



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**RACIONALIZACION DEL CONSUMO  
DE  
ENERGIA ELECTRICA**

**tesis**

*Que para obtener el Título de:*  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

*Presentan:*  
**PATRICIA ALMEIDA ARVIZU  
JOSE OSCAR GRAJEDA CUEVAS  
MARCO POLO MOCTEZUMA AQUINO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## I N D I C E

	PAGS.
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Antecedentes	III
Introducción	IV
CAPITULO I.- Estudio sobre las instalaciones eléctricas.	
1.1 Conceptos Básicos sobre Instalaciones eléctricas.	1
1.2 Cuadro de cargas y diagrama de fuerza	3
1.3 Diagrama unifilar	4
1.4 Medición de carga por fase en conductores alimentadores	5
1.5 Análisis de cargas permisibles en cables alimentadores	7
1.6 Cómo debe ser una instalación eléctrica	8
1.7 Conclusión	44
CAPITULO II.- Teoría del motor de inducción trifásico.	

	PAGS.
2.1 Generalidades	45
2.2 Teoría sobre el funcionamiento del motor de inducción	45
2.3 Clasificación de los motores de inducción.	73
2.4 Características de placa de los motores de inducción	87
2.5 Conclusión	101
CAPITULO III.- Diagrama Circular	
3.1 Teoría del diagrama circular	102
3.2 Pruebas a los motores de inducción trifásico	110
3.3 Construcción del diagrama circular	119
3.4 Análisis comparativo de un motor entre las condiciones nominales y reales.	124
3.5 Conclusión	131
CAPITULO IV.- ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA RACIONALIZAR LA ENERGIA ELECTRICA - EN LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.	
4.1 Introducción sobre el factor de potencia	132

	<b>PAGS.</b>
<b>4.2 Instalación de capacitores</b>	<b>136</b>
<b>4.3 Proyecto de selección de motores</b>	<b>149</b>
<b>4.4 Intercambio de motores entre máquinas</b>	<b>164</b>
<b>4.5 Conclusión</b>	<b>169</b>
 <b>CAPITULO V.- CONCLUSIONES</b>	
<b>5.1 Conclusión sobre el aprovechamiento real de la energía</b>	<b>170</b>
<b>5.2 Como ejercer un control sobre el sistema eléctrico de una planta industrial</b>	<b>171</b>
 <b>Bibliografía</b>	 <b>172</b>

## ANTECEDENTES

Hemos visto en varias industrias que no se tiene un control en lo que al aspecto eléctrico se refiere; prueba de ésto son las multas que pagan por bajo factor de potencia a las compañías suministradoras de energía eléctrica debido a la mala selección de sus máquinas eléctricas (motores de inducción) etc.

Esta obra va encaminada a crear una metodología que puede ser aplicada para ejercer un control sobre los diversos elementos que consumen la energía eléctrica, con el fin de racionalizarla.

Se atiende específicamente a los motores de inducción trifásicos por ser los de mayor utilización en la industria.

## INTRODUCCION

El objetivo de este proyecto consiste en crear una metodología que pueda ser aplicada en la industria con el fin de racionalizar el consumo de energía eléctrica.

Uno de los problemas de mayor importancia en la actualidad es el ahorro de energéticos; este proyecto es importante ya que actualmente tenemos problemas para satisfacer la demanda de energía eléctrica en México, y para lograr un desarrollo rítmico del país debemos utilizarlos energéticos adecuadamente ó de otra manera podemos caer en un estancamiento y carecer de los servicios y beneficios primordiales que nos proporciona la energía eléctrica.

Esta obra consta de 3 partes principales:

1.- El análisis de las instalaciones eléctricas de una planta industrial.- Con el fin de detectar los errores de instalación básicos, que violen las normas de instalaciones sin profundizar en diseño ni cuestiones más complicadas.

2.- Pruebas a los motores de inducción. Por ser los de mayor uso industrial se examinarán este tipo de motores para determinar sus características de marcha y más que nada para contar con un método práctico el cual al ser aplicado nos indicará como están siendo utilizados dichos motores y nos marcará la pauta para la racionalización de la energía eléctrica.

3.- Alternativas de solución.- En esta parte se darán las alternativas de solución para Racionalizar la Energía Eléctrica en los Motores de Inducción Trifásicos, así como la aplicación de capacitores para el mejor funcionamiento del sistema eléctrico; y por último, las conclusiones a las cuales nos ha conducido este trabajo.

La teoría que contiene esta obra es la esencial, que nos ayudará en un momento determinado a contar con las bases necesarias para poder discernir entre alternativas de solución y escoger las soluciones más adecuadas, así como la justificación teórica de la metodología - - - empleada para el desarrollo del proyecto.

# CAPITULO I

## ESTUDIO SOBRE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS.

## 1.1 CONCEPTOS BASICOS SOBRE INSTALACIONES ELECTRICAS.

Se entiende por instalación eléctrica, al conjunto de canalizaciones, charolas, ductos, electroductos, tubos conduit, cajas de registro, elementos de unión entre canalizaciones, conductores eléctricos, accesorios de protección, control y otros, necesarios para interconectar una o varias fuentes de energía eléctrica con los aparatos y equipos receptores tales como: Motores Eléctricos, Transformadores, Soldadoras, Capacitores, etc.

Los objetivos a seguir de una Instalación Eléctrica son:

Seguridad  
Eficiencia  
Racionalización de la Energía Eléctrica  
Accesibilidad.

Seguridad.- Debe ser prevista desde todos los puntos de vista, para personas idóneas y operarios de la instalación en todas las ramas, es decir, la planeación y construcción de la instalación eléctrica debe visualizar la protección contra posibles fallas y partes peligrosas.

Eficiencia.- La correcta utilización de la energía eléctrica y la calidad de la producción dependen de la eficiencia de la instalación eléctrica.

Racionalización.- Está directamente relacionada con una correcta distribución de los centros de carga, los cuales a su vez, van a racionalizar la energía, lográndose esta racionalización con una adecuada accesibilidad.

Accesibilidad.- Para el control de la carga debe buscarse un lugar de fácil acceso, procurando colocarlos en forma tal, que impida sean operados involuntaria-

mente por personas no idóneas.

### TIPOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS.

Dependen primordialmente del tipo de construcción a realizar, del trabajo que se va a desarrollar en el local y el acabado de las mismas, estas son:

Visibles.- Por lo regular son las líneas de alimentación, las cuales se encuentran a la vista y sin protección contra del medio ambiente, ni de los esfuerzos mecánicos, más que los soportes.

Visibles Entubadas.- Estas instalaciones eléctricas se realizan así, por una ampliación de la carga instalada, ya que por la construcción y el material de los muros es imposible colocarlas interiormente como debería ser, pero están protegidas contra esfuerzos mecánicos y contra del medio ambiente, con tuberías y accesorios.

Su conducción debe ser independiente de los demás servicios.

Ocultas.- Son las que se hacen en la obra nueva, las cuales son las de mejor acabado y de mayor protección, en la que se debe visualizar ampliaciones futuras, para que no se presente el caso de las visibles entubadas.

### REGLAMENTO DE OBRAS E INSTALACIONES ELECTRICAS.

Los métodos normalizados que los experimentos y la experiencia han demostrado que son correctos, están descritos en un formato que se conoce con el nombre de R.O.I.E., los fines del reglamento son:

a.- El objetivo de este reglamento es la salvaguarda práctica de las personas y de los edificios y sus contenidos, de los peligros que pueden resultar del empleo de la electricidad para el alumbrado, fuerza, ra-

dio, señalización y otros fines.

b.- Este reglamento contiene los preceptos mínimos básicos considerados necesarios para la seguridad. La sumisión al mismo y el mantenimiento apropiado, harán que una instalación esté esencialmente libre de peligros, pero no necesariamente sea eficaz, conveniente o adecuada para un buen servicio o futura ampliación del uso eléctrico.

c.- Este reglamento no pretende ser una guía -- de diseños o un manual de enseñanza para personas inexpertas.

Con lo anterior se comprende que el objetivo -- principal del reglamento es procurar la seguridad.

La estructura de la Instalación Eléctrica es:

DIAGRAMA DE FUERZA, DIAGRAMA UNIFILAR, CUADRO DE CARGAS.

Antes de iniciar la construcción de la Instalación Eléctrica, debemos tener una secuencia de planos, -- los cuales van a sujetarse por el reglamento y son:

DIAGRAMA UNIFILAR	(D.U.)
DIAGRAMA DE FUERZA	(D.F.)
CUADRO DE CARGAS	(C.C.)

## 1-2 CUADRO DE CARGAS Y DIAGRAMA DE FUERZA.

### CUADRO DE CARGAS

En este se anota todos los datos del motor, -- arrancador, interruptor y conductor, con las observaciones que se amerite.

Esto a su vez, nos sirve como balance de las -- cargas, por alimentador, con el fin de seleccionar protecciones y calibres de conductores alimentadores y circuitos derivados.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ver plano No. CX-IC al final de la tesis.

## DIAGRAMA DE FUERZA

Nos sirve para representar la localización de las máquinas que componen nuestro sistema.

Indica las trayectorias de los cables alimentadores a los centros de carga, también las trayectorias de los circuitos derivados, con el fin de determinar las caídas de tensión, el factor de agrupamiento y otros.<sup>2</sup>

### 1-3 DIAGRAMA UNIFILAR

#### DIAGRAMA UNIFILAR

Un diagrama unifilar se representa, por medio de líneas y símbolos simplificando las interconexiones o las partes componentes de un circuito eléctrico o sistema de circuitos. Este utiliza un solo hilo para representar todos los conductores y los elementos del sistema. El D.U. es la base para el desarrollo total del diseño.<sup>3</sup>

Para poder crear, los planos anteriores elaboraremos una secuencia a seguir, dependiendo si es + Obra Nueva ó Ampliación y son:

- 1 + Consequir planos y datos proporcionados por Ingeniería o Sección correspondiente, así como un reconocimiento general de la Planta Industrial.
- 2 + Promover en los medios de información de la empresa la obtención de los datos más expeditos.
- 3 + Verificar toda la información en el terreno.
- 4 + Verificar la construcción civil:
  - a. Distancias para comprobar escala del plano.
  - b. Muros, Columnas y cancelas.
  - c. Nombres de Areas.
  - d. Orientación correspondiente al Norte.

2 Ver Plano No. CX-IF, CX-2F al final de la tesis.

3 Ver Plano No. CX-3U al final de la tesis.

## DIAGRAMA DE FUERZA

Nos sirve para representar la localización de las máquinas que componen nuestro sistema.

Indica las trayectorias de los cables alimentadores a los centros de carga, también las trayectorias de los circuitos derivados, con el fin de determinar las caídas de tensión, el factor de agrupamiento y otros.<sup>2</sup>

### 1-3 DIAGRAMA UNIFILAR

#### DIAGRAMA UNIFILAR

Un diagrama unifilar se representa, por medio de líneas y símbolos simplificando las interconexiones o las partes componentes de un circuito eléctrico o sistema de circuitos. Este utiliza un solo hilo para representar todos los conductores y los elementos del sistema. El D.U. es la base para el desarrollo total del diseño.<sup>3</sup>

Para poder crear, los planos anteriores elaboraremos una secuencia a seguir, dependiendo si es + Obra Nueva ó + Ampliación y son:

- 1 + Consequir planos y datos proporcionados por Ingeniería o Sección correspondiente, así como un reconocimiento general de la Planta Industrial.
- 2 + Promover en los medios de información de la empresa la obtención de los datos más expeditos.
- 3 + Verificar toda la información en el terreno.
- 4 + Verificar la construcción civil:
  - a. Distancias para comprobar escala del plano.
  - b. Muros, Columnas y cancelas.
  - c. Nombres de Areas.
  - d. Orientación correspondiente al Norte.

2 Ver Plano No. CX-IF, CX-2F al final de la tesis.

3 Ver Plano No. CX-3U al final de la tesis.

**APARTIR DE  
ESTA PAG.**

**FACIA DE  
ORIGEN.**

## DIAGRAMA DE FUERZA

Nos sirve para representar la localización de las máquinas que componen nuestro sistema.

Indica las trayectorias de los cables alimentadores a los centros de carga, también las trayectorias de los circuitos derivados, con el fin de determinar las caídas de tensión, el factor de agrupamiento y otros.<sup>2</sup>

### 1-3 DIAGRAMA UNIFILAR

#### DIAGRAMA UNIFILAR

Un diagrama unifilar se representa, por medio de líneas y símbolos simplificando las interconexiones o las partes componentes de un circuito eléctrico o sistema de circuitos. Este utiliza un solo hilo para representar todos los conductores y los elementos del sistema. El D.U. es la base para el desarrollo total del diseño.<sup>3</sup>

Para poder crear, los planos anteriores elaboraremos una secuencia a seguir, dependiendo si es + Obra Nueva ó Ampliación y son:

- 1 + Consegir planos y datos proporcionados por Ingeniería o Sección correspondiente, así como un reconocimiento general de la Planta Industrial.
- 2 + Promover en los medios de información de la empresa la obtención de los datos más expeditos.
- 3 + Verificar toda la información en el terreno.
- 4 + Verificar la construcción civil:
  - a. Distancias para comprobar escala del plano.
  - b. Muros, Columnas y cancelas.
  - c. Nombres de Areas.
  - d. Orientación correspondiente al Norte.

- 2 Ver Plano No. CX-1F, CX-2F al final de la tesis.
- 3 Ver Plano No. CX-3U al final de la tesis.

- 5 + ' Reconocimiento de la Subestación y verificar su D.U.
- 6' Verificar D.U. Principal con relación de alimentadores y de la carga. (Anotando datos de las protecciones, conductores alimentadores y circuitos derivados obteniendo lecturas de voltaje y amperaje de todo lo anterior).
- 7 + ' En el plano de fuerza, se indicará (Los motores, interruptores, arrancadores, conductores alimentadores y derivados), la posición de la maquinaria con sus respectivos nombres, así como la localización de los motores, resistencias y otros.  
Los tableros de fuerza y control con su respectivo conductor alimentador.
- 8 + ' Por medio del C.C. se procederá a numerar los motores con sus respectivos interruptores, arrancadores y conductores alimentadores, por alimentadores sacando los datos más importantes. Se tomará lectura de amperaje y voltaje de cada uno y se revisará la temperatura al tacto.
- 9' Se anotarán todas las fallas que se vayan encontrando, así como las observaciones que se consideren pertinentes.
- 10 + 'Se señalarán trayectorias de los ductos, charolas, o tuberías que llevan los cables alimentadores, así como sus calibres.
- 11 + 'Se verificará con información del fabricante datos del motor, interruptor, arrancador o calibres de cables que no sean visibles o legibles.

#### 1-4 MEDICION DE CARGAS POR FASE EN CONDUCTORES ALIMENTADORES.

Existen dos formas mediante las cuales podemos conocer la carga por fase que están alimentando los conductores alimentadores.

- 1.- Graficado de líneas
- 2.- Cálculo en base a las corrientes nominales.

1.- Con un aparato graficador podemos conocer la corriente por fase que está circulando por los conductores alimentadores y el desbalanceo de los mismos de una manera práctica y rápida.

2.- Las corrientes que tenemos anotadas en el cuadro de --cargas, obtenidas del diagrama unifilar son sumadas por fase en cada alimentador y así obtenemos las corrientes por fase de todos los alimentadores, estas corrientes son las nominales por fase de los aparatos eléctricos conectados a dichos alimentadores y pueden ser mayores que las obtenidas según el inciso 1, debido a que se supone trabajando los aparatos eléctricos a plena carga.<sup>4</sup>

#### COMO EJERCER UN CONTROL SOBRE EL SISTEMA ELECTRICO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL.

Se debe tener un control sobre la expansión de la maquinaria eléctrica para que los conductores de alimentación de nuestro sistema y los transformadores no corran el riesgo de que se vuelvan insuficientes para alimentar las cargas.

Para ello se deben graficar periódicamente las líneas principales de alimentación, con el fin de conocer la capacidad permisible de conducción de corriente y variación de voltaje de c/u de ellas y nunca llegar a sobrecargarlas, evitando el deterioro de las mismas.

Con el graficado de las líneas podemos conocer la capacidad que estamos utilizando, su capacidad total y la carga que podamos agregar a dichas líneas. Con esto lograremos un control del sistema eléctrico en lo que respecta a nuevas instalaciones y cambios de maquinaria, verificando que se efectuen en aquellas líneas cuya capacidad lo permita. Conoceremos además el porcentaje de desbalanceo de la línea.

4 Ver Plano No. CX-3U, CX-1C al final de la tesis.

En el sistema estudiado, indicado en los planos-D.U, D.F, C.C. al final de la tesis y compuesto por los alimentadores enlistados abajo, obtuvimos los siguientes datos:

### 1.5 CAPACIDAD PERMISIBLE DE CONDUCCION EN CONDUCTORES ALIMENTADORES.

ALIMENT. CAL.	In	Ic	In-Im	Im
1 - 750 MCM	AMP 785	AMP 221.52	AMP 607.8	AMP 177.2
2 - 500 MCM	620	513	209.6	410.4
3 - 750 MCM	785	109.5	697.4	87.6
4 - 400 MCM	545	285.4	316.7	228.3
5 - 750 MCM	785	379.02	481.8	303.2
6 - 750 MCM	785	608.74	298.1	486.9
7 - 750 MCM	785	819.30	129.6	655.4

NOTA: In Corriente nominal del cable.  
 Ic Corriente del sistema o corriente real de carga.  
 In-Im Es la corriente que puede permitir el conductor, además de la que está conduciendo.  
 Factor de Diversidad = Factor de Carga.  
 F.D. Es la relación entre la carga promedio y la carga solicitada a la Cía. de Luz.  
 C.P. Es la carga consumida en un período de tiempo determinado.  
 $Im = Ic \times F.D.$

Nuestro sistema eléctrico funciona con un factor de Diversidad del 80%.

En el caso de que las líneas estén sobrecargadas se deberá aumentar conductores por fase, hasta que se - -

pueda conducir esta corriente, se tendrá que verificar -- que los transformadores tengan la capacidad suficiente para alimentar dichas cargas.

## 1.6 COMO DEBE SER UNA INSTALACION ELECTRICA.

Una instalación eléctrica correcta depende de la selección precisa de los elementos de que esta consta, tales como:

1.- Fusible.- Un fusible es una válvula eléctrica de seguridad, de funcionamiento térmico que se diseña para interrumpir un circuito eléctrico cuando por él circula una sobrecorriente que pueda dañar a los conductores equipos y/o aparatos conectados a él.

2.- Interruptor.- Un interruptor es un aparato eléctrico que sirve para retirar o suspender la corriente que fluya a través del mismo. Por lo que desconecta todos los circuitos activos, es decir, todos los conductores de corriente que no estén a tierra.

3.- Interruptor Termomagnético.- Su función es la misma que el anterior pero consta de una banda bimetálica perfectamente calibrada. Al pasar la corriente por ella, se calienta y se curva, si la corriente aumenta se deflexiona hasta abrir los contactos.

4.- Relevadores de Sobrecarga.- Para prevenir el calentamiento excesivo de los devanados del motor y evitar la inutilización del aislamiento, se deben utilizar relevadores de sobrecarga, los cuales son dispositivos de protección que permiten al motor llevar sobrecargas que no lo dañen, pero que lo desconectan si la sobrecarga persiste o es de mayor magnitud.

5.- Conductores Alimentadores.- Se entiende por conductores alimentadores, la parte de los conductores de la canalización comprendida entre los medios principales de desconexión y protección contra sobrecorriente y los medios de protección contra sobrecorriente de los circuitos derivados.

6.- Circuitos Derivados. - Se entiende por circuito derivado la parte de la canalización que se extiende después del último dispositivo de protección contra sobrecorriente (del lado de la carga) que proteja a esa parte.

Justificación de la Racionalización de la Energía Eléctrica con la Instalación adecuada.

Primero estudiaremos los efectos de una instalación inadecuada, ésta consistiría básicamente de tres puntos:

1.- Mala selección de los fusibles.

2.- Mala selección de los relevadores de sobrecarga. (Elemento térmico).

3.- Calibres inadecuados.

1.- Fusibles. - Si el fusible se selecciona mal para corto circuito, ocasionará una pérdida muy grande de energía pero lo peor es que causará la destrucción de conductores y equipo eléctrico.

2.- Elemento Térmico. - Sirve para interrumpir las sobrecargas.

Las pérdidas debidas a sobrecargas las podemos valuar de la siguiente manera:

Ejemplo:

Tenemos un motor con los siguientes datos:

10 H.P., 17 Amp., Conductor Alimentador 12 AWG THW.

Este motor se somete a una sobrecarga de 35Amp. durante 30 Seg., los resultados de la sobrecarga son:

La resistencia del conductor 12 AWG es de 0.11-ohms.

$$P_{Cn} = I_c^2 R = (17)^2 (0.11) = 31.79 \text{ watts.}$$

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R = (35)^2 (0.11) = 134.75 \text{ watts.}$$

$$P_{sc}/P_{cn} = I_{sc}^2 / I_c^2 ; P_{sc}/P_{cn} = I_{sc}^2 / I_c^2 = (35)^2 / (17)^2 = 1225/289 = 4.23$$

$P_{sc}/P_{cn} = 134.75/31.79=4.23$ . El porcentaje de aumento del costo de potencia consumida es también  $4.23 \times 100 = 423\%$ .

Lo más importante de todo esto no es la pérdida de energía sino, el daño que ocasiona la sobrecarga al devanado de los motores que consiste en deteriorarlos poco a poco hasta que ocurre una falla de corto circuito entre los conductores y queda inutilizado el motor.

Sabemos también que al sobrecargarse un motor de inducción su F.P. decrece con lo que estaremos consumiendo poca potencia real en comparación con la gran potencia aparente absorbida de la red.

(Esto se trata con mayor explicación en los capítulos II y IV).

3.- Calibres Inadecuados.- Los conductores deben ser adecuados para la carga que lleven y para el lugar, uso y voltaje en que se empleen.

Si el conductor es de menor calibre que el necesario, se sobrecalentará y ocasionará pérdidas por efecto-Joule. Si es excesivo el calentamiento produce daños en el aislamiento, lo cual puede originar invariablemente cortocircuitos.

A continuación se explica con más detalle como se evitan los puntos antes mencionados.

### SELECCION CORRECTA DE FUSIBLES

Y

RELEVADORES DE SOBRECARGA ( ELEMENTO TERMICO ).

### SELECCION, INSTALACION Y MANTENIMIENTO.

Debido a que los fusibles son calibrados al - -

descubierto, cuando se instalan en un interruptor de seguridad, su resistencia efectiva varía, por lo que se debe considerar como capacidad continua de conducción al 80% de la corriente nominal del fusible.

Para la protección de conductores, la corriente nominal de los fusibles se debe seleccionar de acuerdo con la corriente máxima permisible que toleran aquellos. Si la corriente nominal del fusible no corresponde a la de los conductores, se deben usar los fusibles de la capacidad inmediata superior, siempre y cuando las condiciones de uso garanticen seguridad en la instalación.

Al proteger conductores, los fusibles deben ser instalados en el lugar del cual se deriven conductores de menor capacidad de conducción siendo la excepción los taps alimentadores.

Los fusibles no deben instalarse en conductores conectados permanentemente a tierra; pero cuando se utilizan fusibles para la protección contra sobrecargas de motores, en cada conductor no aterrizado se debe intercalar un fusible, y si se trata de un sistema trifásico de 3 hilos, se deberá intercalar un fusible en el conductor aterrizado, cuando los motores trifásicos estén instalados en lugares remotos.

La instalación de los fusibles deber ser hecha en forma tal que sean fácilmente accesibles para renovación e inspección. Se hace excepción cuando se instalan en unidades cerradas o selladas.

Los fusibles se instalan en interruptores de seguridad o bases portafusibles, los cuales deben estar libres de polvo y de humedad. En los lugares húmedos, los interruptores se deben fijar con una separación de 1cm. del muro o pared y su localización no debe presentar peligro a las personas ajenas al servicio de mantenimiento.

En los fusibles renovables de 70 amperes o mayo-

res, no deben usarse 2 eslabones en un cartucho, a no ser que así se indique. Por ejemplo un eslabón de 300 amperes no debe ser substituído por 2 de 150 amperes cada uno.

Para evitar falsos contactos, los casquillos y las navajas de los fusibles, deben quedar firmemente sujetos por los portafusibles, además de estar limpios y pulidos. Los fusibles de casquillos no deben girar cuando ya están instalados. En los portanavajas, debe haber una presión tal, que las navajas de los fusibles no entren con facilidad en ellos. Cualquier portafusible que haya perdido su presión de sujeción, debe ser substituído.

Se debe verificar periódicamente que los conductores que se conectan a las terminales del interruptor de seguridad o de la base portafusibles, estén firmemente sujetos.

Si un interruptor de seguridad es usado para conectar y desconectar una carga con demasiada frecuencia, periódicamente se debe revisar el desgaste de sus navajas, para evitar falsos contactos que puedan inutilizar a los fusibles y no proporcionar la tensión correcta a la carga conectada.

## PROTECCION DE MOTORES

Los fusibles se utilizan frecuentemente para proteger a los circuitos derivados para motores, contra sobrecorrientes de corto circuito y fallas a tierra, siendo por tanto necesario saber seleccionar correctamente su capacidad nominal cuando se utilicen con ese propósito.

Motores de inducción de jaula de ardilla.

El motor más ampliamente utilizado en las instalaciones eléctricas industriales y comerciales es el motor de jaula de ardilla. Desde el punto de vista de la protección contra sobrecorrientes sus características más importantes son:

- a).- El período de arranque o aceleración.
- b).- La corriente de rotor bloqueado.
- c).- La capacidad para tolerar sobrecargas.

a).- Período de arranque o aceleración

Una vez que se ha aplicado tensión a un motor, se necesita que transcurra cierto tiempo para que alcance su velocidad normal. La magnitud y duración de la corriente durante ese período, dependen de la inercia y las características de la carga que se le acopla, de su diseño y del método de arranque.

b).- Corriente de rotor bloqueado.

Es aquella que demanda el motor cuando su rotor queda frenado por tener acoplada una carga excesiva, por estar trabados sus baleros o por haber baja tensión en sus terminales. Su magnitud es aproximadamente igual a 6 veces la corriente de plena carga del motor.

c).- Capacidad para soportar sobrecargas.

Las sobrecorrientes cuya magnitud sea de 6 veces el valor de la corriente nominal del motor, se consideran debidas a sobrecargas, y las mayores se consideran de corto circuito.

Para prevenir el calentamiento excesivo de los devanados del motor y evitar la inutilización del aislamiento, se deben utilizar relevadores de sobrecarga, los cuales son dispositivos de protección que permiten al motor llevar sobrecargas que no lo dañan, pero que lo desconectan si la sobrecarga persiste o es de mayor magnitud.

Protección del circuito derivado para un solo motor.

Se considera que se obtiene la protección adecuada cuando los fusibles seleccionados tienen una capacidad nominal no mayor de la que se indica en la tabla No. 7.

1.1. Si de acuerdo con los datos de esa tabla, los fusibles seleccionados no pueden conducir la corriente de arranque se pueden emplear los de la capacidad inmediata superior, siempre y cuando no se rebase el 400% de la corriente nominal del motor cuando se utilicen fusibles renovables clase H, o bien el 225% cuando se trate de fusibles de doble elemento con retraso de tiempo, clase K o R.

Para un motor de varias velocidades, pueden usarse fusibles para la protección contra corto circuito y fallas a tierra de dos o más devanados del motor, siempre que la capacidad nominal de los fusibles no sea mayor del % citado en la tabla No. 1.1, con respecto a la corriente nominal de menor valor.

