTERNATING CURRENT ".

Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V; 1980, Atlacomulco 499-501, Fracc. Industrial San Andrés Atoto 53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

- [6] Manual " FAIRCHILD SEMICONDUCTOR SERIES 74000 ".
(ISOPLANAR DATA BOOK), 1980, #64 Ellis Street,
Mountain View, California 94042.
- [7] Manual " MOTOROLA SEMICONDUCTOR DEVICES ".
(BIPOLAR POWER TRANSISTOR DATA), 1989. Sexta edición,
P.O. Box 6000 Austin, TX 78762, U.S.A.
- [8] López Aparicio David Ing. Revista " ENCICLOPEDIA
PRACTICA DE LA ELECTRONICA ".
Ediciones Nueva Lente, 1980, Barcelona España.
- [9] Torres H. Jose Antonio Ing. " Apuntes de Electrónica
del 5ª al 9ª semestres ". Universidad La Salle,
(1988-1990), Benjamín Franklin No. 47, Colonia
Condesa, México 06140, D.F.
- [10] Gómez Ibarra J. Enrique. " Apuntes de Máquinas
Síncronas y de Corriente Directa del 5ª al 9ª
semestres ". Universidad La Salle, (1988-1990).
Benjamín Franklin No. 47, Colonia Condesa, México
06140, D.F.