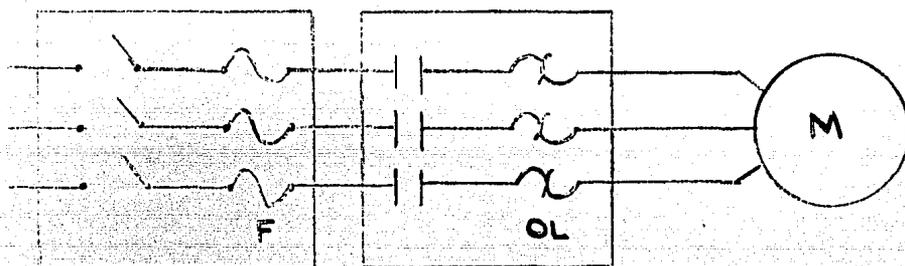


Figura No. 1.1 .- Protección recomendada para motores arrancados automáticamente, que empleen relevadores térmicos y fusibles de doble elemento, dentro del mismo arrancador.

F= Fusibles de doble elemento seleccionados con una capacidad nominal igual al 125% de la corriente nominal del motor.

OL= Relevadores térmicos para protección contra sobrecargas, seleccionados con una capacidad nominal entre el 100 y el 115% de la corriente nominal del motor.

Tabla No. 1.1 .- Capacidad máxima en amperes, de los fusibles empleados para la protección de los circuitos derivados de motores, contra sobrecorrientes.

TIPO DE MOTOR	% de la corriente a plena carga	
	Fusibles renovables, clase H	Fusibles de doble elemento, clase K
<b>MOTORES NO MARCADOS CON LETRA DE CODIGO</b>		
Monofásicos de todos los tipos	300	175
Todos los motores de C.A. monofásicos y polifásicos tipo jaula de ardilla y síncronos, arranque a tensión plena, con resistor o reactor.	300	175
Todos los motores de C.A. de jaula de ardilla y síncronos con arranque por autotransformador:		
De no más de 30 amperes	250	175
De más de 30 amperes	200	175
De rotor devanado	150	150
De corriente directa	150	150

TIPO DE MOTOR	% de la corriente a plena carga	
	Fusibles renova bles, clase H	Fusibles de do ble elemento, clase K
<b>MOTORES MARCADOS CON LETRA DE CODIGO</b>		
Todos los motores de C.A. monofásicos y polifásicos tipo jaula de ardilla y - síncronos con arranque a tensión plena, con resis- tor o reactor.		
Letra de código F a V	300	175
Letra de código B a E	250	175
Letra de código A	150	150
Todos los motores de C.A. tipo jaula de ardilla y - síncronos, con arranque - por autotransformador, de más de 30 amperes:		
Letra de código F a V	250	175
Letra de código B a E	200	175
Letra de código A	150	150

Protección del circuito derivado para dos o --  
más motores o para un motor y otras cargas.

Dos o más motores, o un motor y otras cargas -  
pueden conectarse al mismo circuito derivado bajo cual---  
quiera de las siguientes condiciones:

a).- Pueden conectarse varios motores sin - --  
exceder ninguno de 1 HP, en un circuito derivado protegido a no más de 20 amperes a 125 volts o menos, o de 15 --  
amperes a 600 volts o menos, siempre que satisfagan las 3  
condiciones siguientes:.....

1.- La corriente a plena carga de cada motor -  
no sea mayor de 6 amperes.

2.- Ningún controlador de motor debe tener una  
capacidad de corriente mayor que la del dispositivo pro--  
tector del circuito derivado.

3.- La protección individual contra sobrecorri--  
errientes, de cada motor, debe estar de acuerdo con lo si-  
guiente:

Motores para servicio continuo.

Motores de más de 1 HP.

Cada motor de más de 1 HP, para servicio con--  
tinuo debe protegerse contra sobrecorrientes seleccionan-  
do un dispositivo de protección por separado de manera --  
que opere a no más del siguiente % de la corriente a ple-  
na carga del motor:

Motores con factor de servicio no menor de - -	
1.15 .....	125%
Motores con elevación de temperatura no ----- mayor de 40°C .....	125%
Todos los demás motores.....	115%

Para motores de varias velocidades, debe considerarse por separado cada conexión del devanado.

Cuando los valores calculados no corresponden a los tamaños nominales de los fusibles, puede usarse el tamaño inmediato superior, siempre y cuando no se rebase el siguiente porcentaje de la corriente nominal a plena carga del motor:

Motores con factor de servicio no menor de 1.15 .....	140%
Motores con elevación de temperatura no mayor de 40°C.....	140%
Todos los demás motores.....	130%

El fusible seleccionado debe tener el suficiente retraso de tiempo para permitir circular la corriente de arranque, sin que opere.

Motores de 1 HP o menos arrancados manualmente.

Cada motor para servicio continuo de 1 HP o menos, que no esté permanentemente instalado, que se arranque manualmente y sea visible desde la localización del controlador, puede considerarse protegido contra sobrecorriente por el dispositivo de sobrecorriente que proteja a los conductores del circuito derivado.

Los motores de 1 HP o menos que no sean visibles desde el controlador o que estén permanentemente instalados deben protegerse de acuerdo con lo que indica el párrafo siguiente.

Motores de 1 HP o menos arrancados automáticamente.

De igual manera que para motores de más de 1 HP, cualquier motor de 1 HP o menos que sea arrancado automáticamente, debe protegerse contra sobrecorrientes seleccionando un dispositivo de protección por separado

de manera que opere a no más del siguiente % de la corriente a plena carga del motor.

Motores con factor de servicio no menor de 1.15.....	125%
Motores con elevación de temperatura no mayor de 40°C.....	125%
Todos los demás motores.....	115%

Si los valores calculados no corresponden a los tamaños nominales de fusibles, puede usarse el tamaño inmediato superior, siempre y cuando no sea mayor del siguiente % de la corriente a plena carga del motor.

Motores con factor de servicio no menor de 1.15.....	140%
Motores con elevación de temperatura no mayor de 40°C.....	140%
Todos los demás motores.....	130%

Si el arrancador del motor emplea simultáneamente elementos térmicos y fusibles, estos pueden ser de doble elemento con retraso de tiempo, seleccionando ambas protecciones como se recomienda en la Figura No. 1.1.

#### Motores para servicio intermitente o similar

Los motores utilizados en estas condiciones de servicio, se consideran protegidos contra sobrecorrientes por el fusible de protección del circuito derivado, siempre que su capacidad no exceda los valores especificados en la Tabla No. 1.1.

b).- Si se selecciona la capacidad de los fusibles protectores aplicando el criterio establecido en la Tabla No. 1.1, pueden conectarse al circuito derivado 2 o más motores o un motor y una carga o más, teniendo cada uno protección individual contra sobrecorriente, si puede

determinarse que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito derivado no opera bajo la condición de servicio más severa que pueda presentarse.

c).- Dos o más motores de cualquier capacidad o uno o más motores y otra u otras cargas, teniendo cada uno protección individual contra sobrecorriente, pueden ser conectados a un circuito derivado, siempre que se satisfagan las 5 condiciones siguientes:

1.- El dispositivo de protección contra sobrecorrientes de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo, con la máxima capacidad nominal especificada.

2.- El controlador de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con la máxima capacidad nominal del dispositivo contra sobrecorriente.

3.- Los fusibles que se usen para proteger el circuito derivado deben tener una capacidad nominal no mayor de la especificada en la Tabla No. 1.1 para el motor, de más potencia conectado a este circuito derivado, más la suma de las nominales de los demás motores y de las otras cargas conectadas al mismo circuito. Cuando el resultado de este cálculo sea una capacidad menor que la de los conductores del circuito derivado, la capacidad nominal de los fusibles puede seleccionarse hasta de un valor que no exceda la capacidad de dichos conductores.

4.- Los fusibles del circuito derivado, deben ser de mayor capacidad nominal que los fusibles que protegen los cortacircuitos térmicos o relevadores de sobrecarga que protegen a su vez al motor más pequeño del grupo.

5.- Los conductores de cualquier derivación que alimenten a un solo motor, no necesitan protección individual, siempre que ninguno de ellos tenga una capacidad menor que la de los conductores del circuito derivado, o que su capacidad no sea menor de 1/3 de la de los conductores del circuito derivado, su longitud no sea mayor de 7.6 metros y estén protegidos contra daño físico.

## Protección contra corto circuito y fallas a tierra de conductores alimentadores de motores.

Lo que en esta parte se indica, se refiere a -- los dispositivos de protección contra sobrecorriente destinados a proteger los conductores de alimentadores de -- circuitos derivados de motores, contra cortocircuitos y -- fallas a tierra.

Conductores alimentadores con carga de motores -- únicamente.

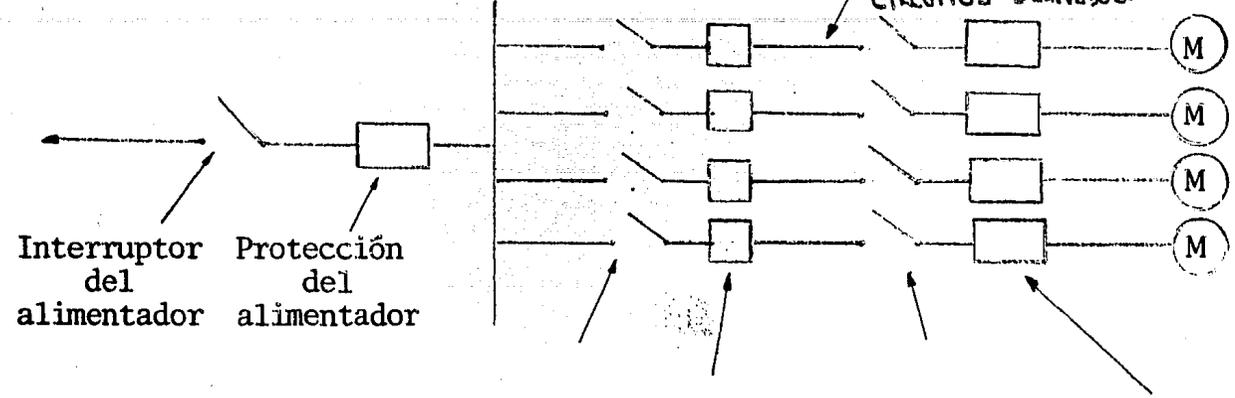
a).- Los conductores del alimentador que abastece una carga específica de motores deben estar provistos de protección contra sobrecorriente la cual no debe ser -- mayor de la máxima capacidad del dispositivo protector -- del circuito derivado para cualquier motor del grupo (basado en la Tabla No. 1.1) más la suma de las corrientes -- a plena carga de los demás motores del grupo. Si se presenta el caso de 2 o más motores de igual capacidad y que sean los más grandes del grupo, se considera solo uno de ellos para efectuar los cálculos anteriores.

Cuando dos o más motores de un grupo de ellos -- deben arrancarse simultáneamente, puede ser necesario -- instalar conductores alimentadores de mayor calibre y con secuentemente dispositivos de protección contra sobrecorrientes, de mayor capacidad.

b).- Para instalaciones de gran capacidad donde los alimentadores se escogen de un calibre muy sobrado para futuras ampliaciones o cambios, la selección de la protección contra sobrecorriente del alimentador puede basarse en la capacidad de conducción nominal de los conductores del mismo.

Si la capacidad obtenida de acuerdo con los incisos a) y b) no corresponde a un fusible de tamaño nominal, puede utilizarse el tamaño inmediato inferior.

Tablero de distribución Alimentador



Interruptor del alimentador

Protección del alimentador

Interruptores de los circuitos derivados

Protección contra sobrecorrientes de corto circuito y fallas a tierra de los circuitos derivados.

Controladores de los motores.

Protección individual contra sobrecarga de los motores.

Protección de conductores alimentadores de motores y otras cargas.

Figura No. 1.2 .- Diagrama unifilar de una instalación típica de motores mostrando sus distintos componentes.

Cuando un alimentador abastece simultáneamente - circuitos derivados de motores y otras cargas, la capacidad del dispositivo de protección contra sobrecorrientes, se debe seleccionar como se indica en el párrafo anterior más la corriente nominal de las demás cargas, aplicando - los factores de demanda adecuados.

Ejemplo.- Se requiere seleccionar la capacidad nominal de los fusibles a usar para la protección individual contra sobrecargas (en ausencia de elementos térmicos) y del circuito derivado, contra fallas de corto circuito, de un motor trifásico de inducción, tipo jaula de ardilla de 20 HP, 440 V, 26 amperes nominales, factor de servicio 1.15 letra de código F, servicio continuo con arranque a tensión plena.

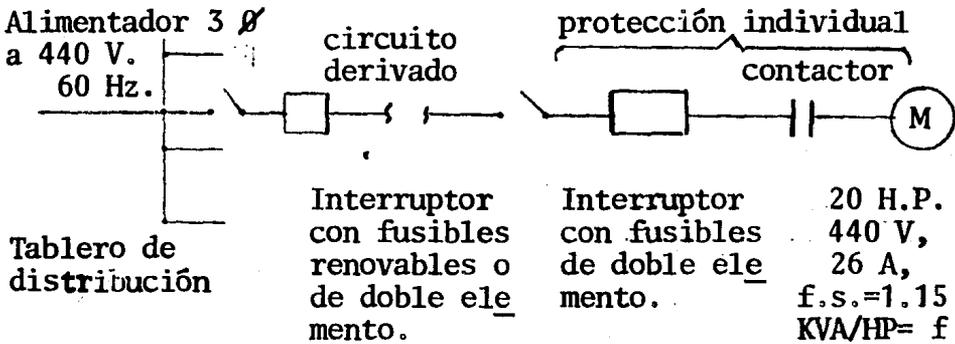


Figura No. 1.3 .- Diagrama unifilar utilizado para representar la protección contra sobrecorrientes del circuito derivado e individual del motor del ejemplo.

a).- Protección individual del motor con fusibles de doble elemento, clases K o R.

Capacidad recomendada:  $1.25 \times 26 = 32.5$  amperes.

Capacidad máxima :  $1.40 \times 26 = 36.4$  amperes.

Se escogen fusibles de 35 amperes nominales, ya que el factor de servicio es de 1.15.

Quedan entonces fusibles de doble elemento clases K o R de 35/A 600 V.

b).- Protección del circuito derivado.

De acuerdo con lo especificado en la tabla No. - 1.1, se presenta la siguiente alternativa:

1.- Con fusibles de doble elemento clases K o R.

Capacidad recomendada:  $1.75 \times 26 = 45.5$  amperes.

Capacidad máxima :  $2.25 \times 26 = 58.5$  amperes.

Se escogen fusibles de 50 amperes/600 volts.

2.- Con fusibles renovables clase H.

Capacidad recomendada:  $3.00 \times 26 = 78$  amperes

Capacidad máxima :  $4.00 \times 26 = 104$  amperes.

Se escogen fusibles renovables de 80 amperes/ -- 600 volts.

Ejemplo de aplicación de relevadores térmicos y fusibles.

Aplicación de 3 relevadores térmicos para la - - protección contra sobrecargas de motores, cuando están ali-  
mentadas por transformadores de distribución con conexión-  
estrella-delta, con el neutro de la estrella no conectado-  
a tierra.



En el secundario:  $E_{AC} = E_{CB} = E_{BA} = 230$  volts

Corriente en el secundario:  $I_A = I_B = I_C = 100\% I_n$

$I_n =$  corriente nominal del motor.

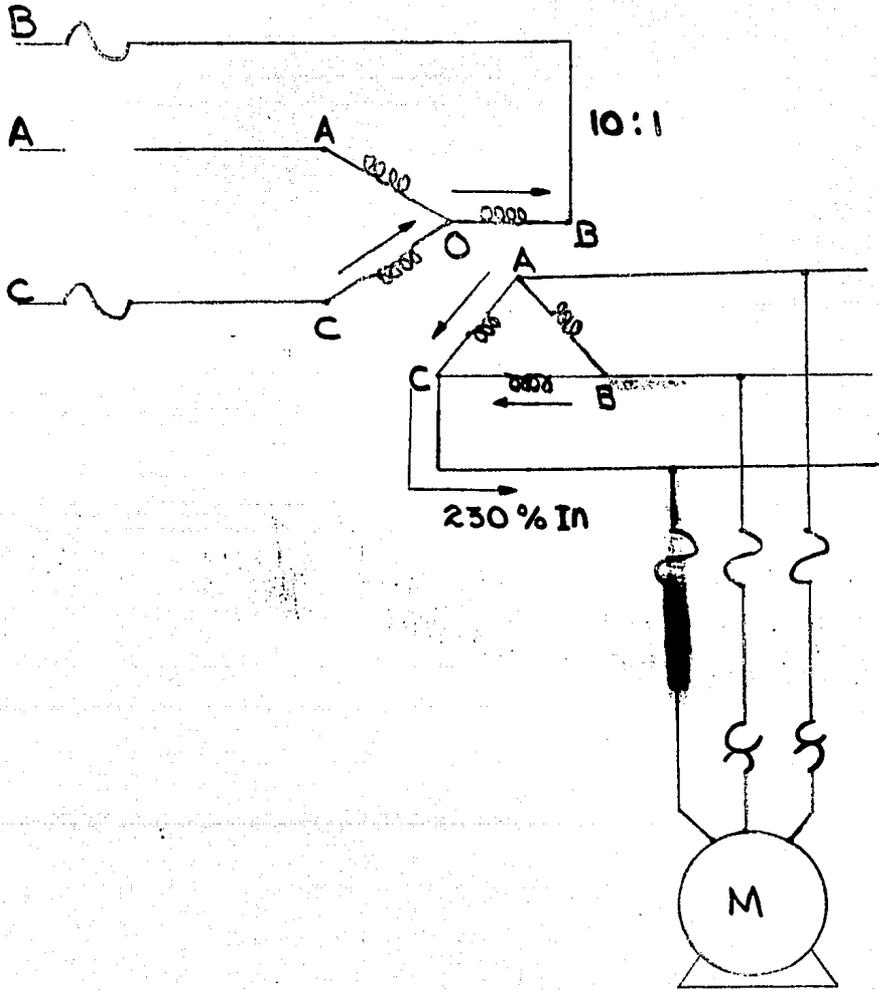


Figura No. 1.5 .- Con la fase A eliminada.

En el lado primario:  $E_{CB} = 4000$  volts

$$E_{CO} = E_{OB} = 2000 \text{ volts}$$

En el secundario:  $E_{AC} = E_{BC} = 200$  volts

Por tanto:  $I_A = I_B = \frac{2 \cdot 3}{2} \times 100 = 115\% I_n$  motor

Lo anterior implica:  $I_C = I_A + I_B = 230 I_n$  motor

La capacidad de los dos elementos térmicos para la protección contra sobrecargas, se escogió igual a:

$$125\% I_n \text{ motor}$$

La capacidad de los fusibles para la protección del circuito derivado, se escogió así:

a).- Clase H:  $300\% I_n$  motor

b).- Clase K de doble elemento:

$$175\% I_n \text{ Motor}$$

Por tanto se tiene que:

1.- Los fusibles clase H, "no verán" la sobrecorriente de  $230\% I_n$  motor.

2.- Los fusibles clase K, tardarán en fundir un tiempo de aprox. 1 hora, ya que con respecto a la corriente nominal del motor:

$$\frac{230}{175} \times 100 = 131.5\% I_n \text{ del fusible.}$$

En consecuencia, sin la inclusión del releva--

dor térmico en la fase C, el motor corre el peligro de quemarse.

### Selección del Conductor Adecuado.

En una instalación eléctrica se deben elegir los calibres de las diferentes líneas de acuerdo con la siguiente secuencia de operación:

1.- Calcule la corriente de la línea utilizando cualquiera de las fórmulas que aparecen en los tres primeros renglones de la tabla 1.2 y afecte a esta por los factores de corrección siguientes:

Factor de Corrección por Agrupamiento.

Es aplicable cuando se tienen más de tres conductores activos dentro de tubo conduit, ductos, charolas y otro tipo de canalizaciones abiertas o cerradas, e indica el tanto por ciento a que disminuye su ampacidad.

Factor de Corrección de Temperatura.

Indica en que porcentaje disminuye la ampacidad de los conductores eléctricos conforme aumenta la temperatura.

Estos factores de corrección los encontramos en las tablas 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6.

Si la carga es un motor de inducción multiplique la corriente por 1.25.

Si son varios, vea lo que se refiere a la alimentación de varios motores.

2.- Una vez calculada la corriente, consulte el calibre adecuado del conductor en la tabla correspondiente de acuerdo al tipo de conductor. (Tabla 1.9 -1.10).

3.- Una vez elegido el calibre por capacidad de conducción de corriente, recalcule su resultado por caída de tensión de las siguientes formas:

a.-  $AV=IZ$  donde  $I$  = Corriente de la línea (Amp.)

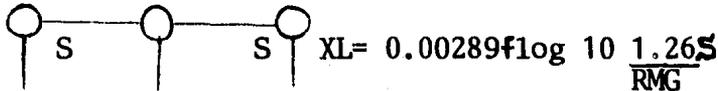
$$Z = \sqrt{R^2 + X1^2} \quad \text{Impedancia del Conductor.}$$

$R$  = Resistencia del Conductor (ohms)

$X1$  = Reactancia del Conductor (ohms)

La Reactancia inductiva  $X1$  depende de la configuración de la instalación.

Ejemplo.- De la configuración plana paralela para conductores en canalización.



$RMG$  = Radio Medio Geométrico (Ver tabla 1.11).

$S$  = Distancia entre conductores.

$AV$  = Caída de tensión

b.- Una manera práctica de determinar la caída de tensión es:

$$AV = \frac{\text{Distancia (Mts.)} \times \text{Amp.} \times 61}{\text{Milésimas Circulares}}$$

Una milésima circular es el área de un círculo que tiene como radio una milésima de pulgada.

c.- Los fabricantes de conductores eléctricos tienen tabulaciones de factores de caída de tensión unitaria como podemos ver en la Tabla 1.7, aplicable a alambres y cables Monopolares. Multiplique este factor por la corriente de línea, por la longitud de la línea (en Mts) y divida este producto entre 10 veces el voltaje entre fases. Esta operación nos dará la caída de tensión en %.

4.- La caída de tensión desde la entrada de servicio hasta el último punto de la canalización correspondiente a la carga indicada anteriormente, no deberá ser mayor de 4% para carga de aparatos y motores y de 3% para carga de alumbrado. Por lo tanto si la caída calculada en el punto 3 es más alta que estos valores, utilice las siguientes fórmulas para el cálculo del calibre por medio de la caída de tensión.

4a... Monofásico 2 hilos: 
$$A = \frac{4 \times I \times L}{V_n \times P}$$

4b... Trifásico 
$$A = \frac{2 \times I \times L}{V_n \times P}$$

donde: A = Area del conductor en mm<sup>2</sup>

I = Corriente Nominal Total

L = Longitud del circuito en Mts.

V<sub>n</sub> = Voltaje entre fase y neutro

P = % de caída permisible.

1 mm<sup>2</sup> = 2 MCM aprox.

Al tener la sección en mm<sup>2</sup>, buscamos en la tabla 1.8 el calibre equivalente a tal sección.

Alimentación a varios motores.-

Los conductores que abastezcan a dos o más motores deberán ser de calibre suficiente para una corriente no menor que el 125% de la corriente a carga plena del motor de mayor potencia en el grupo, más la suma de la corriente a carga plena de los demás motores del mismo grupo.

$$1.25 I_m + I_1 + I_2 + I_3 ; I_1 + I_2 + I_m + \dots + 0.25 I_m$$

Ejemplo del cálculo.

Consideramos el caso de un grupo de motores - -

para los cuales deseamos calcular el alimentador adecuado.

#### Datos.

- a).- Temperatura ambiente de 40°C.
- b).- Grupo integrado por 10 motores de las siguientes características:
  - b1.- 2 motores de 2 H.P., 220 V, 3 fases, eficiencia 92%, f.p. 80%.
  - b2.- 4 motores de 5 H.P., 220V, 3 fases, eficiencia 90%, f.p. 82%
  - b3.- 4 motores de 7.5H.P., 220 V, 3 fases, eficiencia 95%, f.p. 77%.
- c).- Longitud del alimentador; 92 metros
- d).- Tipo de alimentador: Usaremos 3 cables monopolares - para 90°C en charola
- e).- Trabajan en forma continua.

#### Solución.

##### 1.- Cálculo de corriente de tabla 1.2

Cada motor del punto b1. consumirá:

$$I = \frac{2 \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.92 \times 0.8} = 5.32 \text{ A.}$$

Cada motor del punto b2. consumirá:

$$I = \frac{5 \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.9 \times 0.82} = 13.26 \text{ A.}$$

Cada motor del punto b3. consumirá:

$$I = \frac{7.5 \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.95 \times 0.77} = 20.07 \text{ A.}$$

La corriente de línea (o nominal) consumida será:

$$I_n = 5.32 \times 2 + 13.26 \times 4 + 20.07 \times 4 = 143.96 \text{ amps.}$$

La corriente considerando la alimentación a varios motores será la suma de la corriente nominal de todos los motores más el 25% de la corriente nominal del motor más grande del grupo, o sea:

Corriente nominal total:  $I_n = 143.96 + 20.07 \times 0.25 = 148.97$  Amps.

Elección del calibre.

Como la temperatura ambiente es superior a  $30^\circ\text{C}$  se busca el factor de corrección por temperatura en la -- tabla 1.6, que para nuestro caso de  $40^\circ\text{C}$  en el ambiente -- y para un aislamiento de  $90^\circ\text{C}$  es de 0.90.

Como los cables están en charola y con una separación mantenida de una vez su diámetro, se busca el factor de corrección por agrupamiento en la Tabla 1.4, que -- será de 0.87 para 3 cables instalados horizontalmente y -- un cable instalado verticalmente.

Ahora el factor de corrección total será de:

$$\text{f.c.} = 0.90 \times 0.87 = 0.783$$

La corriente total en el alimentador será de:

$$I_t = \frac{I_n}{\text{f.c.}} = \frac{148.97}{0.783} = 190.25 \text{ amperes}$$

De acuerdo a la tabla 1.9 y 1.10, el calibre -- adecuado para esta corriente es 1 AWG, el cual puede conducir hasta 210 amperes.

El cálculo por caída de tensión.

Para obtener el por ciento de caída de tensión -- se toma de la Tabla 1.7, el factor de caída de tensión -- unitaria para el calibre 1 AWG que para nuestras condicio -- nes es de 0.8459. Según el punto 3c tendremos:

$$\% \text{ de caída de tensión} = \frac{0.8459 \times 92 \times 148.97}{10 \times 220} = 5.26\%$$

Como el calibre 1 AWG nos da una caída mayor del 4% permitida por el Código Eléctrico, para el cálculo del -- calibre adecuado por caída de tensión se usan las fórmulas del inciso 4, teniéndose para un circuito trifásico la for -- mula siguiente:

Siendo:

$$A = \frac{2 \times I \times L}{V_n \times p}$$

I= 148.97 Amp. L=92 metros V<sub>n</sub>= 127 Volts P=4%

$$A = \frac{2 \times 148.97 \times 92}{127 \times 4} = 53.95 \text{ mm}^2$$

En la Tabla 1.8 se puede verificar que esa - -  
sección de conductores la que a aproximadamente le corres-  
ponde a un calibre 1/0 AWG. Por lo que será el indicado -  
para nuestro caso.

Mientras más grande sea la sección transversal -  
de los calibres menor será la resistencia de los mismos. -  
Esto implica que un conductor más grueso disipa menos po-  
tencia por efecto Joule que otro más delgado.

Las trayectorias de alimentación deben diseñar -  
se adecuadamente para que las pérdidas en los conductores<sup>1</sup>  
y la caída de tensión sean menores.

TABLA 1.2  
FORMULAS ELECTRICAS USUALES

	CORRIENTE CONTINUA		CORRIENTE ALTERNA	
	UNA FASE	DOS FASES	TRES FASES	
Amperes	$\frac{H.P. \times 746}{E}$	$\frac{H.P. \times 746}{E}$	$\frac{H.P. \times 746}{E}$	$\frac{H.P. \times 746}{E}$
Conociendo H.P.	$ExN$	$ExNxFP$	$2xExNxFP$	$\sqrt{3}xExNxFP$
Amperes Conociendo K.W.	$\frac{K.W. \times 1000}{E}$	$\frac{K.W. \times 1000}{ExFP}$	$\frac{K.W. \times 1000}{2xExFP}$	$\frac{K.W. \times 1000}{\sqrt{3}xExFP}$
Amperes Conociendo K.V.A.		$\frac{KVAx1000}{E}$	$\frac{KVAx1000}{2xE}$	$\frac{KVAx1000}{\sqrt{3} xE}$
K.W.	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{IxExFP}{1000}$	$\frac{IxExFPx2}{1000}$	$\frac{IxExFPx\sqrt{3}}{1000}$
K.V.A.		$\frac{IxEx}{1000}$	$\frac{IxEx2}{1000}$	$\frac{IxEx\sqrt{3}}{1000}$
Potencia en la Flecha H.P.	$\frac{IxExN}{746}$	$\frac{IxExNxFP}{746}$	$\frac{IxEx2xNxFP}{746}$	$\frac{IxEx\sqrt{3}NxFP}{746}$
Factor de Potencia	Unitario	$\frac{W}{ExI}$	$\frac{W}{2xExI}$	$\frac{W}{\sqrt{3} xExI}$

I = Corriente en Amperes  
 E = Tensión entre fases en Volts  
 N = Eficiencia expresada en decimales por ciento  
 H.P. = Potencia en Horse Powers (Caballos de Fuerza)  
 F.P. = Factor de Potencia  
 K.W. = Potencia en Kilowatts

K.V.A. = Potencia aparente en kilo volt amperes  
 W = Potencia en watts  
 R.P.M. = Revoluciones por minuto  
 F = Frecuencia  
 P = Número de polos      F.P.M. =  $F \times 120/P$

FACTORES DECREMENTALES POR AGRUPAMIENTO DE - -  
ALAMBRES Y CABLES EN CHAROLAS.

TABLA 1.3

CABLES SIN SEPARACION

NUMERO TOTAL DE CONDUCTO- RES.		FACTOR
	3	1.00
4 -	6	0.80
7 -	9	0.70
10 -	24*	0.70
25 -	42*	0.60
Máx. de	42*	0.50

\* Se ha tomado en cuenta el factor de carga o diversidad.

**TABLA 1.4**

**CABLES CON SEPARACION MANTENIDA DE UN CUARTO A UNA VEZ EL DIAMETRO DEL CABLE.**

NUMERO DE CABLES INSTALADOS VERTICALMENTE	<u>NUMERO DE CABLES INSTALADOS HORIZONTALES</u>					
	1	2	3	4	5	6
1	1.00	0.93	0.87	0.84	0.83	0.82
2	0.89	0.83	0.79	0.76	0.75	0.74
3	0.80	0.76	0.72	0.70	0.69	0.68
4	0.77	0.72	0.68	0.67	0.66	0.65
5	0.75	0.70	0.66	0.65	0.64	0.63
6	0.74	0.69	0.64	0.63	0.62	0.61

NOTA: Los factores de las tablas 1.3 y 1.4 se aplican indistintamente a conductores monofásicos o trifásicos.

**TABLA 1.5**

**FACTORES DECREMENTALES POR AGRUPAMIENTO DE ALAMBRES Y CABLES EN TUBO CONDUIT O DUCTO CUADRADO EMBISA GRADO.**

NUMERO DE CONDUCTORES	4-6	7-24	25-42	MAS DE 42
Factor	0.80	0.70	0.60	0.50

TABLA 1.6

FACTORES DE CORRECCION A LAS TEMPERATURAS AMBIENTES SUPERIORES A 30°C (86°F).

°C	°F	60°C 140°F	75°C 167°F	85°C 185°F	90°C 194°F	110°C 230°F	125°C 257°F	200°C 392°F
40	104	0.82	0.88	0.90	0.90	0.94	0.95	-
45	113	0.71	0.82	0.85	0.85	0.90	0.92	-
50	122	0.58	0.75	0.80	0.80	0.87	0.89	-
55	131	0.41	0.67	0.74	0.74	0.83	0.86	-
60	140	-	0.58	0.67	0.67	0.79	0.83	0.91
70	158	-	0.35	0.52	0.52	0.71	0.76	0.87
75	167	-	-	0.43	0.43	0.66	0.72	0.86
80	176	-	-	0.30	0.30	0.61	0.69	0.84
90	194	-	-	-	-	0.50	0.61	0.80
100	212	-	-	-	-	-	0.51	0.77
120	240	-	-	-	-	-	-	0.60
140	284	-	-	-	-	-	-	0.59

TABLA 1.7

FACTORES DE CAIDA DE TENSION UNITARIA

CALIBRE AWG	SISTEMA 1Ø	SISTEMA 3Ø	CALIBRE AWG	SISTEMA 1Ø	SISTEMA 3Ø
14	19.5033	16.8903	3/0	0.4782	0.4141
12	12.2663	10.6229	4/0	0.3794	0.3286
10	7.7146	6.6810	250	0.3214	0.2783
8	4.8515	4.2017	300	0.2675	0.2317
6	3.0514	2.6426	350	0.2305	0.1996
4	1.9191	1.6620	400	0.2020	0.1749
2	1.2072	1.0455	500	0.1624	0.1004
1	0.9768	0.8459	600	0.1362	0.1179

1/0	0.7594	0.6577	750	0.1100	0.0953
2/0	0.6024	0.5217	1000	0.0843	0.0730

TABLA 1.8

VALOR EN MILIMETROS DE LA SECCION DEL CONDUCTOR -  
EXPRESADA SEGUN NUMERO DE MILESIMAS CIRCULARES O AWG.

MILESIMAS CIRCULARES	AWG	MM <sup>2</sup>
1 618	18	0.82
2 585	16	1.31
4 105	14	2.08
6 513	12	3.31
10 381	10	5.26
16 510	8	8.37
20 820	7	10.60
26 251	6	13.30
33 102	5	16.77
41 745	4	21.15
52 635	3	26.67
66 371	2	33.63
83 693	1	43.41
105 535	0	53.46
133 077	00	67.43
167 806	000	85.02
211 600	0000	107.22
250 000	-	126.67
300 000	-	152.01
350 000	-	177.34
400 000	-	202.68
500 000	-	253.35
600 000	-	304.02
700 000	-	354.69
750 000	-	380.02
800 000	-	405.36
900 000	-	456.00
1 000 000	-	506.00
1 250 000	-	633.00
1 500 000	-	760.00

1 750 000	-	886.00
2 000 000	-	1 013.00

Para convertir milésimas circulares en secciones - expresadas en milímetros cuadrados, multiplicarlas por - - 0.0005067.

Para convertir secciones expresadas en milímetros cuadrados, en milésimas circulares, multiplicarlas por - - 1 973.52.

TABLA 1.9

CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE PERMISIBLE EN CONDUCTORES AISLADOS DE 0-2000 VOLTS, 60°C A 90°C.

NO MAS DE TRES CONDUCTORES EN TUBERIAS, O CABLE O TIERRA- ( DIRECTAMENTE ENTERRADO), BASADO EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C (86°F).

TAMAÑO AWG MCM	RANGO DE TEMPERATURA DEL CONDUCTOR							TAMAÑO AWG MCM
	60°C 140°F	75°C 167°F	85°C 185°F	90°C 194°F	60°C 140°F	75°C 167°F	85y90°C 185°F 194°F	
	TIPOS RUW, T TW, UF -	TIPOS FEPW, V, MI RHRHW RUH THW XHHW USEZW	TIPOS V, MI -	TIPOS TA, TB SA, AVB SIS, 'FEP 'THN 'XHHW*	TIPOS RUW, T TW, UF -	TIPOS RHRHW RUH THW THWN USE -	TIPOS V, MI TA, TBS SA, AVB SIS 'XHHW*	

COBRE

ALUMINIO

18	-	-	-	21	-	-	-	-
16	-	-	22	22	-	-	-	-
14	15	15	25	25	-	-	-	-
12	20	20	30	30	15	15	25	12
10	30	30	40	40	25	25	30	10

8	40	45	50	50	30	40	40	8
6	55	65	70	70	40	50	55	6
4	70	85	90	90	55	65	70	4
3	80	100	105	105	65	75	80	3
2	95	115	120	120	75	90	95	2
1	110	130	140	140	85	100	110	1
0	125	150	155	155	100	120	125	0
00	145	175	185	185	115	135	145	00
000	165	200	210	210	130	155	165	000
0000	195	230	235	235	155	180	185	0000
250	215	255	270	270	170	205	215	250
300	240	285	300	300	190	230	240	300
350	260	310	325	325	210	250	260	350
400	280	335	360	360	225	270	290	400
500	320	380	405	405	260	310	330	500
600	355	420	455	455	285	340	370	600
700	385	460	490	490	310	375	395	700
750	400	475	500	500	320	385	405	750
800	410	490	515	515	330	395	415	800
900	435	520	555	555	355	425	455	900
1 000	455	545	585	585	375	545	580	1 000
1 250	495	590	645	645	405	485	530	1 250
1 500	520	625	700	700	435	520	580	1 500
1 750	545	650	735	735	455	545	615	1 750
2 000	560	665	775	775	470	560	650	2 000

FACTOR DE CORRECCION

Para temperaturas ambiente sobre 30°C, multiplique la capacidad de conducción de corriente mostrada arriba por el -- factor de corrección adecuado para determinar la máxima corriente de carga-permisible.

Temperatura Amb. °C      Temperatura -- Amb. °F

31-40	.82	.88	.90	.91	.82	.88	.90.91	86-104
41-50	.58	.75	.80	.82	.58	.75	.80.82	105-122
51-60	-	.58	.67	.71	-	.58	.67.71	123-141

61-70	-	.35	.52	.58	-	.35	.52.58	142-158
71-80	-	-	.30	.41	-	-	.30.41	159-176

' El rango de corriente de carga y la protección de sobrecorriente no deberán exceder de 15 amperes para 14 AWG, - 20 amperes para 12 AWG y 30 amperes para 10 AWG de cobre; o 15 amperes para 12 AWG y 25 amperes para 10 AWG de aluminio.

\* Solamente para lugares secos. Ver la columna de 75°C - - para lugares o locales húmedos.

TABLA 1.10

CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE PERMISIBLE DE CONDUCTORES AISLADOS DE 0-2000 VOLTS, 60° A 90°C.

CONDUCTORES MONOPOLARES AL AIRE LIBRE, BASADOS EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C (86°F).

EL RANGO DE TEMPERATURA DEL CONDUCTOR, ES EL MISMO QUE SE MENCIONA EN LA TABLA 1.9.

18	-	-	-	25	-	-	-	-
16	-	-	27	27	-	-	-	-
14	20	20	30	30	-	-	-	-
12	25	25	40	40	20	20	30	12
10	40	40	55	55	30	30	45	10
8	55	65	70	70	45	55	55	8
6	80	95	100	100	60	75	80	6
4	105	125	135	135	80	100	105	4
3	120	145	155	155	95	115	120	3
2	140	170	180	180	110	135	140	2

1	165	195	210	210	130	155	165	1
0	195	230	245	245	150	180	190	0
00	225	265	285	285	175	210	220	00
000	260	310	330	330	200	240	255	000
0000	300	360	385	385	230	280	300	0000
250	340	405	425	425	265	315	330	250
300	375	445	480	480	290	350	375	300
350	420	505	530	530	330	395	415	350
400	455	545	575	575	355	425	450	400
500	515	630	660	660	405	585	515	500
600	575	690	740	740	455	545	585	600
700	630	755	815	815	500	595	645	700
750	655	785	845	845	515	620	670	750
800	680	815	880	880	535	645	695	800
900	730	870	940	940	580	700	750	900
1 000	780	935	1000	1000	625	750	800	1 000
1 250	890	1065	1130	1130	710	855	905	1 250
1 500	980	1175	1260	1260	795	950	1020	1 500
1 750	1070	1280	1370	1370	875	1050	1125	1 750
2 000	1155	1385	1470	1470	960	1150	1220	2 000

LOS FACTORES DE CORRECCION, SON LOS MISMOS. QUE SE MENCIONAN EN LA TABLA 1.9.

' El rango de corriente de carga y la protección de sobrecorriente no deberán exceder de 20 amperes para 14 AWG, - 25 amperes para 12 AWG y 40 amperes para 10 AWG de cobre ó 20 amperes para 12 AWG y 30 amperes para 10 AWG de aluminio.

\* Solamente para lugares secos. Ver la columna de 75°C -- para lugares o locales húmedos.

TABLA 1.11

RADIO MEDIO GEOMETRICO DE DIVERSOS CONDUCTORES EN FUNCION DE SU RADIO EXTERIOR r.

---

ALAMBRE CILINDRICO	0.779 r
CABLE DE UN SOLO MATERIAL:	
7 HILOS	0.726 r
19 HILOS	0.758 r
37 HILOS	0.768 r
61 HILOS	0.772 r
91 HILOS	0.774 r
127 HILOS	0.776 r
CON CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO ( ACRS ) :	
30 HILOS ( 2 capas )	0.826 r
26 HILOS ( 2 capas )	0.809 r
54 HILOS ( 3 capas )	0.810 r
1 CAPA	0.55 r -0.70 r

---

## 1.7 CONCLUSION

Para lograr una racionalización del consumo de - - energía eléctrica, en las instalaciones eléctricas, hemos comprobado cuales son los procedimientos que debemos de - seguir, los cuales están especificados en este capítulo.

Además, debemos de respetar las disposiciones - - que nos mencionan las normas de instalaciones eléctricas- existentes las cuales estan hechas con experiencia y estudios realizados los cuales nos aseguran una confiabilidad en el comportamiento de nuestro estudio.

## **C A P I T U L O   I I**

### **TEORIA DEL MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO.**

## 2.1 GENERALIDADES

Se llama máquina asincrónica a una máquina de corriente alterna, en la cual la velocidad de rotación -- del rotor es menor que la del campo magnético del estator y depende de la carga. La máquina asincrónica, igual -- que otras máquinas eléctricas, tiene la propiedad de ser reversible, es decir, puede funcionar tanto en el régimen de motor, como en el de generador.

## 2.2 TEORIAS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO.

El análisis de las características de funcionamiento de los motores polifásicos de inducción puede iniciarse desde diversos puntos de vista. El método clásico utiliza el campo magnético giratorio como característica principal. También es posible, resolver el verdadero campo giratorio en dos componentes, cada una de las cuales -- varía armónicamente con el tiempo, aunque permanece fija en el espacio, difiriendo una de otra, tanto en el tiempo como en el espacio, en 90 grados eléctricos. Existen diferentes ventajas en cada uno de estos métodos, por lo -- que será preciso dominar ambos, si se pretende comprender completamente todos los aspectos de la máquina.

El M.I. se puede considerar como una evolución directa del motor shunt de cc.; también está íntimamente relacionado con el transformador fijo; y aún, parece un -- generador alimentando una resistencia ficticia. Estos -- puntos de vista son de gran utilidad para la comprensión del comportamiento físico de la máquina. Para desarro-- llar un par motor adecuado, el inducido de un motor tipo shunt tiene que ser alimentado inductiva o conductivamente desde una de las fases de una fuente bifásica y el cam po desde la otra. Tenemos que tal disposición de las dos

fases se traducirá en desequilibrio, ya que una de las fases proporcionará toda la corriente de trabajo, mientras la otra suministrará únicamente la corriente de excitación del campo. Para vencer tal inconveniente supongamos que dos de dichos motores idénticos en todos los aspectos, se acoplan mecánicamente, tal como se muestra en la fig. 2.1, de forma tal que la fase 1 alimenta el inducido de la primera máquina y el campo de la segunda, mientras la fase 2 alimenta el inducido de la segunda y el campo de la primera, en cuyo caso cada fase lleva la misma carga con la mitad de la entrada total al conjunto.

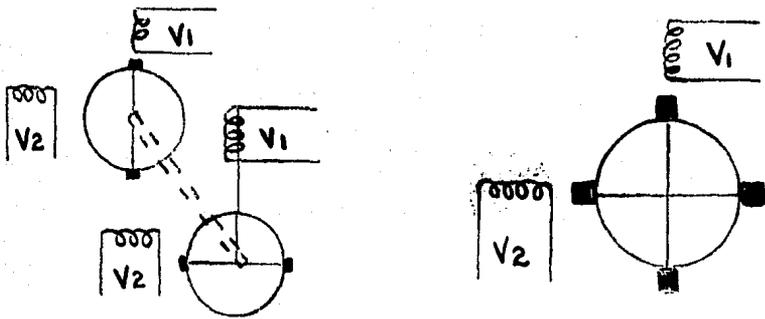


Fig. 2.1 Dos motores bifásicos de inducción desequilibrados, acoplados mecánicamente. Fig. 2.2 Motor bifásico de inducción equilibrado.

Pero resulta evidente que tal disposición es exactamente equivalente a la máquina simple de la fig. 2.2, donde el sencillo inducido en cortocircuito a lo largo de dos ejes perpendiculares, lleva simultáneamente dos series de corrientes de trabajo superpuestas, cada una de las

cuales reacciona para producir el par motor con el flujo en el otro eje.

Sabemos que un rotor en jaula de ardilla, es equivalente a un rotor devanado en cortocircuito en los dos ejes de la fig. 2.2, esta sustitución puede efectuarse sin alterar las condiciones en el primario; y, finalmente, como los dos devanados primarios se combinan para producir un campo magnético giratorio, la disposición bifásica de la fig. 2.2, puede sustituirse por cualquier devanado polifásico del estator que produzca un campo giratorio equivalente, o bien, puede remplazarse por un conjunto apropiado de polos salientes giratorios excitados por cc. Con esto se completa la evolución desde el motor shunt hasta el motor polifásico de inducción totalmente desarrollado.

Esta serie de razonamientos demuestra con toda claridad no solo la íntima semejanza entre el motor polifásico de inducción y el motor shunt ordinario, sino también la característica de transformación que producen las corrientes de trabajo en el rotor de la fig. 2.2, ahora bien, el desarrollo gradual ha desembocado en una estructura completamente diferente en apariencia a la del motor shunt de c.c. que es su prototipo. Tal estructura constituida por un estator y un rotor, podemos ahora considerarla como equivalente de un conjunto de polos girando a velocidad de sincronismo, tal como se muestra en la fig. -- 2.3 ( para una máquina tetrapolar) que rodea un rotor en jaula de ardilla o un rotor que lleva un devanado polifásico.

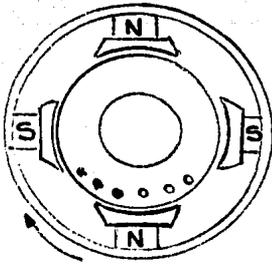
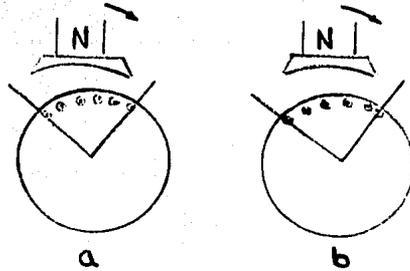


Fig. 2.3 Campo giratorio producido por polos salientes giratorios



i en fase

i en cuadratura

Fig. 2.4 Distribución de las bandas de corrientes en fase y en cuadratura.

Consideremos ahora con mayor detalle las condiciones en la estructura de la fig. 2.3, cuando el rotor está inicialmente fijo, pero con el campo exterior girando a velocidad de sincronismo. El flujo giratorio barre por encima de los conductores del rotor, por lo que se desarrollan fems, en ellos, precisamente de la misma forma que si el flujo estuviese fijo y los conductores del rotor estuvieran moviéndose hacia atrás (sinistrorsum en la fig. 2.3), a través de las líneas de inducción, lo mismo que en cualquier generador. Si los conductores del rotor no tuviesen reactancia, la corriente estaría en fase con la fem en cada varilla individual, pero a causa de la reactancia cada corriente se retrasa en fase con respecto a su fem, por lo que puede considerarse que se divide en dos componentes, una en fase con la fem correspondiente y la otra retrasándose en un cuarto de período, en cuyo caso, estas corrientes componentes tendrán la distribución que se muestra en las fig. 2.4 a,b.

Aplicando la ley de Fleming de la mano izquierda para acción motriz, se observará que la componente de corriente en fase se distribuye en bandas de forma, tal que cada una de ellas se encuentre en la posición adecuada para reaccionar con el flujo a fin de producir el par motor en el sentido de rotación del campo giratorio.

Por otra parte, la componente de corriente en cuadratura está distribuída de forma, tal que no produce par motor alguno. Por tanto, el par neto es proporcional a la componente en fase de la corriente del rotor, es decir, al factor de potencia del circuito del rotor, por lo que siendo iguales las restantes condiciones, el par inicial de dicho motor disminuye con el aumento de la reactancia.

En reposo, esto es, con el rotor bloqueado, la frecuencia de la corriente del rotor es la frecuencia de la línea, pero con el aumento de velocidad la frecuencia del rotor va disminuyendo continuamente hasta llegar a cero a la velocidad de sincronismo. Por tanto, la reactancia del rotor, siendo proporcional a su frecuencia, disminuye a medida que aumenta la velocidad.

Observemos que la corriente del rotor se debe, en primer lugar, a la verdadera acción generatriz y que luego la reacción de la corriente con el flujo da lugar al par motor, razón por la cual el motor de inducción presenta características semejantes a las de un generador, por lo que el desarrollo de potencia induce al concepto de que las corrientes del rotor alimentan una resistencia ficticia equivalente a la verdadera carga del motor.

Cualquiera que sea el punto de vista que se adopte, bien se base en la teoría de campo transversal de la fig. 2.2, o en la de campo giratorio de las figs. 2.3 y 2.4, será posible desarrollar las características completas de trabajo de la máquina.

Estudiaremos los dos métodos, si bien considera

remos, en primer lugar, el segundo, que se basa en el campo magnético giratorio.

### Campo giratorio en un devanado trifásico.

Tres devanados monofásicos separados se arrollan en las ranuras del estator para formar los polos no salientes del campo en el núcleo del estator. Estos devanados se colocan separados 120 grados eléctricos en las ranuras del núcleo del estator.

Cuando pasan tres corrientes separadas 120 grados eléctricos a través de estos devanados, se forma un campo magnético giratorio que gira dentro del núcleo del estator. La velocidad de este campo magnético giratorio depende del número de polos del estator y de la frecuencia de la fuente de potencia. Esta se llama velocidad sincrónica. Sin embargo, en la fórmula de la frecuencia se hacen transposiciones para despejar la velocidad:

$$F = \frac{P \times S}{120} \quad 2.1$$

S = Velocidad sincrónica RPM.

F = Frecuencia HERTZ

$$S = \frac{120 F}{P} \quad 2.2$$

P = Número de polos

En la fig. 2.5, se muestra un devanado simplificado de un estator. A este se le llama estator conectado en estrella de dos polos, lo que significa que se han devanado dos polos no salientes en cada devanado monofásico. Los principios de los tres devanados están separados 120° y los extremos se unen a una conexión común, para formar la estrella. En la fig. 2.6 se ve que las tres corrientes sinusoidales de las bobinas Ia, Ib e Ic de los tres devanados están separadas 120° eléctricos.

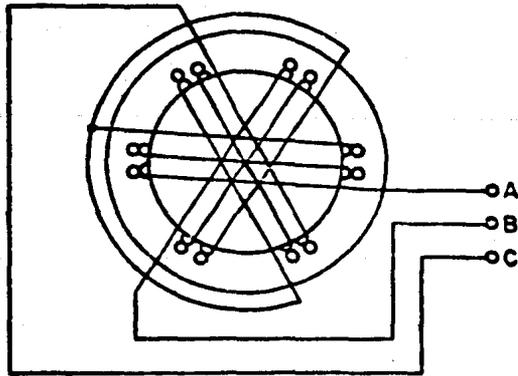


Fig. 2.5 Devanado simplificado de un estator trifásico

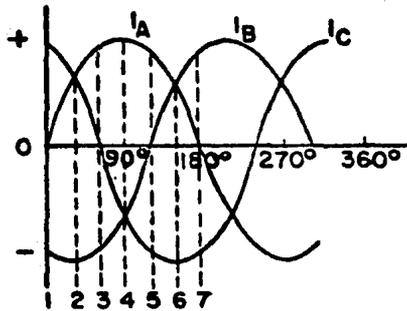


Fig. 2.6 Corriente trifásica

En la fig. 2.7 se muestra el campo magnético giratorio en siete posiciones sucesivas, en un período de medio ciclo. El campo giratorio ha dado media vuelta en este mismo período.

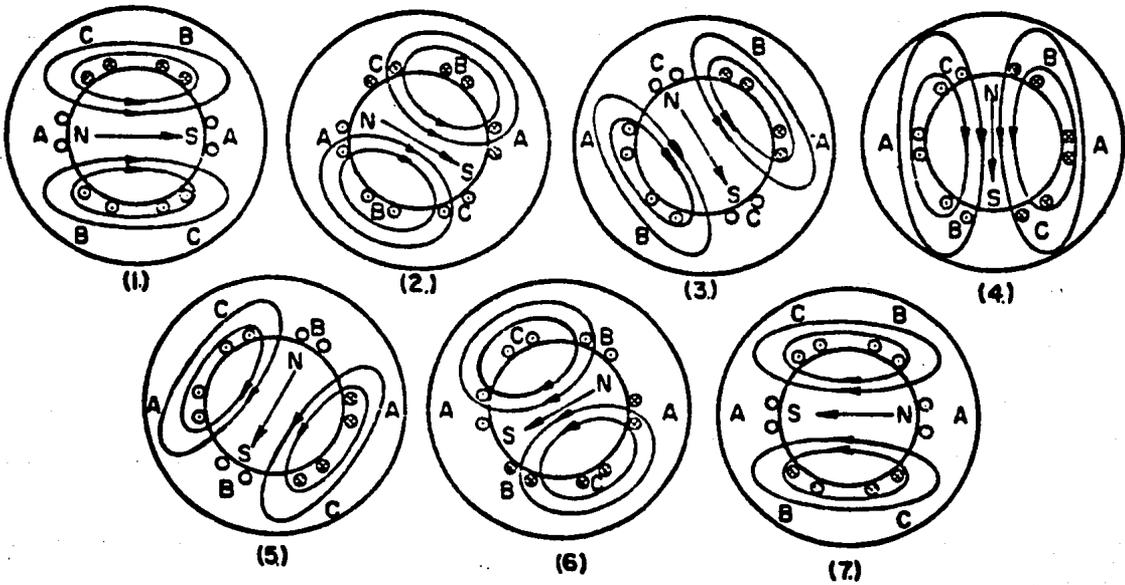


Fig. 2.7 Campo magnético giratorio de un motor trifásico de inducción, con 2 polos en el devanado del estator.

En la posición 1,  $I_A^*$  es cero, y, por tanto, el devanado A no genera ningún flujo. La corriente B y la corriente C son iguales y opuestas. Esto da por resultado que en el campo del estator aparezca un polo norte a la izquierda y un polo sur a la derecha del núcleo del estator.

A 30 grados eléctricos las corrientes en los devanados de fase A y C son de la misma magnitud y dirección, mientras que la corriente en el devanado B alcanza un máximo negativo.

El diagrama 2 muestra que el campo ha girado 30 grados en dirección de las manecillas del reloj.

El diagrama 3 representa la siguiente posición con la corriente en el devanado C en cero, mientras que las corrientes en los devanados A y B son de igual magnitud, pero de direcciones opuestas. En la posición 3 el campo ha girado  $60^\circ$  de la posición 1. El diagrama 4 representa la corriente a  $90^\circ$ , con la corriente A en un valor máximo positivo, mientras que las corrientes B y C son de igual magnitud en dirección negativa. En la posición 4 el campo ha girado  $90^\circ$  de su posición original.

Si se examinan cuidadosamente las siguientes tres posiciones, se encontrará que el campo continúa moviéndose en dirección de las manecillas del reloj y en la posición 7 estará a  $180^\circ$  de su posición original. Si se continuara esta secuencia de diagramas en la última mitad del ciclo, el campo del estator hubiera dado una vuelta en un ciclo.

Relaciones fem corriente. Diagrama vectorial general.

A fin de simplificar el análisis, supongamos (a) que la tensión VI aplicada a cada fase del devanado

\* La corriente A

primario es puramente sinusoidal y alterna a la frecuencia  $f_1$ ; (b) que el flujo por polo se distribuye sinusoidalmente en el espacio alrededor del entrehierro y que gira a velocidad de sincronismo.

Del mismo modo, por razones de sencillez -- (sancionadas por la práctica), supongamos que el rotor está equipado con un arrollamiento de bobina dispuesta por el mismo número de polos que el primario, pero con  $m^2$  fases en lugar de las  $m^1$  fases del primario, lo que se indica esquemáticamente en la fig. 2.8 se  $p$  representa el número de polos para el que están proyectados los devanados del estator y del rotor, el flujo girará a una velocidad de  $n_1$  rpm. tal que.

$$\frac{P}{2} \frac{n_1}{60} = \frac{Pn_1}{120} = f_1 \quad 2.3$$

En lo que se refiere al devanado primario fijo, el efecto del campo magnético que gira a velocidad de sincronismo es el mismo que si cada fase estuviera enlazada por un flujo fijo de magnitud  $\emptyset$  y alterno a la frecuencia  $f_2$ , tal que  $p n_2 / 120 = f_2$  se está deslizando con respecto al campo giratorio a la frecuencia.

$$f_s = f_1 - f_2 = s f_1 \quad 2.4$$

Donde  $S = (f_1 - f_2) / f_1 = 1 - (n_2 / n_1)$  es el deslizamiento expresado como fracción de la velocidad de sincronismo, por lo que el efecto es el mismo que si cada fase del secundario estuviese enlazada por un flujo fijo de magnitud  $\emptyset$  y alterno a la frecuencia de deslizamiento  $s f_1$ .

Tenemos que en condiciones de reposo la fem desarrollada en cada fase del primario y del secundario vendrá dada, respectivamente por.

$$E_1 = 4,44 k b_1 k p_1 f_1 N_1 \emptyset \quad 2.5$$

$$E_2 = 4,44 k b_2 k p_2 f_1 N_2 \emptyset \quad 2.6$$

que en condiciones de funcionamiento, cuando el deslizamiento

to es s la fem del secundario será

$$sE_2 = 4,44k_b k_p N_2 \phi \quad 2.7$$

donde  $k_b$ ,  $k_p$  = factores de devanado  
 $k_{p1}$ ,  $k_{p2}$  = factores de paso  
 $N_1$ ,  $N_2$  = espiras en serie por fase  
 $\phi$  = flujo por polo, weberios.  
 $E$  = Volts.

Cada una de estas dos fems se retrasará con respecto a  $\phi$  en  $90^\circ$  eléctricos y como el devanado secundario constituye un circuito cerrado, se producirá en él una corriente dada por

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + s^2 X_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}} \quad 2.8$$

Donde  $X_2$  es la reactancia del devanado secundario por fase, medida a la frecuencia de línea. Las dos formas equivalentes de la Ec. 2.8 admiten dos interpretaciones: la primera forma establece que la fem activa tiene frecuencia de deslizamiento y una magnitud relativamente reducida y que actúa sobre un circuito de resistencia constante y reactancia variable, lo que está estricto de acuerdo con los hechos físicos reales. La segunda forma nos dice que el efecto en lo que a la magnitud de la corriente del secundario se refiere, es el mismo que si el rotor estuviese fijo y su resistencia fuese variable, estando entonces a la frecuencia de línea tanto la fem como la corriente.



Fig. 2.8. Estator y rotor devanados para diferente número de fases.

Es evidente que cuando se trata de la segunda de estas dos teorías alternativas la fmm del secundario puede combinarse con la del primario, como en cualquier transformador fijo, lo que es igualmente cierto en el caso de la primera teoría por las siguientes razones: las m2 fases del secundario cada una de las cuales conduce la corriente I2 (de frecuencia de deslizamiento) y difieren en fase entre sí sucesivamente en un ángulo  $2/m2$ , se combinarán para producir una fem resultante que gira a velocidad de deslizamiento con respecto al devanado secundario y en el mismo sentido en el espacio que el primitivo campo magnético giratorio. Puede comprobarse fácilmente la verdad de tal afirmación por referencia a la fig. 2.3 porque si el rotor gira en sentido dextrórsus a velocidad inferior a la de sincronismo, se deslizará en sentido sinistrórsus con respecto a los polos del campo, por lo que las condiciones son las mismas que en el inducido de un alternador que gira a velocidad de deslizamiento en un campo fijo, esto es, la fmm del inducido que gira con respecto a su propio devanado, está fija con respecto al campo, de lo que se deduce que la fmm del secundario debida a la corriente del rotor, aunque gira a velocidad de deslizamiento con respecto al rotor, es arrastrada por el rotor, por lo que para una carga determinada, conserva una posición fija con respecto al campo giratorio. El resultado final es que las fmm del primario y del secundario están mutuamente fijas, por lo que pueden combinarse para producir la fmm resultante que, a su vez, establece el flujo. La combinación geométrica de las fmm del primario y del secundario está en este caso completamente justificada por el hecho de que el circuito magnético tiene la misma reluctancia en todas las posiciones del eje del flujo, como se indica en la Fig. 2.9, a causa de las formas cilíndricas del estator y del rotor, que son concéntricos.

Las fmm del primario y del secundario expresadas en amperios-vuelta por polo son

$$A1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} k b1 k p1 m1 N1 p1 I1 = N'1 I1 \quad 2.9$$

$$A2 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} k b2 k p2 m2 Np2 I2 = N'2 I2 \quad 2.10$$

(Donde  $N_{p1}$  y  $N_{p2}$  representan el número de espiras por polo y por fase en el primario y en el secundario, respectivamente) y la resultante de estas dos fmm debe ser suficiente para mantener el flujo  $\phi$  en el circuito magnético. La analogía con el transformador fijo es evidente. Si la corriente del secundario fuese nula correspondiendo a la condición de velocidad de sincronismo o a la condición de secundario en circuito abierto, el devanado primario tomaría necesariamente de la línea una corriente magnetizante (o, más correctamente, en vacío) de  $I_0$  amperios por fase con objeto de proporcionar la fmm necesaria para mantener el flujo  $\phi$ . De lo que se deduce que en condiciones de carga es necesario que

$$N'1I1 + N'2I2 = N'1I_0 \quad 2.11$$

o bien, dividiendo todos los términos por  $N'1$

$$I1 + \frac{N'2}{N'1} I2 = I_0 \quad 2.12$$

Refiriéndonos ahora a la Fig. 2.10, supongamos que el flujo  $\phi$  se representa por un vector en cualquier posición arbitraria. En tal caso, las fems  $E1$  y  $E2$  se retrasarán con respecto a  $\phi$  en  $90^\circ$  y  $E2$  establecerá la corriente  $I2$  que se retrasa con respecto a  $E2$  en un ángulo  $\theta_2$  tal que

$$\text{tg } \theta_2 = \frac{X2}{R2/S}$$

La fmm del secundario  $N'2I2$  en fase con  $I2$  necesitará entonces una corriente del primario  $I1$  tal que la Ec. 2.11 quede satisfecha, lo que significa que  $N'1I1$  y  $N'2I2$  deben ser los lados de un paralelogramo cuya diagonal sea  $N'1I_0$ . Al igual que en cualquier circuito magnético que contenga hierro, la fase de

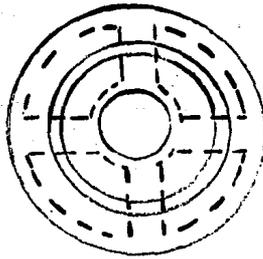


Fig. 2.9 Circuito magnético, estructura tetrapolar

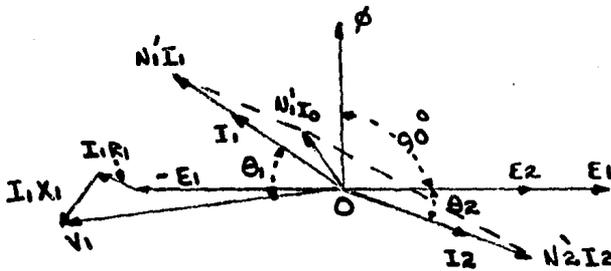


Fig. 2.10 Diagrama vectorial general

$I_0$  debe adelantarse a la de  $\phi$  en un pequeño ángulo de histéresis en avance.

La tensión aplicada al primario por fase  $V_1$  debe entonces comprender componentes para compensar a  $E_1$  y para alimentar la caída por impedancia de dispersión en el primario  $I_1(R_1 + jX_1)$ . Se ve que la construcción de este diagrama vectorial general es idéntica a la del transformador ordinario.

Sin embargo, existe un punto en el que las condiciones en el motor de inducción difieren un tanto de las de un transformador fijo. La corriente en vacío  $I_0$  adelanta al flujo  $\phi$  a causa de la presencia de una componente que alimenta las pérdidas debidas a las resistencias pasivas, además de las pérdidas en el núcleo; en el estator, el flujo es sustancialmente constante en magnitud y-

es alterno a la frecuencia de línea; pero en el núcleo -- del rotor, aunque el flujo es también sustancialmente -- constante, es alterno a la frecuencia de deslizamiento -- que varía con la velocidad del rotor y con la carga, por lo que a velocidad de sincronismo las pérdidas en el núcleo del rotor deberían ser nulas. Dentro de los límites de funcionamiento normal del motor, la variación en las -- pérdidas en el núcleo del rotor y en las correspondientes a las resistencias pasivas es muy pequeña, por lo que dichas pérdidas pueden considerarse constantes. La verdadera componente magnetizante de  $I_o$ , es decir, la que está en fase con  $\theta$ , es considerablemente mayor que en un transformador ordinario a causa de la presencia del entrehierro en el circuito magnético.

El circuito equivalente.

Existe un circuito equivalente para el transformador, y existe un análogo para el motor de inducción. -- No puede esperarse que los dos circuitos equivalentes -- sean idénticos en toda su extensión, ya que en el caso -- del motor los circuitos primario y secundario son mutuamente móviles a una velocidad que varía con la carga, por lo que no tienen necesariamente el mismo número de fases. En resumen, el motor polifásico de inducción es un transformador de un tipo mucho más general que el transformador fijo ordinario de dos circuitos que hasta ahora hemos estudiado; ahora bien, como es evidente por la Fig. 2.10, las magnitudes del primario y del secundario, tales como fems, corrientes, resistencias y reactancias están íntimamente relacionadas, por lo que resulta posible expresar -- las magnitudes del secundario en función del primario o -- viceversa, de la misma forma que se hizo en el caso del -- transformador.

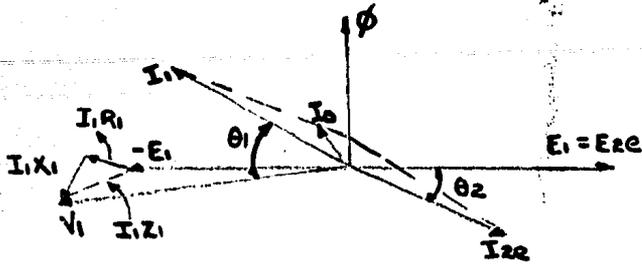


Fig. 2.11 Diagrama vectorial reducido a función del primario.

Así pues, según las Ecs. 2.5 y 2.6, se ve que en reposo la razón de la fem del primario a la del secundario, por fase, es

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{k b_1 k p_1 N_1}{k b_2 k p_2 N_2} = a \quad 2.13$$

Por tanto, las fems de los secundarios reducidas a valores equivalentes en reposo, si se multiplican por esta relación de transformación de tensión, resultarán expresadas a términos equivalentes de los primarios.

Análogamente, la Ec. 2.12 demuestra que la correspondiente relación de transformación de corrientes que convertirá la verdadera corriente del secundario por fase en la equivalente corriente del primario es

$$\frac{N_1^2}{N_1^2} = \frac{m_2 k b_2 k p_2 N_2}{m_1 k b_1 k p_1 N_1} = \frac{m_2 k b_2 k p_2 N_2}{m_1 k b_1 k p_1 N_1} = \frac{m_2}{m_1} \frac{1}{a} \quad 2.14$$

de lo que se deduce que el factor por el que hay que multiplicar la resistencia, reactancia e impedancia del secundario para expresarlas en términos equivalentes del primario es  $m_1 a^2 / m_2$ . Por razones de conveniencia en el desarrollo del análisis resulta más oportuno trabajar con

magnitudes equivalentes se designarán mediante el subíndice e; así E2e representará la fem del secundario reducida a función del primario, por lo que E2e es igual a -E1.

Al variar las magnitudes del secundario a términos del primario, la Fig. 2.10 toma la forma que aparece en la Fig. 2.11, siendo entonces posible convertir -- las relaciones entre los vectores de este diagrama en -- las correspondientes expresiones analíticas. Así pues, utilizando las Ecs. 2.8 y 2.12,

$$I_{2e} = \frac{E_{2e}}{R_{2e} + jS X_{2e}} = \frac{E_{2e}}{R_{2e}/S + jX_{2e}} \quad 2.15$$

$$I_1 + I_{2e} = I_o \quad 2.16$$

Aplicando el mismo razonamiento que en el caso del transformador fijo se puede escribir.

$$I_o = \frac{-E_1}{R_o + jX_o} = -E_1 (G_o - jB_o) \quad 2.17$$

donde  $R_o + jX_o$  es la impedancia de excitación y  $G_o - jB_o$  es la admitancia de excitación; y finalmente, de acuerdo con la Fig. 2.11

$$V_1 = -E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \quad 2.18$$

combinando las Ecs. 2.15 a 2.18 y eliminando sucesivamente E1, I2e e Io, se tendrá que

$$V_1 = I_1 \left( R_1 + jX_1 + \frac{1}{G_o - jB_o + \frac{1}{R_{2e}/S + jX_{2e}}} \right) \quad 2.19$$

La Ec. 2.19 demuestra que en lo que al primario se refiere, la tensión aplicada por fase es igual a la corriente por fase multiplicada por una impedancia representada por

el término entre paréntesis.

La forma de esta expresión demuestra que el circuito equivalente (por fase) es el que aparece en la Fig. 2.12, que es análogo al circuito equivalente del transformador, pero se observará que no existe claramente definida una impedancia de carga independiente, se ve que el efecto de carga variable sobre el verdadero motor se tiene en cuenta mediante la resistencia variable  $R_{2e}/s$ . En otras palabras, el funcionamiento del motor con carga es el mismo que si el primario estuviese alimentando un reostato variable no inductivo, el cual forma parte de un circuito conectado, como se muestra en la Fig. 2.12. Se observará que cuando  $s=1$  (en reposo) las condiciones son idénticas a las de un transformador fijo en corto circuito y que cuando  $s=0$  (en sincronismo) las condiciones son idénticas a las de un transformador con el secundario en circuito abierto. Estos hechos reflejan el carácter transformador del motor de inducción.

En general, la caída por impedancia en el primario  $I_1 Z_1$  es un pequeño porcentaje de la tensión aplicada  $V_1$ , por lo que es muy pequeño el error implicado al considerar a  $E_1$  (Fig. 2.11) como sustancialmente igual a  $V_1$ , lo que es equivalente a transferir la admitancia de excitación desde la posición que aparece en la Fig. 2.12 a la que se muestra en la Fig. 2.13 que, entonces, es el circuito equivalente aproximado del motor polifásico de inducción. La representación analítica de esta variación, deducida por observación de la Fig. 2.13 es, por tanto,

$$I_1 = V_1 \left[ (G_0 - jB_0) + \frac{1}{R_1 + R_{2e}/s + j(X_1 + X_{2e})} \right] \quad 2.20$$

que significa que la corriente del primario  $I_1$  es la resultante de dos componentes, una de las cuales es aproximadamente igual a

$$I_0 = V_1 (G_0 - jB_0) \quad 2.21$$

y la otra, equivalente a  $I_{2e}$  es

$$I_{2e} = \frac{V_1}{(R_1 + R_{2e}/s) + j(X_1 + X_{2e})} \quad 2.22$$

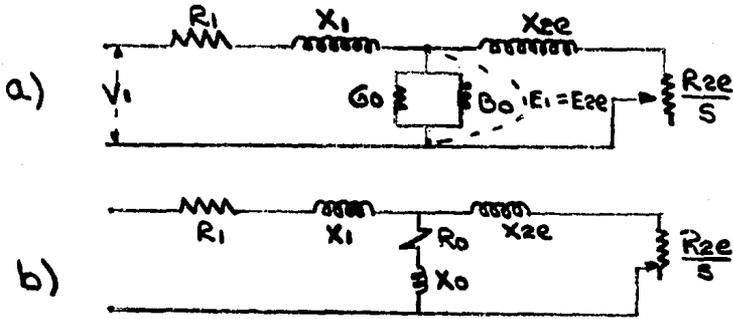


Fig. 2.12 Formas alternativas del circuito equivalente -- exacto de motor polifásico de inducción.

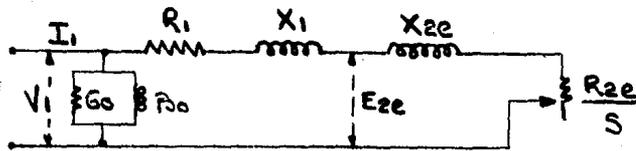


Fig. 2.13 Circuito equivalente aproximado.

En el circuito equivalente de la Fig. 2.13 todo el efecto de la carga del motor va incluido en la resistencia variable  $R_{2e}/s$ , pero, como

$$\frac{R_{2e}}{s} = R_{2e} + R_{2e} \frac{1-s}{s}$$

el circuito equivalente aproximado puede volverse a trazar como se muestra en la Fig. 2.14, en el que la resistencia  $R_{2e}$  es una parte inherente de la impedancia inte-

rior de la máquina, pero la resistencia variable  $R_{2e}(1-s)/s$  es la análoga eléctrica de la carga mecánica. Es este hecho el que explica el concepto al que nos hemos referido en el Art. 2.2, de que el motor de inducción puede ser considerado como un generador que alimenta una resistencia ficticia.

Potencia mecánica desarrollada.

Por la Fig. 2.14 se ve que la potencia (por fase) suministrada al motor desde la línea es

$$P_1 = V I_1 \cos \theta_1 \quad \text{vatios} \quad 2.23$$

donde el significado de los símbolos se indica en el diagrama vectorial, Fig. 2.15, constituídos de forma que esté de acuerdo con el circuito de la Fig. 2.14. Una parte de esta potencia, que asciende a  $I_1^2 (R_1 + R_{2e})$  vatios por fase, se consume como pérdidas óhmicas en los devanados del primario y del secundario, mientras la restante se convierte en potencia mecánica. No toda la potencia mecánica desarrollada de esta forma resulta útil en el eje, ya que existen otras pérdidas debidas a las resistencias pasivas, por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo. Las pérdidas debidas a estas causas son tenidas en cuenta mediante la admitancia de excitación que aparece en la Fig. 2.14 y que según la Fig. 2.15 se ve que se elevan a

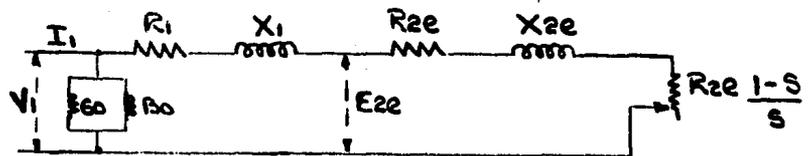


Fig. 2.14 Circuito equivalente aproximado

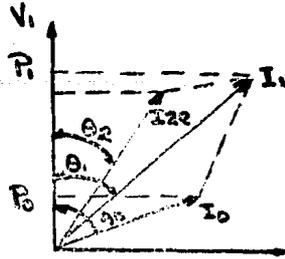


Fig. 2.15 Componentes de potencia de la corriente.

$V I I_0$  con  $\theta_0$  vatios por fase; es equivalente en su naturaleza a una resistencia de fricción aplicada al eje. Por tanto, la potencia mecánica neta de salida por fase es

$$P = V I I_1 \cos \theta_1 - I_2^2 e (R_1 + R_2 e) - V I I_0 \cos \theta_0 \quad 2.24$$

Pero según la Fig. 2.15 se ve que

$$I_1 \cos \theta_1 = I_2 e \cos \theta_2 + I_0 \cos \theta_0$$

y como según el circuito de la Fig. 2.14 se deduce que

$$I_2 e = \frac{V_1}{\left( \frac{R_1 + R_2 e + R_2 e}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2 e)^2} = \frac{V_1}{Z_e}$$

$$\text{y } \cos \theta_2 = \frac{R_1 + R_2 e + R_2 e (1-s)/s}{Z_e}$$

y la sustitución de estas relaciones en la Ec. 2.24 nos da

$$P = \frac{V_1^2 R_2 e}{(R_1 + R_2 e/s)^2 + (X_1 + X_2 e)^2} \frac{1-s}{s} \quad 2.25$$

que nos proporciona la potencia mecánica por fase en función del deslizamiento  $s$ , siendo constantes todos los demás términos de la expresión. Además, como

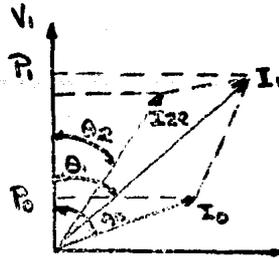


Fig. 2.15 Componentes de potencia de la corriente.

$V_1 I_0 \cos \theta_0$  vatios por fase; es equivalente en su naturaleza a una resistencia de fricción aplicada al eje. Por tanto, la potencia mecánica neta de salida por fase es

$$P = V_1 I_1 \cos \theta_1 - I_2^2 e (R_1 + R_2 e) - V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad 2.24$$

Pero según la Fig. 2.15 se ve que

$$I_1 \cos \theta_1 = I_2 e \cos \theta_2 + I_0 \cos \theta_0$$

y como según el circuito de la Fig. 2.14 se deduce que

$$I_2 e = \frac{V_1}{\left( \frac{R_1 + R_2 e + R_2 e (1-s)}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2 e)^2} \frac{1}{Z_e} = \frac{V_1}{Z_e}$$

$$\text{y } \cos \theta_2 = \frac{R_1 + R_2 e + R_2 e (1-s)/s}{Z_e}$$

y la sustitución de estas relaciones en la Ec. 2.24 nos da

$$P = \frac{V_1^2 R_2 e}{(R_1 + R_2 e/s)^2 + (X_1 + X_2 e)^2} \frac{1-s}{s} \quad 2.25$$

que nos proporciona la potencia mecánica por fase en función del deslizamiento  $s$ , siendo constantes todos los demás términos de la expresión. Además, como

$$\frac{V_1^2}{(R_1 + R_{2e}/S)^2 + (X_1 + X_{2e})^2} = I_{2e}^2$$

se deduce según la Ec. 2.25 que

$$P = I_{2e}^2 R_{2e} \frac{1-S}{S} \quad 2.26$$

que significa que la potencia mecánica desarrollada por fase puede considerarse como las pérdidas óhmicas en una resistencia ficticia del secundario de  $R_{2e}(1-s)/s$  ohmios por fase.

De la Ec. 2.26 se puede deducir nuevos, interesantes e importantes hechos, ya que al sustituir la relación

$$I_{2e} = \frac{E_{2e}}{\sqrt{(R_{2e}/S)^2 + X_{2e}^2}}$$

se convierte en

$$P = E_{2e}(1-s) I_{2e} \frac{R_{2e}/S}{\sqrt{(R_{2e}/S)^2 + X_{2e}^2}} = E_{2e}(1-s) I_{2e} \cos \theta \quad 2.27$$

que demuestra que la fem en unión de la corriente del secundario es la que produce la potencia mecánica de salida, es igual a  $E_{2e}(1-s)$ ; pero  $sE_{2e}$  es la tensión que se consume realmente en la impedancia del secundario, mientras que  $E_{2e}$  inducida por acción transformatriz, es equivalente a la tensión aplicada a las bornas del inducido de un motor ordinario de cc. Por tanto, la diferencia entre ellas, o sea  $E_{2e}(1-s)$ , es análoga a la fuerza contraelectromotriz en un motor de cc.

Además, como

$sE_2eI_2e \cos \theta_2 = I_2e^2 R_2e =$  pérdida en el cobre del secundario por fase se deduce que

$P + I_2e^2 R_2e = E_2eI_2e \cos \theta_2 =$  potencia eléctrica de entrada al secundario por fase,

hecho que resultará de gran utilidad en aplicaciones posteriores.

Por otra parte, la expresión  $E_2eI_2e \cos \theta_2$  puede escribirse

$$\frac{sE_2eI_2e \cos \theta_2}{s} = \frac{I_2e^2 R_2e}{s}$$

de donde se deduce que

Potencia eléctrica de entrada al secundario por fase =  $P + I_2e^2 R_2e =$

$$\frac{I_2e^2 R_2e}{s} = \frac{\text{pérdidas en el cobre del secundario-deslizamiento}}{\text{por fase}} \quad 2.28$$

Al multiplicar por  $s$  el numerador y denominador de la Ec. 2.25 se convierte en

$$P = \frac{V_1^2 R_2e s (1-s)}{(sR_1 + R_2e)^2 + s^2 (X_1 + X_2e)^2} \quad 2.29$$

que demuestra que  $P=0$  cuando  $s=0$  (sincronismo - y también cuando  $s=1$  (reposo).

Además, el signo de  $P$  depende de la magnitud y signo de  $s$ , de acuerdo con la siguiente tabulación:

TABLA 2.1

C O N C E P T O	VALOR DE S	SIGNO DE P
1	$0 < s < 1$	Positivo
2	$s < 0$	Negativo
3	$s > 1$	Negativo

El significado físico de estos tres -- conceptos se interpreta fácilmente de la siguiente forma:

1.- Cuando el deslizamiento se encuentra entre cero y la unidad, la velocidad del motor está entre reposo y sincronismo y el sentido de la rotación es el mismo que el del campo magnético giratorio. Por tanto, el signo positivo de P indica acción motriz.

2.- Cuando el deslizamiento es menor que cero, es decir, es negativo como el signo, -- el rotor está siendo impulsado hacia adelante en el mismo sentido que el campo giratorio y la velocidad real es mayor que la velocidad de sincronismo. Por tanto, se ha invertido el sentido relativo de rotación entre el rotor y el campo magnético, por lo que las fems y corrientes del rotor están, asimismo, invertidas, lo que indica que la máquina ha variado de acción motriz a acción generatriz. El signo negativo de P está de acuerdo con esta inversión de la función.

3.- Cuando s es mayor que la unidad, -- el motor está siendo impulsado hacia atrás den--

tro del campo magnético giratorio hacia adelante. La fem del rotor continúa teniendo el mismo sentido que en reposo (o que a cualquier velocidad entre sincronismo y reposo), pero se hace -- mayor en magnitud a causa de la gran velocidad -- relativa con que corta las líneas de inducción. -- La máquina se ha convertido en un freno eléctrico, de lo que proviene el signo negativo de P.

Par motor.

La potencia mecánica por fase representa da por la Ec. 2.29 determina la magnitud del par motor. Si el par motor en libras-pie se indica por T y la velocidad del rotor es  $n_2$ , tendremos que

$$m_1 P = 2\pi n_2 T x \frac{746}{33000}$$

y como  $n_2 = n_1(1-s)$ ,

$$T = \frac{33000}{2\pi n_1 (746)} \frac{m_1 V_1^2 R_{2e} s}{(sR_1 + R_{2e})^2 + s^2 (X_1 + X_{2e})^2} \quad 2.30$$

refiriéndonos a lo expresado inmediatamente después de la Ec. 2.25, se observará que

$$T = \frac{33000}{2\pi n_1 (746)} \frac{m_1 (I_{2e}^2 R_{2e})}{s} \quad 2.31$$

que de acuerdo con la Ec. 2.28 es equivalente a

$$T = \frac{33000}{2\pi n_1 (746)} \times \text{potencia eléctrica total de entrada al sec.} \quad 2.32.$$

La Ec. 2.31 establece que el producto del par motor por el deslizamiento es proporcional a las pérdidas totales en el cobre del secundario, lo que significa que en reposo ( $s=1$ ) el par motor -

es directamente proporcional a la resistencia del secundario, indicando que un par de arranque grande exige una resistencia del rotor proporcionalmente grande.

El máximo par que el motor puede desarrollar queda determinado por la condición de que  $dT/ds=0$ . Al diferenciar la Ec. 2.30 vemos que la condición para par motor máximo es

$$s = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad 2.33$$

El signo positivo corresponde a acción motriz y el negativo a acción generatriz. Considerando únicamente el caso de la acción motriz; el par máximo hallado mediante la sustitución de este valor de  $s$  en la Ec. 2.30 es

$$T_{\text{máx}} = \frac{33000}{2\pi n (746)} \frac{M_1 V_1^2}{2(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2})^2} \quad 2.34$$

El par máximo, llamado momento máximo de torsión o par crítico, caracteriza la carga que obligará a detenerse al motor. De acuerdo con la Ec. 2.33, el par máximo tiene lugar cuando el deslizamiento es directamente proporcional a la resistencia del secundario, si bien la Ec. 2.34 demuestra que el par máximo es en sí mismo independiente de la resistencia del secundario. Cuando se desee que el par máximo se produzca al arrancar, la Ec. 2.33 demuestra que la resistencia del rotor tendría que ser igual a

$$\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

En general, la resistencia del primario  $R_1$  es suficientemente pequeña en comparación con la reactancia para justificar la omisión del término  $R_1^2$  en esta expresión; por consiguiente, para par máximo al arrancar,  $R_2 = X_1 + X_2$ , o sea, que aproximadamente, la resistencia

del rotor debe ser igual a la reactancia total de dispersión, estando todas las magnitudes expresadas en función del primario. En estas condiciones, la corriente se retrasará  $45^\circ$  aproximadamente con respecto a la tensión aplicada, lo que significa que el correspondiente factor de potencia se hallará en las proximidades del 70%.

La variación de  $R_{2e}$  suele llevarse a efecto mediante un devanado del rotor, trifásico, conectado en  $Y$ , con anillos deslizantes, del tipo que se muestra en la Fig. 2.21, lo que permite el empleo de un reostato que puede montarse exteriormente. En algunos proyectos, la resistencia variable se monta interiormente, esto es, sobre los brazos del rotor dentro del núcleo, en cuyo caso no se necesitan anillos deslizantes y el reóstato es manipulado por articulaciones movidas por una varilla montada concéntricamente en el eje hueco y que se proyecta más allá del extremo del eje. Por supuesto, es posible proyectar el rotor para obtener cualquier par de arranque hasta llegar a un máximo posible, pero a menos que se adopten medidas especiales, un elevado par de arranque obtenido mediante una resistencia fija del rotor proporcionalmente grande, implicará un sacrificio del rendimiento y de la regulación de la velocidad en condiciones normales de funcionamiento.

La naturaleza de la variación del par con el deslizamiento se muestra en la Fig. 2.16 que se ha construido en la hipótesis de que  $R_1=0,2$  y  $X_1=X_2e^{-1,0}$  y después asignando diversos valores a  $R_{2e}$ . Se habrá observado que los valores positivos de  $(s)$  se han situado a la izquierda del punto  $s=0$  y los negativos a la derecha, con lo que puede conseguirse que las abscisas correspondan con la velocidad expresada como porcentaje de la velocidad de sincronismo, leyéndose en la forma usual de izquierda a derecha.

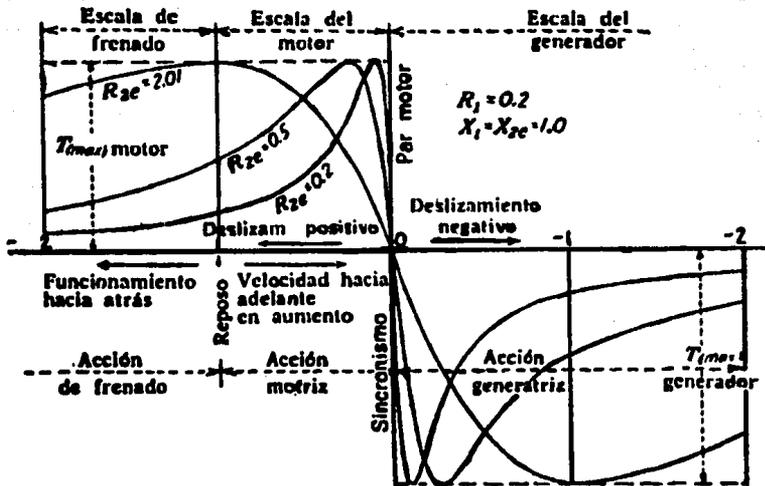


Fig. 2.16 Variación del par motor con el deslizamiento (o la velocidad)

Cuando la velocidad es mayor que la de sincronismo, lo que corresponde a valores negativos de  $s$  el par también se hace negativo de acuerdo con la Ec. 2.30 y entonces la máquina funciona como generador. En estas condiciones, la determinación del par máximo exige el empleo de signo negativo en la Ec. 2.33, con lo que el par máximo para el caso de acción generatriz se convierte en

$$T_{\text{máx. gen}} = \frac{33000}{2\pi n_s (746)} \frac{MIV_1^2}{2(\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{2e})^2} - R_1)} \quad 2.35$$

que es ligeramente superior al correspondiente máximo para acción motriz.

La Fig. 2.16 demuestra que en la escala de acción motriz comprendida entre el reposo y la velocidad a que se desarrolla el par máximo, el par aumenta más que -

proporcionalmente con respecto a la velocidad, lo que significa que dentro de dicha escala existe una condición de inestabilidad en el sentido de que si el par desarrollado es mayor que el momento resistente de torsión, la velocidad continuará elevándose hasta sobrepasar el punto de par máximo, más allá del cual y hasta el sincronismo las condiciones se hacen estables, porque entonces cualquier aumento de par de carga obliga al motor a disminuir la velocidad y, por tanto, a desarrollar un par mayor para hacer frente a las necesidades de la carga. En sentido contrario, si el par de carga se hace mayor que el momento máximo de torsión del motor, la disminución de la velocidad se lleva a efecto mediante un par motor disminuido, con lo que la velocidad cae rápidamente a cero.

### 2.3 CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

Los motores asincronos ó de inducción por el número de fases se clasifican en general como:

- a.- trifásicos.
- b.- bifásicos.
- c.- monofásicos.

Por el tipo de rotor pueden ser:

- a.- de rotor de jaula de ardilla
- b.- de doble jaula de ardilla
- c.- de rotor devanado.

En nuestro estudio sólo analizaremos los motores de inducción trifásicos de los tres tipos de rotores, ya que son los de mayor uso en la planta industrial.

Motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla.

El motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla (Figs. 2.17 y 2.18) es el más difundido entre los

motores que se emplean en la industria.

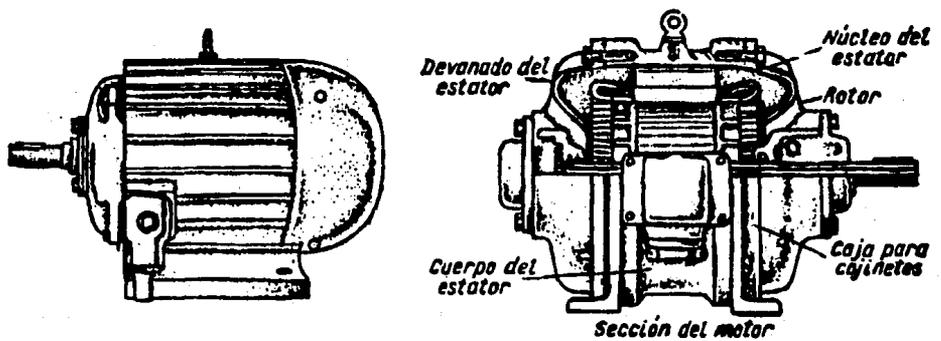


Fig. 2.17 Aspecto general y corte de un motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla.

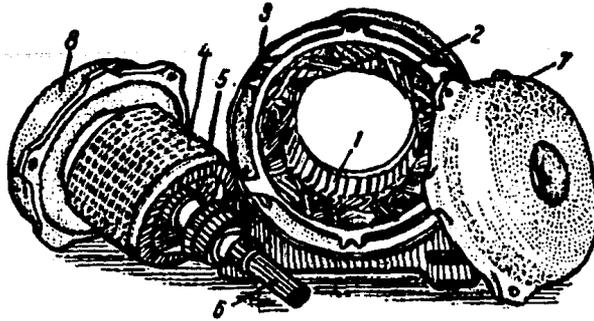


Fig. 2.18 Motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla desarmado.

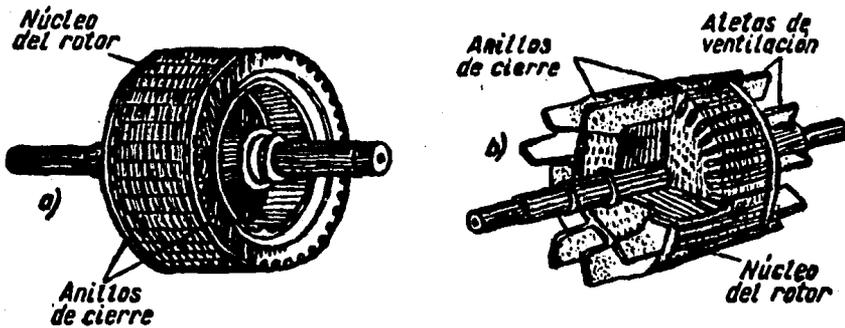


Fig. 2.19. Aspecto exterior y corte parcial de un rotor en jaula de ardilla.

A- Rotor con devanado en jaula de ardilla.

B- Rotor cortocircuitado, relleno de aluminio.

La construcción del motor asincrónico es como sigue. En la parte fija del motor, estator 1 (fig. 2.18) se dispone el devanado trifásico 2, que se alimenta con -

corriente trifásica. Los extremos de las tres fases de este devanado se montan en un tablero común fijado a la parte exterior del cuerpo 3 del motor.

Puesto que por los devanados del estator fluye la corriente alterna, por el acero del estator pasará un flujo magnético alterno. Para reducir las corrientes parásitas que surgen en el estator, éste se hace de chapas estampadas de acero laminado de 0,35 y 0,5 mm de grosor. Las chapas están aisladas una de otra con barniz. Las chapas con ranuras estampadas para el devanado se ajustan una a otra con pernos aislados del estator. El núcleo armado del estator va fijado en el cuerpo de hierro fundido 3 del motor.

La parte giratoria del motor, rotor 4, es armada también de chapas de acero.

En las ranuras del rotor se colocan varillas de cobre que se sueldan por ambos extremos a los aros de cobre 5.

Si nos imaginamos sólo el devanado de semejante rotor, éste recordará por su aspecto exterior a una jaula de ardilla (Fig. 2.19,a).

Actualmente en todos los motores de hasta 100kw de potencia la jaula de ardilla se hace de aluminio moldeado a presión en las ranuras del rotor (Fig. 2.19,b).

El árbol del rotor 6 (Fig. 2.18) gira en los cojinetes fijados en las cajas 7 y 8. Por medio de pernos, las cajas se fijan al cuerpo del motor. Sobre un extremo del árbol del rotor se pone una polea para transmitir la rotación a las máquinas o tornos. El arranque del motor con rotor en jaula de ardilla es muy sencillo. Para eso es necesario conectar mediante un arrancador el devanado del estator a la red y el rotor comienza a girar. Durante la puesta en marcha, el motor con rotor en jaula de ardilla toma de la red una corriente de arranque que es de 5 a

7 veces mayor que la que consume el motor durante el funcionamiento normal (corriente nominal).

Grandes corrientes de arranque de los motores producen grandes caídas de tensión en la red, lo que se refleja perjudicialmente sobre el funcionamiento de otros consumidores.

En el momento de arranque, cuando la frecuencia de la corriente del rotor es igual a la del estator, la resistencia inductiva del devanado del rotor es grande, el ángulo de defasamiento  $\phi$  entre la f.e.m.  $E_2$  y la corriente del rotor  $I_2$  es también grande. Por eso, el par inicial de arranque del motor será pequeño. Ahora al aumentar la resistencia activa del circuito del devanado del rotor se puede aumentar el par de arranque del motor. Se podría hacer el devanado del rotor con una resistencia mayor, pero eso provocaría mayor calentamiento del devanado y disminución del rendimiento del motor. Para mejorar las características de arranque de los motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla se emplean motores con devanados en jaula de ardilla en el rotor y motores con ranura profunda.

**Motor asincrónico con rotor de doble jaula de ardilla.**

En el rotor de tal motor están alojadas dos jaulas (fig. 2.19,a): una, de arranque, cuya resistencia activa es grande y la inductiva es pequeña, y otra, de trabajo, que, al contrario, dispone de una resistencia activa pequeña y de una resistencia inductiva grande.

Las varillas de la jaula de arranque suelen fabricarse de latón al manganeso. Para la jaula de trabajo se utiliza cobre rojo. La sección de jaula de trabajo se hace mayor que la de la jaula de arranque.

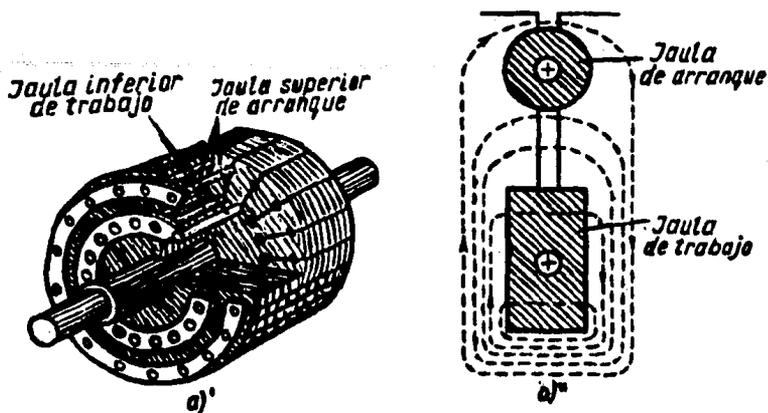


Fig. 2.19. Rotor de doble jaula

a' aspecto general con  
corte parcial.

a'' corte de una ranura.

Seleccionando el material y las secciones de las jaulas se obtiene una resistencia de la jaula de arranque cuatro o cinco veces mayor que la de la jaula de trabajo.

Como observamos, en la Fig. 2-19a'', entre las varillas de las jaulas de arranque y las de trabajo hay un estrecho, cuyas dimensiones determinan la inductancia de la jaula inferior de trabajo.

Vamos a examinar el trabajo de un motor de doble jaula.

En el momento de poner en marcha el motor, cuando la frecuencia de las corrientes del rotor es igual a la de la red, el flujo magnético de dispersión de la jaula de trabajo es grande y, por lo tanto, la inductancia de la misma es también grande.

Por eso, el defasamiento de la corriente de la jaula de trabajo y de la fem. inducida en ésta será grande, y el par de arranque que crea la jaula, pequeño. Debido a la gran resistencia activa y pequeña inductancia de la jaula de arranque, la corriente y la fem inducida en ésta tendrán un defasamiento insignificante y el par de arranque que desarrolla la jaula de arranque será grande. Por consiguiente, al poner en marcha el motor, el par de arranque se produce preferentemente a cuenta de la jaula de arranque.

Al aumentar la velocidad del motor, la frecuencia de las corrientes del rotor disminuye, la resistencia inductiva de las jaulas ejerce sobre el trabajo del motor cada vez menor influencia y por eso la distribución de las corrientes en las jaulas se determina sólo por su resistencia activa. La resistencia activa de la jaula de trabajo es varias veces menos que la resistencia de la de arranque. Por eso durante el trabajo normal del motor la mayor parte de la corriente pasa por la jaula y el par de arranque se produce preferentemente a cuenta de ésta.

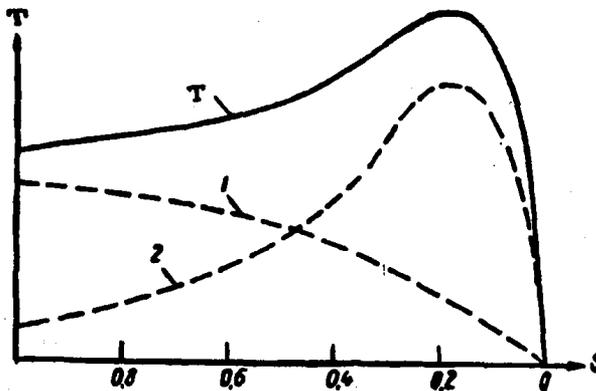


Fig. 2.19b Curvas de los pares de un motor de doble jaula.

En la Fig. 2.19b se muestra el par de arranque en función de la magnitud de deslizamiento de un motor de doble jaula. En el diagrama la curva 1 muestra la variación del par que crea el devanado de arranque, la curva 2 la variación del par que crea el devanado de trabajo. La suma de los valores instantáneos de los pares de los dos devanados forma la curva T del par del motor de doble jaula.

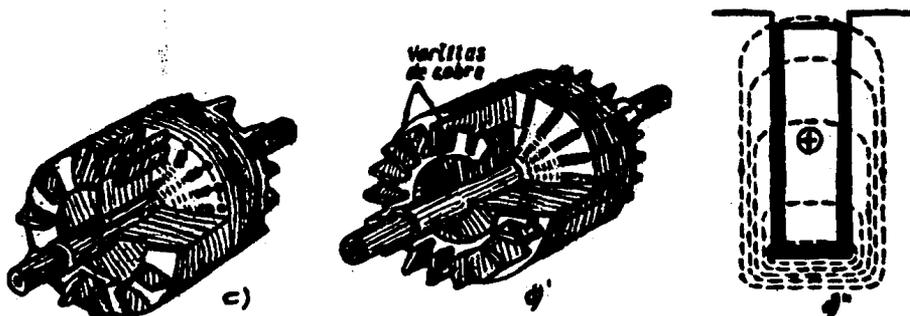


Fig. 2.19c Rotor con doble jaula de aluminio.

Fib. 2.19d Rotor con ranura profunda

d' aspecto general con corte parcial. d'' corte de una ranura parcial.

Más sencillo en su fabricación es un rotor cuyas dos jaulas están moldeadas de aluminio. En la Fig. 2.19c se muestra el aspecto exterior y la sección parcial de un rotor con doble jaula fundida de aluminio.

El motor de doble jaula es más caro que el asin crónico con rotor en jaula de ardilla de construcción corriente en un 20 ó 30%.

Actualmente se producen motores de doble jaula,

de 5 a 2000 kW.

Además de motores de doble jaula, se utilizan - motores con ranuras profundas (Fig. 2.19d). La relación - entre la longitud de la ranura y su ancho se toma en los - límites de 10 a 12. En el momento de arranque la parte - inferior de la ranura está embragada con un número de lí - neas magnéticas del flujo de dispersión mayor que la par - te superior de la misma. Por eso la resistencia inducti - va de la parte inferior de la ranura es mayor que la de - la parte superior. Esto lleva al desalojamiento de la co - rriente del rotor a la parte superior de la columna del - devanado. La densidad de la corriente en las capas supe - riores de la columna aumenta, lo que equivale a la reduc - ción de la sección de las columnas y al aumento de la re - sistencia activa del devanado. Esto lleva al incremento - del par de arranque del motor. Además, el aumento de la - resistencia inductiva del devanado del rotor provoca la - disminución de la corriente de arranque. Al aumentar la - velocidad, el motor adquiere propiedades que corresponden - a su construcción normal.

En la tabla 2.2 están representadas las caracte - rísticas de arranque del motor con rotor en jaula de ardi - lla de fabricación normal, de un motor de doble jaula y - de un motor con ranura profunda. Las propiedades de - - arranque se dan en forma de relación entre la corriente - de arranque  $I_{arr}$  y la corriente nominal  $I_n$  y en forma de - relación entre el par inicial  $T_{arr}$  y el par nominal  $T_n$ .

TABLA 2.2

Características de arranque de los motores con rotor en - jaula de ardilla .

Motor de fabricación normal		Motor de doble jaula		Motor con ranura profunda	
$\frac{I_{arr}}{I_n}$	$\frac{T_{arr}}{T_n}$	$\frac{I_{arr}}{I_n}$	$\frac{T_{arr}}{T_n}$	$\frac{I_{arr}}{I_n}$	$\frac{T_{arr}}{T_n}$
4-7	0.8 -1,2	3.3-5,5	1-2	4-4,8	1,2-1,5

## Motor asincrónico de anillos

Analizando las deficiencias de los motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla, conviene señalar que es difícil regular la velocidad de rotación de dichos motores y que la corriente de arranque en ellos es grande. Estas son las causas fundamentales que han llevado a utilizar, junto con motores de rotor en jaula de ardilla, motores asincrónicos de anillos.

En la Fig. 2.20 se muestra el aspecto exterior y el corte de un motor asincrónico de anillos, y en la Fig. 2.21. este mismo motor se muestra en forma desarmada.

La estructura del estator de este motor y su devanado no se diferencian de la del estator de un motor con rotor de jaula de ardilla. La diferencia entre estos dos motores consiste en la construcción del rotor. El electromotor de anillos tiene un rotor en el cual están alojados, igual que en el estator, tres devanados de fase montados en estrella.

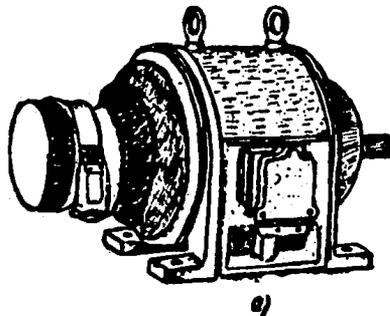


Fig. 220a Motor asincrónico de anillos.  
a- Aspecto exterior.

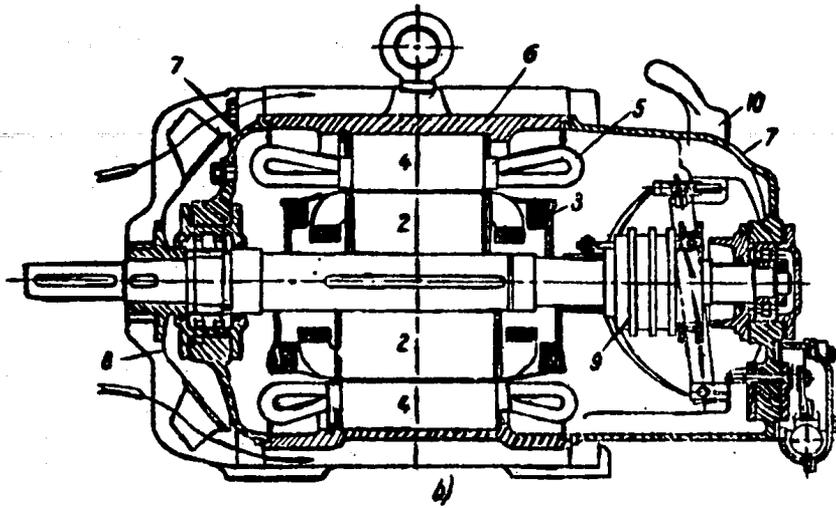


Fig. 2.20b Motor asincrónico de anillos

b- Corte longitudinal del motor, la mitad superior corresponde a la ejecución para  $n=1500$  r.p. m; la inferior para  $n_1 = 1000$  r.p.m.; 1-árbol, 2-acero del rotor, 3-devanado del rotor, 4-acero del estator, 5-devanado del estator, 6-armazón del estator, 7-cajas para cojinetes, 8-ventilador, 9-anillos colectores, 10-empuñadura para levantar las escobillas.

(más raramente, en triángulo). Los extremos de los devanados de fase del rotor se unen a tres aros de cobre, fijados en el árbol del rotor y aislados tanto entre sí como del núcleo de acero del rotor.

Anteriormente hemos indicado que al introducir la resistencia activa en el circuito del rotor, durante el arranque disminuye la corriente de arranque del motor y aumenta el par de arranque del mismo. Para este fin --

los motores de anillos disponen de un reóstato de arranque (Fig. 2.22) unido con el devanado del rotor mediante escobillas puestas sobre los anillos colectores. Al poner en marcha el motor, se incluye la resistencia total del reóstato (esta posición se muestra en la Fig. 2.22). A medida que vaya aumentando la velocidad de rotación del rotor, la resistencia del reóstato se disminuye gradualmente y, cuando, al fin, el motor alcanza su velocidad normal, la resistencia del reóstato se excluye completamente; el reóstato se pone en cortocircuito.

En algunas construcciones de motores de anillos hay un dispositivo que permite cerrar los anillos colectores y levantar las escobillas.

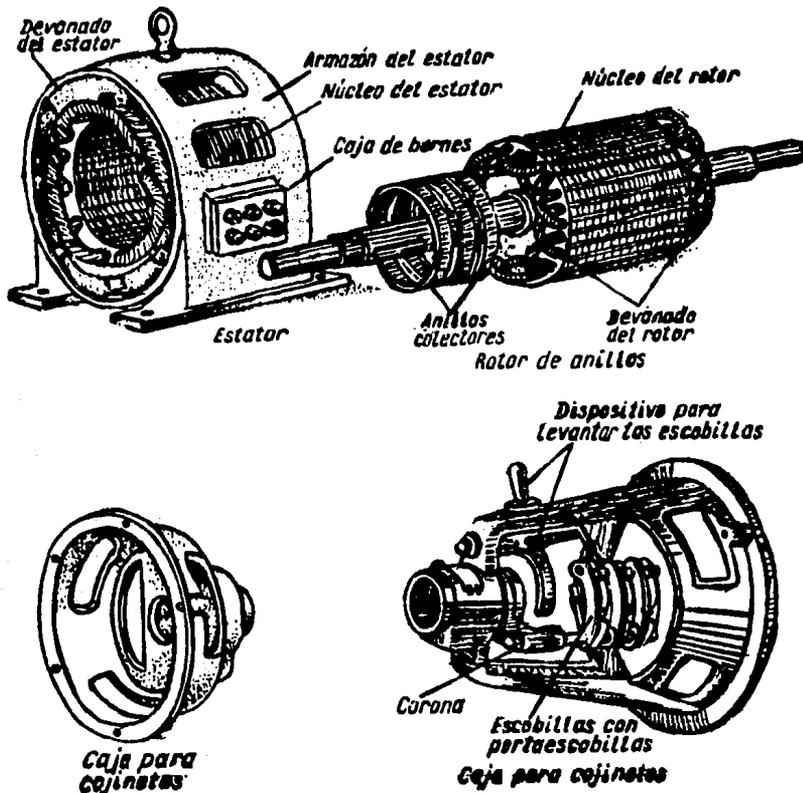


Fig. 2.21 Motor asincrónico de anillos desarmado.

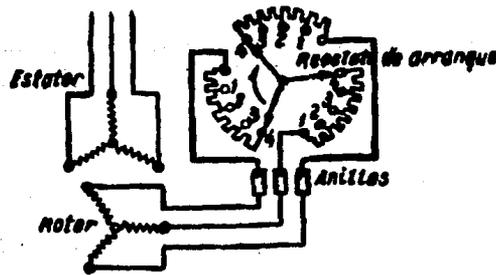


Fig. 2.22 Esquema de conexión de un rotor asincrónico de anillos con un reóstato de arranque.

Propiedades de los motores asincrónicos y su empleo.

Las ventajas de los electromotores asincrónicos con rotores en jaula de ardilla son:

- 1) Velocidad aproximadamente constante para diferentes cargas;
- 2) Posibilidad de grandes sobrecargas;
- 3) Sencillez de arranque y la posibilidad de su automatización;
- 4) Sencillez en la construcción;
- 5)  $\cos \psi$  y rendimiento más altos que en los motores de anillos.

Sus defectos son:

- 1) Dificultad en regular el número de revoluciones;
- 2) Gran corriente de arranque;
- 3)  $\cos \psi$  bajo, cuando la carga es poca;
- 4) Sensibilidad a las oscilaciones de la tensión.

Prácticamente los electromotores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla se emplean en todos los casos, cuando se necesita regular la velocidad de rotación del motor y cuando las potencias de los motores no son grandes.

Las ventajas de los electromotores asincrónicos de anillos son:

- 1) Gran par de arranque inicial;
- 2) Posibilidad de grandes sobrecargas;
- 3) Velocidad aproximadamente constante, con cargas diferentes;
- 4) Menor corriente de arranque en comparación con los motores de rotor en jaula de ardilla.
- 5) Posibilidad de utilizar dispositivos de arranque automáticos.

Inconvenientes de estos motores son:

- 1) Sensibilidad a las oscilaciones de la tensión;
- 2)  $\cos \varphi$  y rendimiento menores que en los motores con rotor en jaula de ardilla;
- 3)  $\cos \varphi$  bajo en caso de cargas pequeñas.

Prácticamente, los electromotores asincrónicos de anillos se emplean en todos los casos, cuando se necesita regulación de velocidad.

La capacidad de los motores eléctricos de soportar sobrecargas se caracteriza por la relación entre el par máximo del motor  $T_{m\acute{a}x}$  y su par nominal  $T_n$ . En dependencia de la magnitud de la potencia y de la destinación del motor,  $\frac{T_{m\acute{a}x}}{T_n}$  oscila en los límites de 1 a 3,4.

Comparación de las características de operación del motor de jaula de ardilla con el de rotor devanado.

El de Rotor Devanado tiene más alto F.P. que el de J.A. en vacío y a plena carga.

El de J.A. tiene mayor eficiencia que el R.D.

El de J.A. tiene mayor Iarranque que el R.D.

El de R.D. tiene mejor T que el J.A.

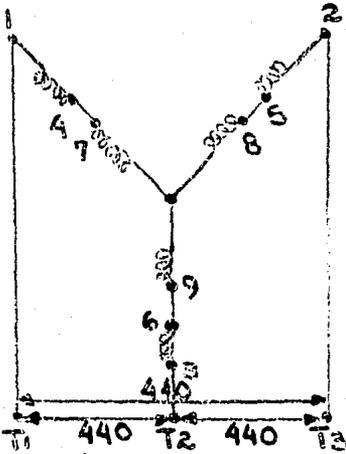
El de J.A. es más económico y requiere menos mantenimiento, es de construcción simple y es el más utilizado.

#### 2.4 CARACTERISTICAS DE PLACA DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

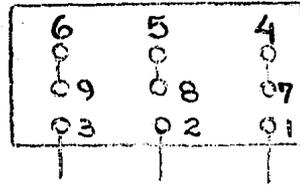
Los datos que comunmente se indican en la placa de fábrica de un motor de Inducción en Jaula de Ardilla o Rotor Devanado, son los sig:

- 1.- Nombre o marca registrada del fabricante.
- 2.- Modelo o tipo y designación del armazón.
- 3.- Potencia en K.W., C.P. y H.P. = CAV.
- 4.- Tensión nominal en Volts, puede ser a 1,2 ó más voltajes: En el caso del rotor devanado, existe del primario y secundario.
- 5.- Corriente a plena carga en amperes.
- 6.- Frecuencia en Hertz o c.p.s. y son de 50 y 60
- 7.- Monofásico o trifásico.
- 8.- Diagrama de conexiones, este está de acuerdo al voltaje.
- 9.- Letra de clave para Kilovolts-Amperes a rotor bloqueado por caballos de potencia, están de acuerdo con la Tabla 2.3. Este código de letra debe ser usado, para determinar las protecciones de sobre corriente del alambrado del circuito.

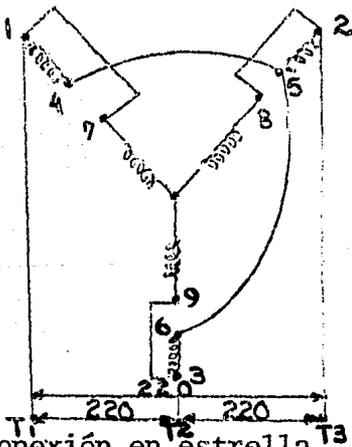
FIG. 2.23



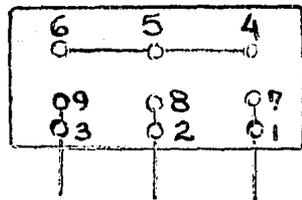
Conexión en estrella para alto voltaje.



440 volts conectado en estrella.



Conexión en estrella para bajo voltaje



Conexiones en estrella para 220 -- Volts.

Conexión en estrella para alto voltaje, conectar.

L1 a T1    T4 a T7  
 L2 a T2    T5 a T8  
 L3 a T3    T6 a T9

Conexión Delta-serie para alto voltaje, conectar

L1 a T1    T4 a T7  
 L2 a T2    T5 a T8  
 L3 a T3    T6 a T9

Conexión en estrella, dos circuitos para bajo voltaje, conectar.

L1 a T1    T1 a T7  
 L2 a T2    T2 a T8    T4 a T5 y T6  
 L3 a T3    T3 a T9

Conexión Delta, dos circuitos para bajo voltaje, conectar.

L1 a T1    T6 a T7  
 L2 a T2    T4 a T8  
 L3 a T3    T5 a T9

TABLA 2.3

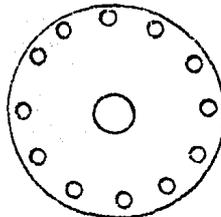
LETRA CLAVE	Kilovolt-Amperes por H.P. A Rotor Bloqueado.
A	0 - 3.14
B	3.15 - 3.54
C	3.55 - 3.99
D	4.0 - 4.49
E	4.5 - 4.99
F	5.0 - 5.59
G	5.6 - 6.29
H	6.3 - 7.09
J	7.1 - 7.99
K	8.0 - 8.99
L	9.0 - 9.99
M	10.0 - 11.19
N	11.2 - 12.49
P	12.5 - 13.99

R	.....	14.0	-	15.99
S	.....	16.0	-	17.99
T	.....	18.0	-	19.99
U	.....	20.0	-	22.39
V	.....	22.4	-	and up

Motor de Inducción con Letra "A" del código.

Este tipo de motor tiene un rotor de alta resistencia, con barras pequeñas, lo que le da un par de arranque elevado y una corriente, también de arranque, pequeña.

FIG. 2.24a

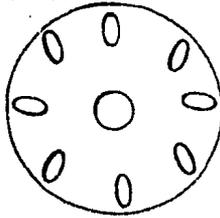


Se usa un motor en jaula de ardilla con este tipo de rotor, en aplicaciones, cuando se requiere paradas y arranques intermitentes, como cizallas mecánicas, prensas-troqueladoras y en las operaciones de estiramiento de metales. Nunca se usa en aplicaciones en las que se emplee velocidad constante porque su eficiencia es baja y su porcentaje de deslizamiento elevado.

Motor de inducción con letras " B-E".

Este tipo de rotor, la onda de corriente de arranque está limitada por la elevada reactancia del devanado de la jaula de ardilla. Las barras del rotor se colocan en profundas ranuras angostas en las que aquéllas quedan totalmente encerradas, y tienen una elevada reactancia y baja resistencia, lo que le permite tener una corriente de arranque relativamente baja y solamente un par regular.

FIG. 2.24b

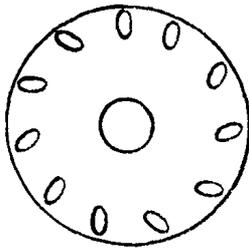


Los motores con este tipo de rotores se usan para grupos de motor-generador, ventiladores, abanicos, bombas centrífugas y otras aplicaciones en las que conviene disminuir la onda de corriente de arranque, pero en las que no se requiere fuerte par de arranque.

Motor de inducción con letras "F - V"

Este tipo de motor tiene resistencia relativamente baja y rotor de baja resistencia y baja reactancia inductiva, lo que da por resultado elevada corriente de arranque y solamente regular par de arranque.

FIG. 2.24c



Aplicaciones:

Este motor se usa en grupo de motor-generador, abanicos ventiladores, bombas centrífugas, o donde no se requiere un par de arranque elevado.

## 10.- Letra de diseño eléctrico para motores.

El artículo MG 1-1.16 de junio de 1978, de las normas NEMA nos dice:

Los motores polifásicos de A.C. son de los tipos Jaula de ardilla, rotor devanado o sincronos.

Diseño de letra de los motores polifásicos de -- Jaula de Ardilla.

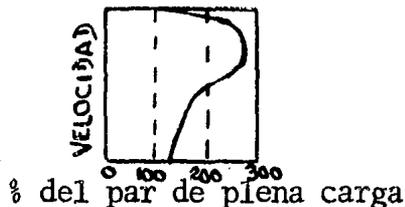
Los motores polifásicos de Jaula de Ardilla pueden ser uno de los sig.:

Un motor diseño A es un motor Jaula de Ardilla - diseñado para soportar un arranque a tensión completa.

Aplicaciones generales:

Cociente normal de arranque, de 5 a 7 veces la nominal; los de más de 7 1/2CV, con tensión de arranque - reducida; par normal de arranque alrededor del 150% del régimen; clasificación: letras del NEC. de F a R y representan una corriente de 5 a 14 veces la nominal.

FIG. 2.25a



Aplicaciones:

Máquinas herramientas, bombas centrífugas, grupos motor-generator, ventiladores, aspiradores, equipos - que requieren un par de arranque bajo.

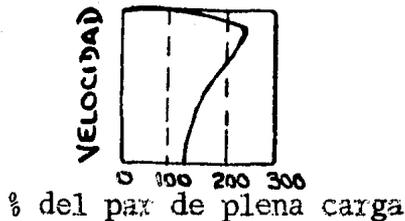
Un motor diseño B es un motor Jaula de Ardilla -

diseñado para soportar un arranque a tensión completa.

Aplicaciones generales:

Alta reactancia; corriente de arranque reducida 4 1/2 a 5 veces la nominal; arranque a plena tensión; par normal de arranque, a 50% del nominal; clasificación: letras del NEC. de B a E y representa una corriente de 3.1- a 5 veces la nominal.

FIG. 2.25b

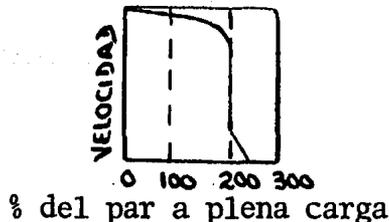


NOTA: Muchos fabricantes hacen sólo motores de clase B de más de 5 CV.

Un motor diseño C es un motor doble Jaula de Ardilla diseñado para soportar un arranque a tensión completa.

Tiene baja corriente de arranque, 4.5 a 5 veces la nominal; arranque a plena tensión; elevado par de arranque, 225% del nominal; clasificación: letras del NEC. de B a E.

FIG. 2.25c



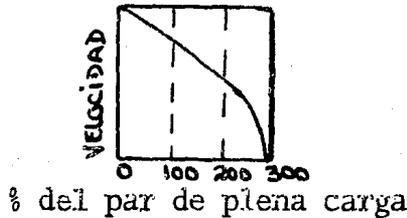
Aplicaciones:

Bombas de movimiento alternativo, trituradoras, mezcladoras, compresores de aire, transportadores que arrancan con carga, grandes máquinas refrigerantes, equipos que requieren un gran par de arranque.

Un motor diseño D:

Tiene alta resistencia, baja corriente de arranque; arranque a plena tensión; elevado par de arranque, -- 275% del nominal.

FIG. 2.25d

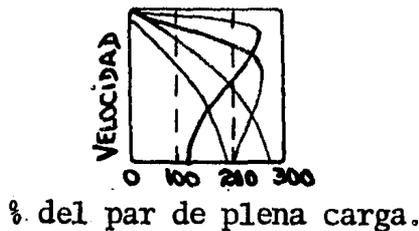


Aplicaciones:

Prensas de embutir, guillotinas, martinets, -- pequeñas grúas, máquinas con volante, máquinas de estirar metales, centrifugas de azucareras.

Un motor de Rotor Bobinado tiene resistencia -- en el circuito del rotor para obtener un gran par de -- -- arranque con poca intensidad de corriente.

FIG. 2.25e



## Aplicaciones:

Ascensores, grúas, cabrestantes, laminadores, - palas eléctricas, cargadores de carbón y de mineral, grupos motor-generator con volante.

### 11.- Factor de servicio.

Es un factor que aplicado a la potencia nominal indica la sobrecarga continua máxima permisible que puede soportar el motor sin que exceda los límites de temperatura del aislamiento especificado en placa.

El F.S. varía de 1 a 1,35 y nos indica lo siguiente: En el caso de un motor que tenga un F.S. de 1.00 y está instalado en un lugar cuyo temperatura ambiente no sea superior a los 40°C, se puede hacer que trabaje continuamente y sin peligro a su potencia indicada. Pero si el F.S. es, por ejemplo, de 1,15, se puede utilizar a 1,15 veces su potencia, bajo las mismas condiciones anteriores. Si queremos saber a cuantos caballos se puede hacer trabajar el motor, se multiplica el F.S. por el número de caballos que figuren en la placa.

La mayoría de los motores abiertos de más de 1-CV, tiene un F.S. de 1,15; en los pequeños de fracción de caballo, suele ser de 1,25 y en algunos llega hasta 1,35. Cuando la temperatura ambiente excede de los 40°C, no conviene utilizar los motores a plena carga.

### 12.- Tiempo de Operación.

Puede ser de Servicio Continuo o no Continuo.

En el S.C. pueden trabajar tiempo indefinido sin que les afecte, y en el otro no.

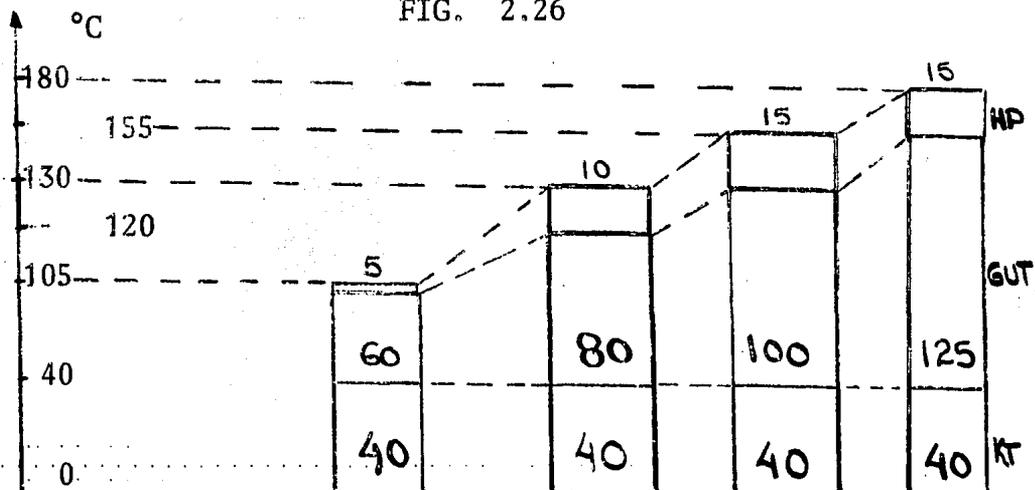
### 13.- Clase de Aislamiento.

En las normas, se han clasificado los materiales

aislantes incluyendo sus medios impregnantes, etc., en - - clases de aislamiento, habiéndose fijado para los mismos - las correspondientes temperaturas exactas.

La temperatura máxima permanentemente admisible de los diferentes materiales aislantes se compone, como -- queda representado en la Fig. 2.26.

FIG. 2.26



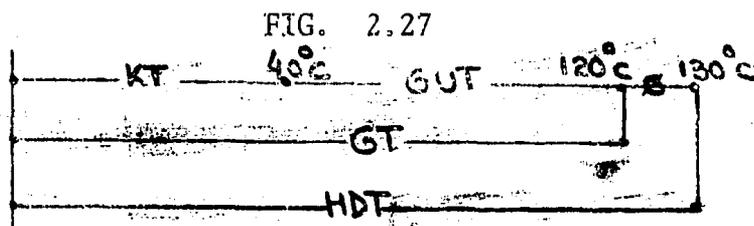
Clase de aislamiento	A	B	F	H
Colectores, anillos rozantes	60	80	80	80
Cojinetes de rodamientos y de deslizamiento	50	50	50	50
Cojinete de rodamiento con grasas especiales.	60	60	60	60

Sobret temperatura límite en grados.

KT = Temperatura del medio refrigerante en °C  
 GUT= Sobretemperatura límite (calentamiento) en grados  
 Hp= Suplemento de seguridad para el punto más caliente en grados.

De la temperatura del medio ambiente, de la sobretemperatura límite y de un suplemento de seguridad. Este último suplemento se ha introducido porque, aplicando el método de medida usual, o sea la elevación de la resistencia del devanado, no se determina la temperatura en el punto más caliente, sino que se mide el valor medio -- del calentamiento. Las indicaciones de potencia de los motores están basadas en una temperatura del medio ambiente de 40°C para todas las clases de aislamiento.

En el caso del aislamiento B, tenemos:



KT= Temperatura del medio refrigerante 40°C

GUT= Sobretemperatura límite 80°C

GT= Temperatura límite 120°C

S= Suplemento de seguridad 10°C

HDT= Temperatura máxima permanentemente admisible 130°C

Las sobretemperaturas límite de los colectores, anillos rozantes y cojinetes, rigen para medida por termómetro, contrariamente a como sucede con las sobretemperaturas límite de los devanados.

Además de la división de los materiales aislantes según su resistencia térmica formando clases de materiales aislantes, el aislamiento se subdivide según su --

resistencia frente a las influencias exteriores. Así resultan los tipo de aislamientos.

14.- Velocidad a plena carga en U/min=GIRI=R.P.M.

15.- Número de Autorización de la S.I.C.- D.G.E.

Secretaría de Industria y Comercio.- Dirección General de Electricidad.

16.- La leyenda hecho en México o indicación del país de origen.

Algunos ejemplos de placas de diferentes marcas

TABLA 2.4

S I E M E N S			220 V.		
Motor Eléctrico trifásico cerrado					
Diseño NEMA B, Aislamiento Clase B					
Tipo 1LA2 061-8YK30	Arm.	1821.	7	8	9
Serie 515040B	C.P.	1			
	50 c.p.s.	60 c.p.s.	L1	L2	L3
R.P.M.	710	850			
VOLTS	220/440	220/440	440 V.		
AMPS.	4.1/2.1	3.6/1.8			
TEMP.	75°C	65°C	7	8	9
AUT. SIC-DGE No.	3303				
HECHO EN MEXICO PO	SIEMENS, S.A.		L1	L2	L3
GUADALAJARA, JAL.					

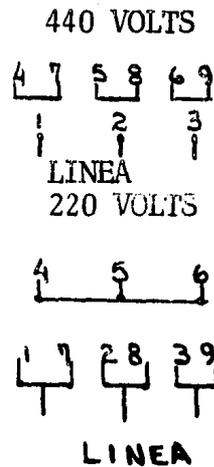


**Modelo**

8 8 polos  
 114 Motor 3 Ø, para usos generales.  
 062 Tamaño NEMA  
 ARM.184T por tamaño NEMA  
 ROD. Rodamiento 6205ZZF  
 No. de modelo.  
 SNM. Sobre el nivel del mar.

TABLA 2.6

	A	S	E	A	
MOTOR 3	50/60	Hz	Nr	3 - 260	
TIPO M.M	112	MA-4	52	KG.	
3,0	HP	CLASE E	CEI		
50HZ	440/220 V.	60HZ	440/220 V		
	5,3/10,6 A		5,1/10,2 V		
	1430 RPM		1720 RPM.		



P. No. 1-16 SIC-DGE 721 HECHO EN MEXICO.

Tecnología SUECA

Nr 3-B60

No. de Pedido

Tipo

MM

Motores de México

112

La distancia del centro de la -  
 flecha a la base del motor.

MA

Tamaño del motor

-4

No. de polos.

CLASE E CEI

CLASE E

CEI

52KG.

De motores de Jaula de Ardilla.  
Comisión Electrotécnica Internacio  
nal.  
Peso de la Unidad.

## 2.5 CONCLUSION

La teoría que contiene este capítulo será útil para la aplicación del diagrama circular, discernir sobre las alternativas de solución y seleccionar adecuadamente los motores de inducción.

Estos dos temas serán tratados en capítulos - - posteriores.

## C A P I T U L O   I I I

### DIAGRAMA CIRCULAR.

### 3.1 TEORIA DEL DIAGRAMA CIRCULAR

El Diagrama Circular nos es útil para mostrar en un solo diagrama todas las relaciones entre fems, corrientes, entrada y salida de potencia, par motor, velocidad, factor de potencia y rendimiento con una exactitud suficiente para la mayoría de los fines prácticos.

Refiriéndonos a la figura 3.1, el lugar geométrico del vector corriente del primario  $OC=I_1$ , es un círculo que tiene de diámetro  $AB= V_1/(X_1+X_2e)$ . El punto A define la magnitud y la posición de fase de la corriente en vacío  $OA=I_0$  y corresponde a la velocidad de sincronismo ( $s=0$ ) cuando la resistencia de carga ficticia  $R_2e(1-s)/s$  es infinita.  $s$  es el punto de reposo ( $s=1$ ) y corresponde a las condiciones de corto circuito con tensión total aplicada al primario.

Cuando la carga es tal que  $I_1$  tiene un valor general  $OC$ , la potencia de entrada al motor por fase es proporcional a la componente en fase de la corriente  $CD$ .

De la misma forma  $GD$ , que es la componente en fase de la corriente en vacío  $OA$ , es proporcional a las pérdidas prácticamente constantes, formadas por las pérdidas en el núcleo y las debidas a resistencias pasivas, de lo que se deduce que la diferencia  $CG$  entre la potencia de entrada  $CD$  y las pérdidas constantes  $GD$ , representa la salida de potencia más las pérdidas en el cobre de los devanados del estator y del rotor.

En reposo y a tensión plena, la entrada de potencia por fase  $SM$  se consume en las pérdidas en el núcleo y en el cobre, de lo que se deduce que  $SL$  son las pérdidas en el cobre en reposo.

De los triángulos semejantes  $AEG$  y  $ASL$  se deduce que:

$$\frac{EG}{SL} = \frac{AG}{AL} = \frac{AC \operatorname{Sen}\theta_2}{AS \operatorname{Sen}\theta_2} \quad \text{viéndose asimismo que } \begin{matrix} AC = AB \operatorname{Sen}\theta_2 \\ AS = AB \operatorname{Sen}\theta_2 \end{matrix}$$

De la que  $\frac{\operatorname{Sen}\theta_2}{\operatorname{Sen}\theta_2} = \frac{AC}{AS}$  de donde  $\frac{EG}{SL} = \frac{(AC)^2}{(AS)^2} = \frac{I_2 e^2}{I_s^2} =$

$$\frac{I_2 e^2 (R_1 + R_2 e)}{I_s^2 (R_1 + R_2 e)}$$

llegándose a la conclusión de que si SL a escala de potencia son las pérdidas en el cobre en reposo cuando la corriente es  $I_s$ ; la línea EG son las pérdidas en el cobre cuando la corriente es AC.

Si dividimos SL en el punto K en 2 partes SK y KL, proporcionales respectivamente a  $R_2 e$  y  $R_1$ , debe deducirse necesariamente que para cualquier corriente general  $I_2 e = AC$ , las pérdidas en el cobre del secundario  $I_2 e^2 R_2 e$  se representan por EF mientras que las pérdidas en el cobre del primario  $I_2 e^2 R_1$  lo son por FG.

Así pues CE debe representar la salida de potencia mecánica por fase. Por lo tanto, la línea AS que es lugar geométrico de todos los puntos como E, recibe el nombre de línea de potencia de salida.

El par es proporcional a la entrada de potencia eléctrica al secundario CF. El lugar geométrico de los puntos F a medida que el punto C se mueve alrededor del círculo, es la línea AK, que por tanto recibe el nombre de línea del par motor.

La figura 3.2 sirve para determinar gráficamente, el deslizamiento, el rendimiento y el factor de potencia.

Las líneas verticales AQ y O'Y se han trazado de la siguiente forma:

La primera por el punto en vacío A y la segunda por el punto 0' donde la línea AS prolongada corta el eje de referencia.

Desde cualquier punto conveniente P sobre la - - línea de rendimiento, se traza PQ paralela a la línea del par motor y PY se traza paralela al eje de referencia; entonces, PQ y PY se dividen en 100 partes iguales. La línea AC que es la corriente del secundario correspondiente al punto de carga C se prolonga hasta que corte a QP en R.

De la misma forma se prolonga 0'C hasta que corte a Py en X. Así pues, ahora demostraremos que QR es el por ciento de deslizamiento y PX el porcentaje de rendimiento.

Para demostrar que QR es una medida del deslizamiento, observemos que CFA y AQR son triángulos semejantes por lo tanto  $CF/FA = AQ/QR$  Y EFA.

y AQP son también triángulos semejantes, por lo que:

$EF/FA = AQ/PQ$ , dividiendo la segunda ecuación por la primera, tenemos:  $EF/CF = QR/QP$ , pero se ha demostrado que el deslizamiento es proporcional a las pérdidas en el cobre del secundario EF, divididas por el par motor CF; por tanto, QR es el deslizamiento en función de QP como unidad, o sea, el 100 por 100.

El rendimiento viene dado por la razón:

$$\frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{CE}{CD} = \frac{CD - ED}{CD} = 1 - \frac{ED}{CD}$$

Por los triángulos semejantes EDO' y O'YP, - -  
 $\frac{ED}{O'D} = \frac{OY'}{PY}$  y por los triángulos semejantes CDO' y O'YX, - -  
 $\frac{CD}{O'D} = \frac{O'Y}{XY}$  de donde por división  $\frac{ED}{CD} = \frac{XY}{PY}$  o sea, rendimiento

igual a  $\frac{CE}{CD} = \frac{PX}{PY}$

El factor de potencia se halla mediante el trazado de un cuadrante de círculo con centro en O y un radio igual a 100 unidades arbitrarias. Al prolongar el vector corriente del primario OC hasta que corte a dicho cuadrante en el punto Z y proyectando Z sobre la escala vertical, quedará determinado el factor de potencia.

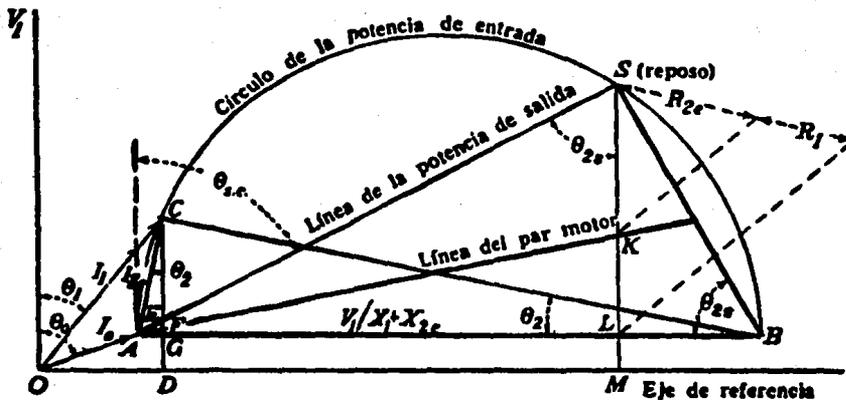


Fig. 3.1 Diagrama circular: potencia de entrada, de salida y par motor.

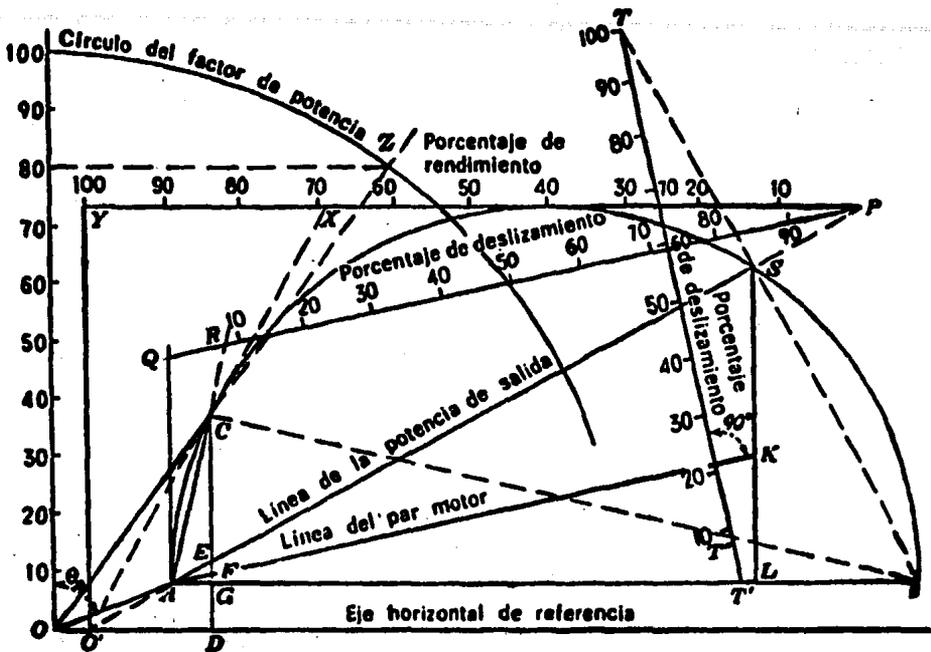


Fig. 3.2 Diagrama circular: deslizamiento, rendimiento y factor de potencia.

Determinación del diagrama circular mediante ensayos en vacío.

Los datos necesarios para la construcción del diagrama circular se obtienen fácilmente de los dos ensayos en vacío que se describen a continuación y que son análogos en su naturaleza a los ensayos de circuito abierto y corto circuito descritos para los transformadores fijos:

a.- Ensayo a rotor libre.

Si el motor funciona en vacío con tensión nominal aplicada al devanado de su estator, la magnitud y fase de la corriente en el primario definirá prácticamente la posición del punto A.

Así si las lecturas en vacío de tensión, corriente y potencia todas ellas reducidas a valores por fase, son  $V$ ,  $I_0$  y  $P_0$ , respectivamente, la posición de fase de  $I_0$  quedará determinada por la relación  $\cos\theta = P_0/V - I_0$ . Ec. 3.1.

La potencia total de entrada cuando el motor funciona sin carga se consume en la alimentación de las siguientes pérdidas:

- 1.- Pérdidas en el cobre del devanado del estator
- 2.- Pérdidas en el núcleo en el hierro del estator
- 3.- Pérdidas de histéresis en el núcleo del rotor
- 4.- Pérdidas por cojinetes y resistencias pasivas.

b.- Ensayo con rotor fijo o bloqueado.

Sabemos que en reposo ( $S=1$ ) las condiciones son iguales a las de un transformador en corto circuito, por lo que si el rotor está bloqueado para impedir la rotación es posible que circule corriente de plena carga o aún mayor tanto en el estator como en el rotor mediante la aplicación de una tensión reducida sobre el estator. Variando la tensión aplicada dentro de una escala suficiente y tomando lecturas simultáneamente de la corriente del primario y de la potencia de entrada podemos determinar la posición del punto S, como sigue:

$$I_s = I_s' \frac{V}{V'} \quad \text{EC. 3.2}$$

$I_s$  = La intensidad/fase que correspondería si se aplicara  $V$  a rotor bloqueado.

$I_s'$  = La intensidad/fase que circula al aplicar ( $V'$ ) a rotor bloqueado.

$V$  = Tensión/fase nominal del motor

$v'$  = Tensión/fase que hace  $I_s' = I$  nominal a rotor bloqueado.

$P_s$  = Potencia/fase

Para la conexión estrella  $V_f = V_L/\sqrt{3}$ ;  $I_f = I_L$  Esc. 3.3

Para la conexión delta  $V_f = V_L$ ;  $I_f = I_L/\sqrt{3}$  Esc. 3.4

Como sabemos que el centro del círculo se encuentra sobre la línea AB trazada perpendicular a  $V'$ , solo será necesario prolongar la bisectriz de la cuerda AS hasta que corte a la línea AB, con lo que quedará determinado el centro del círculo H.

Si el ensayo en reposo se efectúa con un valor suficientemente bajo de la tensión aplicada, el flujo será proporcionalmente pequeño y las pérdidas en el núcleo serán despreciables. Al no existir pérdidas debidas a las resistencias pasivas, puede considerarse que la potencia total se consume en las pérdidas en el cobre. Por tanto si las lecturas simultáneas de la tensión corriente y potencia, todas ellas reducidas a valores por fase, son  $V_s$ ,  $I_s$  y  $P_s$ , respectivamente, según el circuito equivalente aproximado, se deduce que:  $P_s = I_s'^2 (R_1 + R_2e)$ . Esc. 3.5 de donde puede hallarse  $R_2e$  puesto que  $R_1$  puede medirse por corriente continua.

#### MEDICION DE LAS RESISTENCIAS DE LOS DEVANADOS DE UN MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO.

Por medio de un puente de Kelvin o Wheatstone podemos medir las resistencias óhmicas de los devanados de los motores de inducción trifásicos de la siguiente manera:

Si la conexión es estrella, la resistencia por fase será  $1/2$  de la medida entre dos terminales.

Si la conexión es delta, la resistencia por fase será  $3/2$  de la medida entre dos terminales.

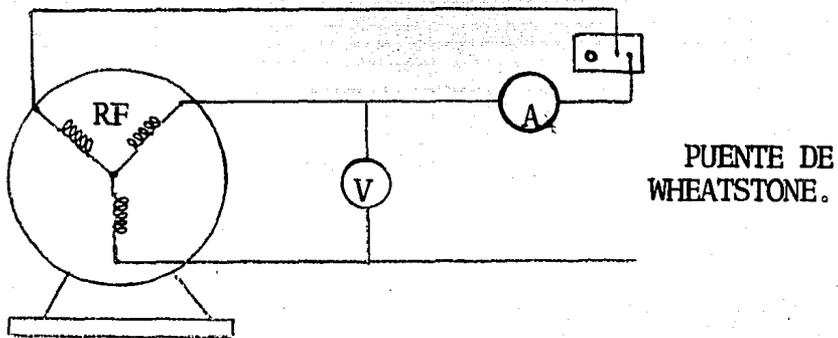


Fig. 3.3

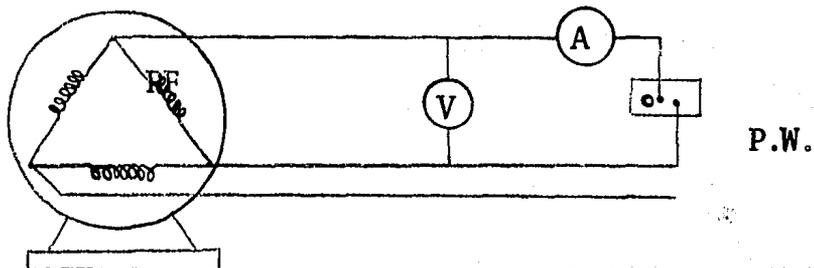


Fig. 3.4

### 3.2 PRUEBAS A LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

Para la construcción del diagrama circular es necesario efectuar las siguientes pruebas a los motores.

- 1.- Prueba en vacío
- 2.- Prueba con carga
- 3.- Prueba a rotor bloqueado

1.- Prueba en vacío.- Ponemos a funcionar el motor sin carga y tenemos las siguientes lecturas;  $P_o^*$ ,  $V^*$ ,  $I_o^*$ .

Con esto podemos localizar el punto A del diagrama circular ya que  $\cos \theta_o = P_o / VI_o$ .

#### INSTRUMENTOS Y EQUIPO UTILIZADO

- 1 Voltímetro de c.a.
- 1 Amperímetro de c.a.
- 1 Wáttmetro trifásico
- 1 Pinzas
- 1 Desarmador
- 1 Fuente de alimentación
- cinta aislante
- motor de inducción
- cable para conectar

2.- Prueba con carga.- En esta prueba ponemos a funcionar el motor como normalmente lo hace y medimos  $V^*$ ,  $I^*$  Y  $P^*$ . Con esta prueba determinamos el punto C del diagrama circular ya que  $\cos \theta = P / VI$ . Los instrumentos y equipo utilizados, así como las conexiones, son las mismas que las de las pruebas en vacío.

\* Todos los valores por fase.

# DIAGRAMA DE CONEXIONES

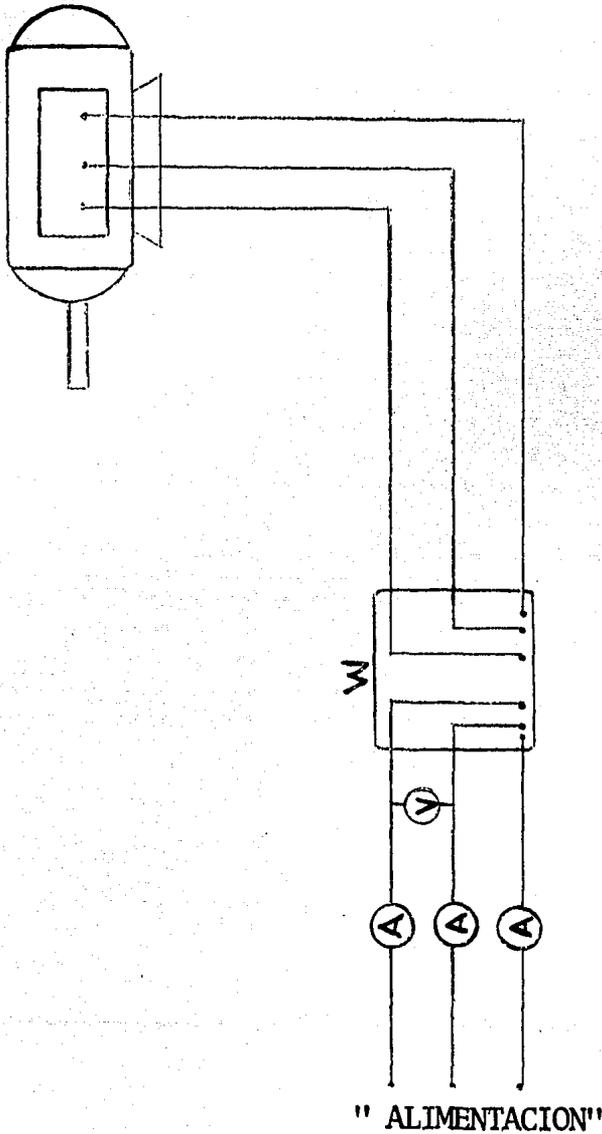


Fig. 3.5 Prueba en vacío.

3.- Prueba a rotor bloqueado.- Esta prueba consiste en hacer mediciones de  $P_s$ ,  $v'$ ,  $I_s'$  cuando el rotor está alimentado con un cierto porcentaje de voltaje nominal y bloqueado, o sea, a rotor parado.

Cortocircuitamos el devanado del rotor y lo bloqueamos para impedir que rote. Alimentamos el motor con una fuente variable de voltaje empezando desde cero volts y después se va variando el voltaje de alimentación hasta que alcancemos el valor de la corriente de corto circuito igual al valor nominal de la corriente. En este punto, -- tomamos lecturas de todos los instrumentos.

Con esto vamos a determinar la corriente de corto circuito que fluiría si se bloqueara el rotor y alimentáramos el motor a la tensión nominal, de la siguiente manera:

$$I_s = I_s' \cdot V/v'$$

$I_s$  = corriente/fase a rotor bloqueado con  $V$   
 $I_s'$  = corriente/fase a rotor bloqueado con  $v'$

$$\cos\theta = \frac{P_s}{VI_s}$$

$V$  = voltaje /fase nominal  
 $v'$  = voltaje/fase de alimentación.

con esto determinamos el punto S.

#### INSTRUMENTOS Y EQUIPO UTILIZADO

- 1 Voltímetro de c.a.
- 1 Amperímetro de c.á.
- 1 Wáttmetro trifásico
- 1 Pinzas
- 1 Desarmador
- 1 Fuente de voltaje variable
- cinta aislante
- cable para conectar
- Motor de inducción.

# DIAGRAMA DE CONEXION

BLOQUEADA DE CUALQUIER  
FORMA Y CON SEGURIDAD.

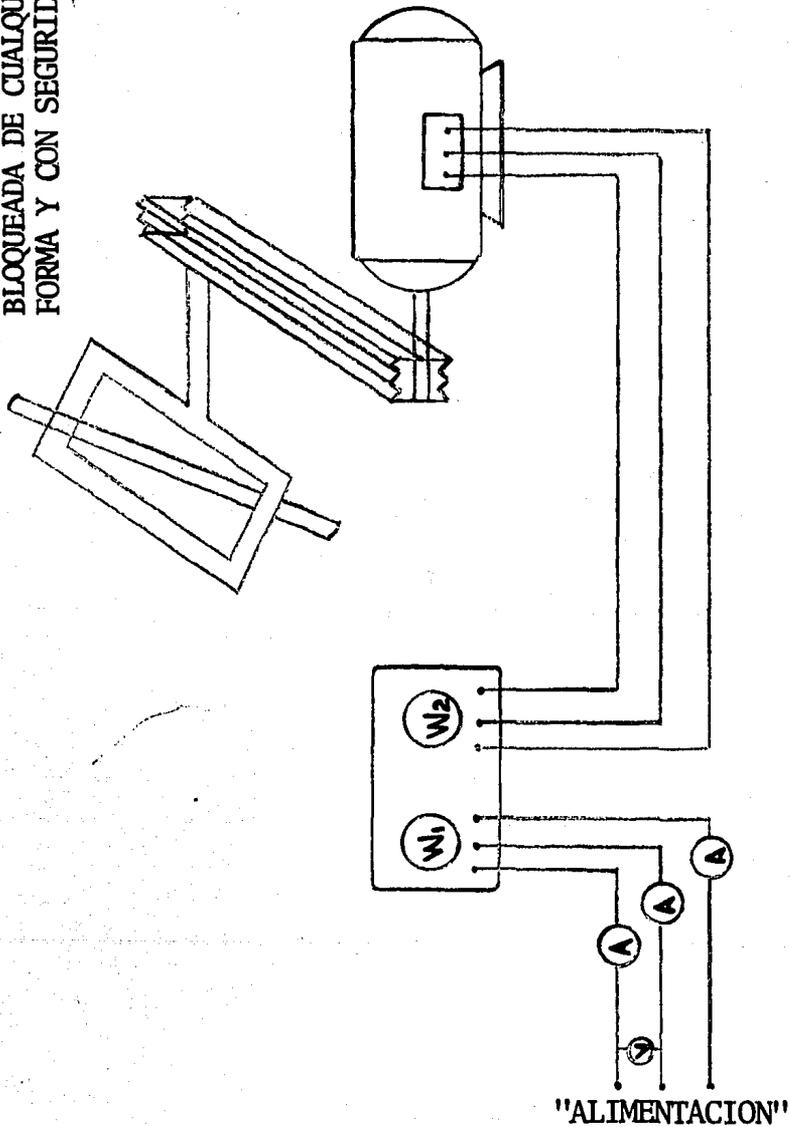


Fig. 3.6 Ensayo a rotor bloqueado para determinar el Diagrama Circular

**DATOS PARA LA CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA  
CIRCULAR**

### MOTOR 125.

Motor de inducción, jaula de ardilla, 3HP ó 2.23KW., diseño B, conexión Y.

Prueba con carga:

VL= 500 Volts, If=5.25 amperes, P=2.273 KW. FP=0.50,  $\theta=60^\circ$

Prueba en vacío:

VL=460 Volts, If=4.3 amperes, P=0.25 KW. FP=0.07,  $\theta=86^\circ$

Prueba a rotor bloqueado:

VL= 440 Volts,  $v'=143$  volts, Is'=15.7 amperes, Ps=1.76 KW.

Is= Is' V/v' = 15.7 440/143 = 48.3 amperes

Escala:

1 centímetro	--	1.5	amperes	
3.5 cm.	-	5.25	amperes	$\theta = 60^\circ$
2.86cm.	-	4.3	amperes	$\theta = 86^\circ$
32.2 cm.	-	48.3	amperes	$\theta = 63^\circ$

Resistencias por fase:

R1= 1.8811

Ps=Is'<sup>2</sup> (R1+R2e)

R2e= Ps/3Is'<sup>2</sup>-R1 = 1760/3(15.7)<sup>2</sup>-1.88= 0.50 ohms

Rt = R1+R2e= 1.88+0.50 = 2.38 ohms

2.38 ohms - 100%

0.50 ohms - X1 %      X1= .21 = 21.0%

2.38 ohms - 100%

1.88 ohms - X2 %      X2= .79 = 79%

SL= 14.5 cm.

14.5 cm. - 100  
X3' - 79 X3 = 3.04 cm.

R2e = 3.04 cm.

R1 = 14.5 - 3.04 = 11.45 cm.

### MOTOR 143

Motor de inducción, jaula de ardilla, diseño B, SHP ó  
3.73 KW., conexión Y.

Prueba en vacío:

V<sub>L</sub>=495 V, I<sub>f</sub>=5 Amp, P=0.45 KW.

FP= 0.10, θ=84°

Prueba con carga:

V<sub>L</sub>=480 V, I<sub>f</sub>=5.2 Amp, P=1.262 KW.

FP= 0.292, θ=73°

Prueba a rotor bloqueado:

V<sub>L</sub>= 460 V, v'= 150 V, I<sub>s</sub>'=9 Amp.

P<sub>s</sub>=0.61 KW, FP=0.26, θ = 75°

I<sub>s</sub>=I<sub>s</sub>' V/v' = 9 460/150= 27.6 amp.

Escala:

1	cm.	-	1	amp.	
5	cm.	-	5	amp.	, θ=84°
27.6	cm.	-	27.6	amp.	, θ=75°
5.2	cm.	-	5.2	amp.	θ=73°

Resistencias por fase:

R1=1.93 ohms

$$P_s = I_s'^2 (R_1 + R_{2e})$$

$$R_{2e} = P_s / 3 I_s'^2 - R_1 = 610 / 3 (9)^2 - 1.93 = 0.58 \text{ ohms}$$

$$S_L = 7.34 \text{ cm.}$$

$$R_t = R_1 + R_{2e} = 1.93 + 0.58 = 2.51 \text{ ohms}$$

$$2.51 \text{ ohms} - 100 \%$$

$$0.58 \text{ ohms} - X_1 \quad \% \quad X_1 = 23.0 \%$$

$$7.34 \text{ cm.} - 100 \quad \% \quad X_2 = 1.68 \text{ cm.}$$

$$X_2 \quad \quad \quad - 23\%$$

$$R_{2e} = 1.68 \text{ cm.}$$

$$R_1 = 7.34 - 1.68 = 5.65 \text{ cm.}$$

### MOTOR 108

Motor de inducción, rotor devanado, 5HP ó 3.73 KW, co---  
nexión Y.

Prueba con carga:

$$V_L = 130 \text{ V, } I_f = 4.7 \text{ amp.}, P = 0.73 \text{ KW}$$

$$FP = 0.69, \theta = 46.37^\circ$$

Prueba a rotor bloqueado:

$$V_L = 220 \text{ V, } v' = 125 \text{ V, } I_s' = 14.5 \text{ amp. } P_s = 0.891 \text{ KW.}$$

$$FP = 0.28, \theta = 73.7^\circ$$

$$I_s = I_s' V / v' = 14.5 \quad 220 / 125 = 25.52 \text{ Amp.}$$

Escala :

$$1 \text{ cm.} - 1 \text{ amp.}$$

$$4.7 \text{ cm.} - 4.7 \text{ amp} \quad \theta = 46.37^\circ$$

$$3 \text{ cm.} - 3 \text{ amp} \quad \theta = 78.4^\circ$$

$$25.52 \text{ cm.} - 25.52 \text{ amp} \quad \theta = 73.7^\circ$$

Resistencias por fase:

$$R1 = 0.46 \text{ ohms}$$

$$Vr = 39.80 \text{ V}$$

$$Ve = 125 \text{ V}$$

$$A = Ve/Vr = 3.14$$

$$R2e = 0.68 \text{ ohms } (3.14)^2 = 6.7 \text{ ohms}$$

$$R2 = 0.68 \text{ ohms}$$

$$Rt = 6.7 + 0.46 = 7.16 \text{ ohms}$$

$$SL = 7 \text{ cm.}$$

$$7.16 - 100\%$$

$$6.7 - X1 \% \quad X1 = 93\%$$

$$7 - 100\%$$

$$X2 - 93 \% \quad X2 = 6.51 \text{ cm.}$$

$$R2e = 6.51 \text{ cm.}$$

$$R1 = 0.49 \text{ cm.}$$

Prueba en vacío:

$$VL = 220 \text{ V } If = 3 \text{ amp. } P = 0.23 \text{ KW.}$$

$$FP = 0.20 \text{ V } \theta = 78.4^\circ$$

MOTOR 80

Motor de inducción jaula de ardilla, 3HP=2.23 KW, conexión estrella.

Prueba con carga:

$$VL = 490 \text{ V } If = 3.2 \text{ amp. } P = 1.385 \text{ KW.}$$

$$FP = 0.51 \theta = 59^\circ$$

Prueba en vacío:

$$VL = 490 \text{ V, } IF = 3 \text{ amp. } P = 1 \text{ KW.}$$

$$FP = 0.39 \quad \theta = 66.8^\circ$$

Prueba a rotor bloqueado:

$$V = 490 \text{ V}, \quad v' = 80 \text{ V}, \quad Is' = 6.5 \text{ amp.} \quad Ps = 0.45 \text{ KW.}$$

$$FP = 0.40 \quad \theta = 60^\circ$$

$$Is = Is' V/v' = 6.5 \cdot 490/80 = 40 \text{ amp.}$$

Escala:

1	cm	-	1	amp.	
3.2	cm	-	3.2	amp.	$\theta = 59^\circ$
3	cm	-	3	amp.	$\theta = 66.8^\circ$
40	cm	-	40	amp.	$\theta = 60^\circ$

Resistencia por fase:

$$R1 = 1.42 \text{ ohms}$$

$$R2e = Ps/3(Is')^2 - R1 = 450/3(6.5)^2 - 1.42 = 2.13 \text{ ohms.}$$

$$Rt = 2.13 + 1.42 = 3.55 \text{ ohms} \quad SL = 20.1 \text{ cm.}$$

$$\begin{array}{l} 3.55 \quad - \quad 100\% \\ 2.13 \quad - \quad X1 \quad \% \quad \quad X1 = 60\% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 20.1 \quad - \quad 100\% \\ X2 \quad - \quad 60 \quad \quad X2 = 12.06 \text{ cm.} \end{array}$$

$$R2e = 12.06 \text{ cm.}$$

$$R1 = 20.1 - 12.06 = 8.04 \text{ cm.}$$

### **3.3 CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA CIRCULAR**







MOTOR 143

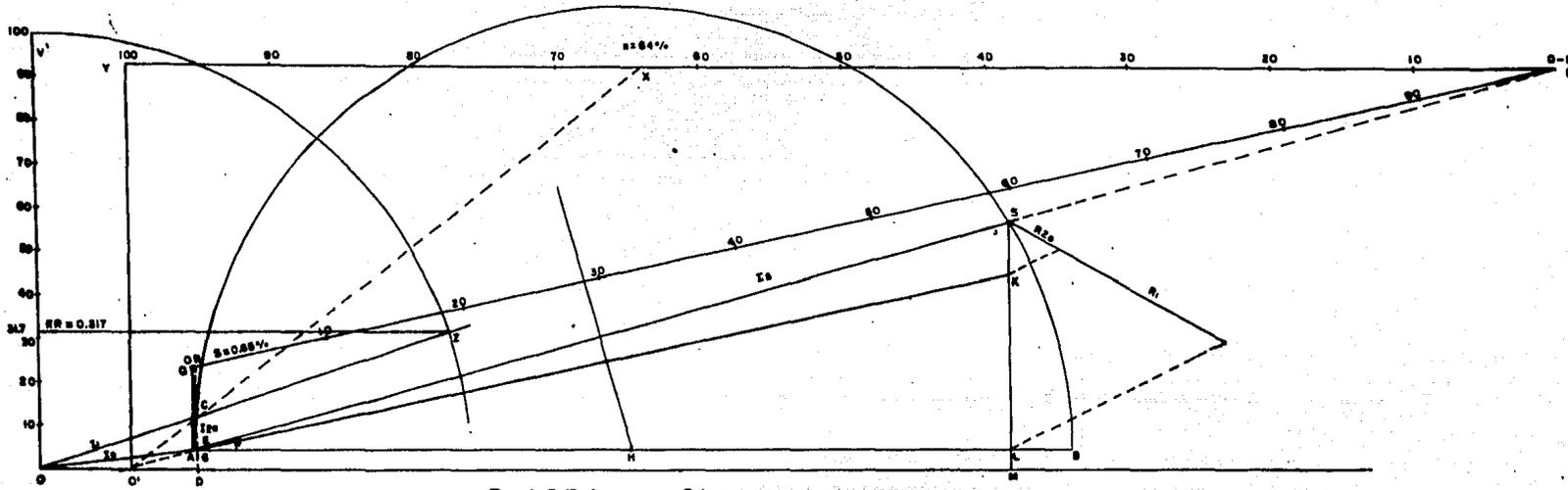


DIAGRAMA CIRCULAR

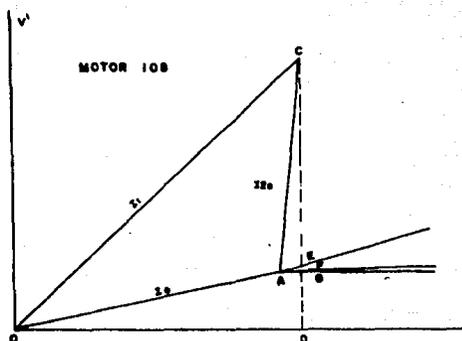
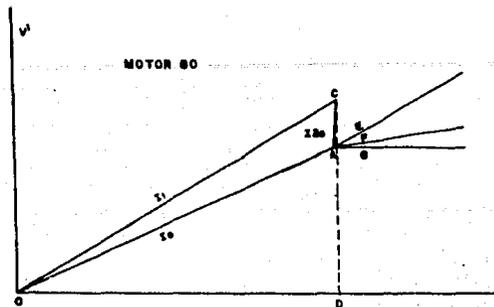
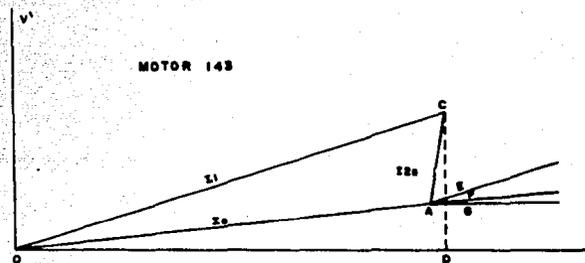
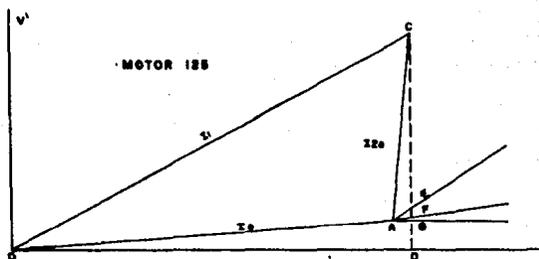


DIAGRAMA CIRCULAR  
 DETALLES DE LAS PFRDIDAS EN EL  
 NUCLEO Y LAS DEBIDAS A RESIS-  
 TENCIAS PASIVAS.



### 3.4 ANALISIS COMPARATIVO DE UN MOTOR ENTRE LAS - CONDICIONES NOMINALES Y REALES.

$N = \text{EFICIENCIA}$

#### MOTOR 125

Datos nominales:  $P_{sn} = 3\text{HP} = 2.23 \text{ KW}$ .

Datos reales:  $FP = 0.50$ ,  $N = 83.4\%$ ,  $P_e = 2.273 \text{ KW}$ .

Si la eficiencia nominal del motor es  $N = 85\%$  el motor estará trabajando a  $83.4/85 \times 100 = 98.11\%$ , de lo que realmente puede hacerlo.

Para  $N = 83.4\%$  las pérdidas son  $100 - 83.4 = 16.6\%$ .

Para  $N = 85\%$  las pérdidas son  $100 - 85 = 15\%$

$\%$  de pérdidas =  $16.6/15 \times 100 = 110.66\%$ . Las pérdidas en el motor son 1.1 veces más para  $N = 83.4\%$  que para  $N = 85\%$ . Si la máquina necesita una  $P_s = P_e(N)$ ;  $P_s = 2.273 (.834) = 1.895 \text{ KW}$ . Tenemos unas pérdidas =  $P_e - P_s = 2.273 - 1.895 = 0.378 \text{ KW}$ .

El precio del  $\text{KW/hr.} = .60\text{\$}$

costo de las pérdidas  $\text{\$} = 0.378 (.60) = .2268\text{\$/hr.}$

Para obtener una  $P_s = 1.895$  con una  $N = 85\%$  necesitamos:  $P = 1.895 / .85 = 2.229 \text{ KW}$ ; tenemos unas pérdidas =  $P_e - P_s = 2.229 - 1.895 = 0.334 \text{ KW}$ . Costo de las pérdidas  $\text{\$} = 0.334 (.60) = .2004\text{\$/hr.}$

Diferencia de pérdidas:  $0.378 - 0.334 = 0.044 \text{ KW}$ , -  
 $\text{\$ diferencia en pesos } .2268 - .2004 = .0264\text{\$/hr.}$

Estamos pagando  $.0264\text{\$/hr.}$  más cada hora que -- funciona el motor, lo que estamos pagando por potencia consumida es:  $2.273 \text{ KW} \times .60 = 1.3638\text{\$/hr.}$  con  $N = 83.4\%$ .

Si nuestra eficiencia fuera  $N = 85\%$  pagaríamos --  $2.229 (.60) = 1.3374\text{\$/hr.}$ , la diferencia es:  $1.3638 - 1.3374 = .0264\text{\$/hr.}$

El porcentaje de pago entre una y otra eficiencia es:  $1.3638/1.3374=1.01$ .

Estamos pagando 1.01 veces más por consumo de energía eléctrica para realizar un mismo trabajo.

El motor es de  $3HP=2.23$  KW. La potencia que se necesita es:  $P=1.895$  KW, por lo tanto seleccionaron un motor de  $2.23/1.895= 1.17$  veces más potente que el adecuado; lo que ocasiona que el factor de potencia y el rendimiento se reduzca resultando las pérdidas conocidas.

En un día gastamos de más 8 horas.

$.0264 \times 8 = .2112 \$/\text{día} \times 30 = 6.336 \$/\text{mes} \times 12 = \$76.03/\text{año}$ .

FP = Factor de Potencia

La potencia aparente que consume el motor de la red es:  $S1=Pe/\cos\theta= 2.273/0.50= 4.54$  KVA.

Con esa misma  $S1$  y un F.P.  $=.85$ ; la potencia útil cedida es:  $P=Scos\theta=4.54 (.85)=3.85$  KW, Si necesitamos una  $Ps= 2.273 (0.834)= 1.895$  KW.

Si la  $N$  es igual a  $.85$   $Pe=Ps/N=1.895/.85=2.229$  KW. y  $S2= Pe/FP=2.229/.85= 2.62$  KVA. Desperdiciamos  $\% S = 4.54/2.62 \times 100= 173.2\%$ . Estamos entreteniéndolo  $73.2\%$  más de energía eléctrica.

Recomendación:

Comprar un motor cercano a  $1.895$  KW y con un FP  $\geq 0.85$  y una  $N \geq 0.85$  para racionalizar la energía eléctrica.

$1.895$  KW  $= 2.53$  Hp podemos comprar un motor de  $2.5$  Hp.

## MOTOR 143

N= EFICIENCIA

Datos nominales:  $P_{sn}=5HP=3.73 \text{ KW}$ .

Datos reales:  $FP=0.29$ ,  $N=64\%$ ,  $P_e=1.262 \text{ KW}$ .

Si la eficiencia nominal del motor es  $N=85\%$  el motor estará trabajando a  $64/85 \times 100 = 75.2\%$  de lo que realmente puede hacerlo.

Para  $N=64\%$  las pérdidas son  $100-64=36\%$ , para  $N=85\%$  las pérdidas son  $100-85=15\%$ .

$\%$  pérdidas =  $36/15 \times 100 = 240\%$ . Las pérdidas en el motor son 2.4 veces más para  $N=64\%$  que para  $N=85\%$ .

Si la máquina necesita una  $P_s = P_e(N)$ ;  $P_s = 1.262 \times (.64) = 0.807 \text{ KW}$ ; tenemos unas pérdidas =  $P_e - P_s = 1.262 - 0.807 = 0.455 \text{ KW}$ .

Costo de las pérdidas:  $0.455(.60) = .273\$/\text{hr}$ . Para obtener una  $P_s = .807$  con una  $N=85\%$  necesitamos  $P_e = .807 / .85 = .949 \text{ KW}$ . Tenemos unas pérdidas =  $P_e - P_s = .949 - .807 = .142 \text{ KW}$ . Costo de las pérdidas:  $.142(.60) = .0852\$/\text{hr}$ .

Diferencia de pérdida  $.455 - .142 = .313 \text{ KW}$ , diferencia en pesos:  $.273 - .0852 = .1878\$/\text{hr}$ . Estamos pagando  $1.1878\$/\text{hr}$  de más cada hora que funcione el motor, lo que estamos pagando por potencia consumida es  $1.262(.60) = .7572\$/\text{hr}$  con  $N=64\%$  si nuestra eficiencia fuera  $N=85\%$ , pagaríamos  $.949 \text{ KW} \times .60 = .5694\$/\text{hr}$ . La diferencia es  $.7572 - .5694 = .1878\$/\text{hr}$ .

El porcentaje de pago entre una y otra eficiencia es:  $.7572 / .5694 = 1.32$ , estamos pagando 1.32 veces más por consumo de energía eléctrica para realizar un mismo trabajo.

El motor es de 5HP=3.73 KW. La potencia que se necesita es  $P=.807$  KW, por lo tanto seleccionaron un motor de  $3.73/.807=4.62$  veces más potencia que la adecuada; lo que ocasiona que el factor de potencia y el rendimiento se reduzcan resultando las pérdidas conocidas.

En un día gastamos de más 8 horas.

$$.1878 \times 8 = 1.5024 \$ / \text{día} \times 30 = 45.07 \$ / \text{mes} \times 12 = \$540.8 / \text{año}$$

FP= La potencia aparente que consume el motor de la red es:  $S1 = P / \cos\theta = 1.262 / .29 = 4.35$  KVA. Con esa misma  $S1$  y un  $FP=.85$ ; la potencia útil cedida es:  $P = S1 \cos\theta = 4.35 (.85) = 3.69$  KW. Si necesitamos una  $Ps = 1.262 (.64) = .807$  KW.

Si la  $N=.85$ ,  $Pe = Ps / N = .807 / .85 = .949$  KW. Y  $S2 = Pe / Fp = .949 / .85 = 1.11$  KVA. Desperdiciamos tanto por ciento  $S = 4.35 / 1.11 \times 100 = 391.89\%$ .

Estamos entreteniendo 291.89% más de energía eléctrica.

Recomendación:

Comprar un motor cercano a .807 KW y con un  $FP \geq .85$  y una  $N \geq .85$  para racionalizar la energía eléctrica

.807 KW = 1.080 HP, podemos comprar un motor de 1HP ó 1.5 HP.

### MOTOR 108

N = EFICIENCIA

Datos nominales:  $P_{sn} = 5HP = 3.73$  KW.

Datos reales:  $FP = .689$ ,  $N = 78\%$ ,  $Pe = .73$  KW.

Si la eficiencia nominal del motor es  $N = 85\%$  el-

motor estará trabajando a  $78/85 \times 100 = 91.7\%$  de lo que realmente puede hacerlo.

Para  $N=78\%$  las pérdidas son:  $100-78=22\%$

Para  $N=85\%$  las pérdidas son:  $100-85=15\%$

$\%$  pérdidas =  $22/15 \times 100 = 146.6\%$ . Las pérdidas en el motor son 1.4 veces más para  $N=78\%$  que para  $N=85\%$ , si la máquina necesita una  $P_s - P_e(N)$ ,  $P_s = .73 \times 78 = .569$  KW; tenemos unas -- pérdidas =  $P_e - P_s = 0.73 - .569 = .161$  KW, costo de las pérdidas  $.161(.60) = .0966$ \$/hr. Para obtener una  $P_s = .569$  con una --  $N=85\%$  necesitamos  $P_e = .569/.85 = .669$  KW; tenemos unas pérdidas =  $P_e - P_s = .669 - .569 = .10$  KW. Costo de las pérdidas  $.10 \times .60 = .06$ \$/hr. Diferencia de pérdidas:  $.161 - .10 = .061$  KW. Diferencia en pesos  $.0966 - .06 = .0366$ \$/hr.

Estamos pagando  $.0366$ \$/hr. de más cada hora que funcione el motor.

Lo que estamos pagando por potencia consumida es  $.73 \times 160 = .438$ \$/hr. con  $N=78\%$ . Si nuestra eficiencia fuera  $N=85\%$ , pagaríamos  $.669 \times .60 = .4014$ \$/hr. La diferencia es  $.438 - .4014 = .0366$ \$/hr.

El porcentaje de pago entre una y otras eficiencia es:  $.438/.4014 = 1.09$ . Estamos pagando 1.09 veces más por consumo de energía eléctrica para realizar un mismo trabajo. El motor es de 5HP = 3.73 KW, la potencia que se necesita es  $P = .569$  KW por lo tanto seleccionaron un motor de  $3.73/.569 = 6.5$  veces más potente que el adecuado; lo que ocasiona que el FP y el rendimiento se reduzcan resultando las pérdidas conocidas.

En un día gastamos de más 8 horas.

$.0366 \times 8 = .2928$ \$/día  $\times 30 = 8.784$ \$/mes  $\times 12 = \$105.40$ /año.

FP= Factor de Potencia

La potencia aparente que consume el motor de la

red es:  $S1 = Pe / \cos\theta = .73 / .689 = 1.05$  KVA, con esa misma  $S1$  y un factor de potencia = .85 la potencia útil cedida es:  $P = S1 \cos\theta = 1.05 \times .85 = .892$  KW. Si necesitamos una  $Ps = .73 \times .78 = .569$  KW.

Si la  $N = .85$ ;  $Pe = Ps / N = .569 / .85 = .669$  KW y  $S2 = Pe / Fp = .669 / .85 = 0.787$  KVA. Desperdiciamos %  $S = 1.05 / .787 \times 100 = 133.4\%$ . Estamos entreteniendo 33.4% más de energía eléctrica.

### Recomendación:

Comprar un motor cercano a .569 KW y con un Factor de potencia  $\geq .85$  y una  $N \geq .85$  para racionalizar la energía eléctrica.

.569 KW = .762 HP, podemos comprar un motor de: 1HP.

### MOTOR 80

$N =$  EFICIENCIA

Datos nominales:  $Ps_n = 3HP = 2.23$  KW.

Datos reales =  $Fp = .51$ ,  $N = 26.4\%$ ,  $Pe = 1.383$  KW.

Si la eficiencia nominal del motor es  $N = 85\%$  el motor estará trabajando a  $26.4 / 85 \times 100 = 31\%$  de lo que realmente puede hacerlo.

Para  $N = 26.4$  las pérdidas son  $100 - 26.4 = 73.6\%$

Para  $N = 85$  las pérdidas son  $100 - 85 = 15\%$

% Pérdidas =  $73.6 / 15 \times 100 = 490\%$ ; las pérdidas en el motor -- son 4.9 veces más para  $N = 26.4$  que para  $N = 85$ , Si la máquina necesita  $Ps = PexN = 1.385 \times .264 = .365$  KW tenemos unas pérdidas de  $Pe - Ps = 1.385 - .365 = 1.02$  KW. El costo de las pérdidas será  $1.02 \times .60 = .612$  \$/hrs. para obtener una  $Ps = .365$  KW con una --

$N=85\%$ , necesitamos  $P_e=3.65/.85=.429KW$ , tenemos unas pérdidas  $= P_e - P_s=.429-.365=.064 KW$ . Costo de las pérdidas  $= .064 \times .60=.0384\$/hr$ . diferencia de pérdida  $1.02-.064=.956KW$ . Diferencia en pesos  $= .612-.0384=.573\$/hr$ . Estamos pagando  $.575\$/hr$ . más cada hora que funciona el motor, lo que estamos pagando por potencia consumida es:  $1.385 \times .60=.831\$/hr$ . con  $N=26.4\%$ .

Si nuestra eficiencia fuera  $N=85\%$  pagaríamos  $.429 \times .60=.257\$/hr$ . La diferencia es  $.831-.257=.574\$/hora$ . El porcentaje de pago entre una y otra eficiencia es:  $.831/.257=3.23$ . Estamos pagando el 3.23 veces más por consumo de energía eléctrica para realizar un mismo trabajo.

El motor es de  $3HP=2.23KW$  la potencia que se necesita es  $P_e=.365 KW$  por lo tanto seleccionaron un motor de  $1.385/.365=3.79$  veces más potencia que el adecuado, lo que ocasiona que el factor de potencia y el rendimiento se reduzcan resultando las pérdidas conocidas.

En un día gastamos de más 8 horas.

$.573\$/hr. \times 8=4.58\$/día \times 30=137.52\$/mes \times 12=\$1650.2$   
/año.

FP = Factor de Potencia

La potencia de entrada con carga y un  $FP=.51$  es  $P_e=1.385 KW$ .

La potencia aparente que está consumiendo el motor de la red es  $S_1=P/\cos\theta=1.385/.51=2.715KVA$ , con esa misma  $S_1$  y con un  $FP=.85$  la potencia útil cedida sería  $P=2.715 \times .85=2.3KW$ . Si necesitamos  $P_s=1.385 \times .264=.365 KW$ . si  $N=85\%$   $P_e=.365/.85=.429KW$  y  $S_2=.429/.85=.504 KVA$ .

% S desperdiciada  $= S_1/S_2=2.715/.504 \times 100=538.6\%$  estamos en treteniendo 438.6% más de energía eléctrica.

Recomendación:

Comprar un motor cercano a .365KW y con un FP  $\geq .85$  para racionalizar la energía eléctrica y una  $N \geq .85$ .

.365KW = .489 HP, podemos comprar un motor de -  
1/2 HP.

### 3.5 CONCLUSION

Este método es útil para determinar las características de carga de los motores de inducción, tales como factor de potencia, rendimiento, deslizamiento etc. con las cuales podemos saber como se está utilizando la energía eléctrica.

Los resultados obtenidos en los motores analizados implican una mala utilización de la energía eléctrica; debido a esto tenemos la necesidad de realizar un proyecto para la selección adecuada de los motores con el fin de lograr una racionalización del consumo de energía eléctrica.

## C A P I T U L O I V

### ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA RACIONALIZAR LA ENERGIA ELECTRICA EN LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS

## 4.1 INTRODUCCION SOBRE EL FACTOR DE POTENCIA.

¿Por qué están los ingenieros interesados en el factor de potencia?

¿Qué causa el factor de potencia y como se debe mejorar?

Nuestro objetivo es contestar estas -- preguntas brevemente e incluir una información - aplicable a problemas de factor de potencia.

Los efectos de bajo factor de potencia de operación de una planta pueden ser los siguientes:

- Sobre carga de los cables y transformadores
- Aumento de las pérdidas en el cobre
- Nivel de voltaje reducido
- Iluminación reducida en el alumbrado
- Aumento en los costos de energía donde existe bajo factor de potencia.

El factor de potencia bajo se debe parcialmente a la carga de los motores de inducción ya que frecuentemente se trabaja con exceso de estos; es muy común seleccionar un motor para -- manejar la mayor carga y en realidad operarlo a mucho menos que la total.

Las razones principales para mejorar - el factor de potencia son:

- Incrementar la capacidad de carga en transformadores, sistemas de transmisión y distribución eléctrica.
- Reducir pérdidas eléctricas por efecto Joule en los sistemas eléctricos de generación, transmisión y distribución.

- Evitar el sobre cargo por bajo factor de potencia que -- determinan las compañías eléctricas a la mala utiliza--- ción de la energía eléctrica.
- Elevar el nivel de voltaje en los sistemas de generación transmisión, distribución y en los centros de consumo.

En conclusión un factor de potencia elevado nos indica que racionalización de la energía eléctrica, ya -- que proporciona más trabajo por una cantidad menor de -- energía absorbida de la red.

## FUNDAMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA

El concepto más fácil de traducir el factor de -- potencia como un efecto físico simple, es el basado en el -- hecho de que la corriente requerida para los motores de -- inducción, transformadores, lámparas fluorescentes, hornos de calentamiento por inducción, etc., pueden separarse en -- dos clases de corriente; corriente productora de energía -- y corriente magnetizante.

La corriente productora de energía o corriente -- de trabajo, es la que se convierte en útil como un movi--- miento giratorio. La unidad de energía producida es el -- kilowatt.

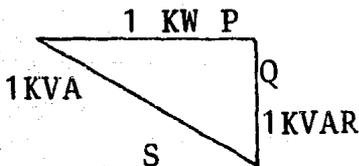
La corriente magnetizante conocida también como corriente reactiva, o corriente sin trabajo, es la que se requiere para producir el flujo necesario para la opera--- ción de dispositivos de inducción.

Sin corriente magnetizante, la energía no podría fluir a través del núcleo de un transformador o a través -- del espacio de aire de un motor de inducción. La unidad -- de medición es el KVAR.

La corriente total es la que se lee en un amperímetro en el circuito; se forma de la corriente magnetizante y la que produce energía -- útil. La corriente total produce una energía -- llamada energía aparente cuya unidad de medición es el kilovoltamper (KVA).

La adición de una energía de un KW y - KVAR deben seguir la relación triángulo rectángulo como sigue:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{EC. 4.1}$$



donde:

P= Potencia de trabajo

Q= Potencia reactiva

S= Potencia aparente

Una definición del factor de potencia es la relación de potencia de trabajo (KW) a la potencia total o aparente (KVA), es decir:

$$\text{f.p.} = P/S \quad \text{EC. 4.2}$$

Dicho de otra forma, el f.p. es el factor por el cual debe multiplicarse la potencia aparente para obtener la potencia de trabajo:

$$P = S(\text{f.p.}) \quad \text{EC. 4.3}$$

Ejemplo:

Cuál es el factor de potencia de la carga sobre un sistema de 460V trifásico, si el

medidor indica 100amp. y el wattmetro lee 62 KW.

Como es un circuito trifásico:

$$S = \sqrt{3} VI = \sqrt{3}(460)(100) = 79.6 \text{ KVA.}$$

$$\text{F.P.} = \frac{P}{S} = \frac{62 \text{ KW}}{79.6 \text{ KVA}} = 0.78 \text{ o también } 78\%$$

### ALTERNATIVAS DE SOLUCION Y BENEFICIOS QUE IMPLICAN.

Hemos visto a través del estudio de los motores de inducción que el factor de potencia - y el rendimiento se reducen considerablemente -- cuando el motor trabaja lejos de sus características nominales, para lograr una racionalización de energía eléctrica es necesario que el factor de potencia y el rendimiento de un motor se mantenga lo más elevado posible, esto es; que trabaje cerca de los valores nominales para los que fue diseñado.

Para tener un rendimiento y un factor de potencia alto, podemos hacer tres cosas:

- 1.- Instalar capacitores
- 2.- Hacer un proyecto de selección de motores
- 3.- Intercambiar motores entre máquinas.

1.- Por medio de capacitores podemos aumentar el factor de potencia hasta donde queramos; pero debemos hacer un estudio para ver -- hasta donde es rentable comprar capacitores para elevar el factor de potencia.

2.- Con un proyecto de selección de motores podemos evitar la compra de algunos capacitores para mantener el factor de potencia alto, cuidando que los motores se seleccionen adecuadamente.

damente.

3.- Podemos analizar las diversas máquinas existentes e intercambiar motores entre ellas

Para esto podemos intentar una manera -- práctica, escoger el motor que mejor se adapte a tal trabajo.

#### 4.2 INSTALACION DE CAPACITORES.

COMO USAR LOS CAPACITORES PARA REDUCIR LOS COSTOS DE ENERGIA ELECTRICA.

El capital invertido puede dar un interés bimestral del 22%, mejorando el factor de potencia.

Analizando los datos típicos de una fábrica puede verse lo fácil que es calcular los beneficios obtenibles mediante la instalación de capacitores.

1.- Los factores de energía eléctrica indican que el promedio mensual de consumo de -- una fábrica es de 100,000 KWH y 104,000 KVARH -- con demanda instantánea de 400 KW.

2.- Las tarifas de energía incluyen un cargo en % por bajo factor de potencia.

3.- El factor de potencia viene marcado en el recibo mensual que en este caso es de 0.68.

4.- Cálculo aproximado de las economías  
El valor total del recibo indica \$ 31,200 de los-

cuales usted está pagando \$ 26,000 de consumo y \$ 5,200 por bajo factor de potencia. Supongamos que se instalan suficientes capacitores para elevar el factor de potencia hasta 0.85. El siguiente mes deja usted de pagar \$ 5,200 que significan un ahorro bimestral de \$ 10,400. Además el consumo en KWH también se reduciría pues las pérdidas en el sistema eléctrico de la fábrica serán menores con un factor de potencia de 0.85 que con uno de 0.68.

5.- ¿Cuánto costarían los capacitores? De la tabla 4.1 se pueden determinar los KVAR necesario para elevar el factor de potencia al valor deseado. Para el caso que nos ocupa se necesitarían 183 KVAR con un costo aproximado de \$ 47,000.00.

6.- Los beneficios obtenidos de la inversión equivalen a un interés igual a la economía bimestral ( \$ 10,400 ) dividida por el costo de los capacitores ( \$ 47,000 ) o sea 22% y estos beneficios continúan bimestre tras bimestre.

¿Dónde puede encontrarse una inversión tan ventajosa como ésta?

En menos de 10 meses, cuando termine el período de un año los capacitores habrán permitido economizar \$ 15,400.00 más que su costo original.

## TABLA 4.1

Mejora del Factor de Potencia.

Valores obtenidos de la tabla 4.1 KW -  
de entrada = KVAR de capacitores necesarios para  
elevar el Factor de Potencia al valor deseado.

FACTOR DE POTENCIA DESEADO, EN PORCEN-  
TAJE.

**APARTIR DE  
ESTA PAG.**

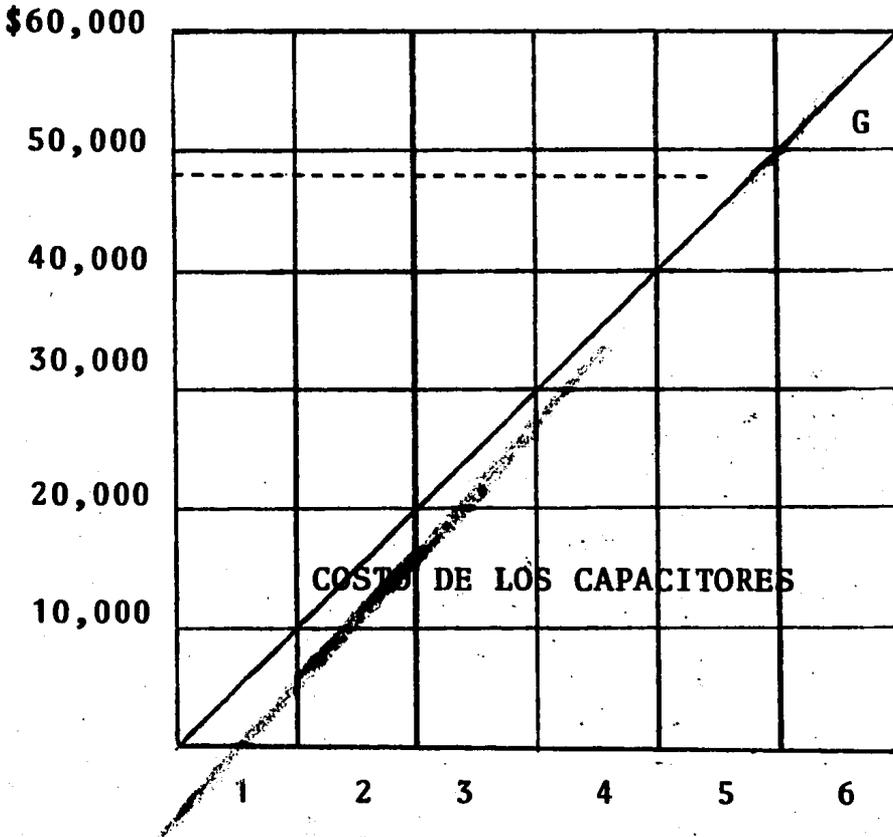
**FACCA DE  
ORIGEN.**

FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL, EN PORCENTAJE

50	0.932	1.008	1.034	1.040	1.006	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.401	1.442	1.481	1.520	1.560	1.602
51	0.937	0.942	0.949	0.955	1.001	1.027	1.064	1.120	1.167	1.217	1.263	1.301	1.341	1.382	1.424	1.461	1.495	1.526	1.554	1.580	1.607
52	0.939	0.946	0.952	0.958	0.971	1.002	1.050	1.103	1.150	1.200	1.246	1.294	1.343	1.393	1.443	1.489	1.531	1.569	1.604	1.638	1.672
53	0.940	0.948	0.954	0.960	0.974	1.007	1.057	1.110	1.166	1.224	1.279	1.336	1.394	1.452	1.510	1.564	1.614	1.661	1.705	1.748	1.791
54	0.941	0.949	0.955	0.961	0.976	1.010	1.061	1.114	1.170	1.228	1.283	1.340	1.397	1.455	1.513	1.570	1.624	1.675	1.723	1.769	1.814
55	0.942	0.950	0.956	0.962	0.978	1.012	1.064	1.117	1.173	1.231	1.286	1.343	1.400	1.457	1.514	1.570	1.623	1.673	1.721	1.767	1.812
56	0.943	0.951	0.957	0.963	0.980	1.014	1.067	1.120	1.176	1.234	1.289	1.346	1.403	1.460	1.516	1.571	1.624	1.674	1.722	1.768	1.813
57	0.944	0.952	0.958	0.964	0.982	1.016	1.070	1.123	1.179	1.237	1.292	1.349	1.406	1.463	1.519	1.574	1.626	1.676	1.724	1.769	1.814
58	0.945	0.953	0.959	0.965	0.984	1.018	1.072	1.125	1.181	1.239	1.294	1.351	1.408	1.465	1.521	1.576	1.628	1.678	1.726	1.771	1.816
59	0.946	0.954	0.960	0.966	0.986	1.020	1.074	1.127	1.183	1.241	1.296	1.353	1.410	1.467	1.523	1.578	1.630	1.680	1.728	1.773	1.818
60	0.947	0.955	0.961	0.967	0.988	1.022	1.076	1.129	1.185	1.243	1.298	1.355	1.412	1.469	1.525	1.580	1.632	1.682	1.730	1.775	1.820
61	0.948	0.956	0.962	0.968	0.990	1.024	1.078	1.131	1.187	1.245	1.300	1.357	1.414	1.471	1.527	1.582	1.634	1.684	1.732	1.777	1.822
62	0.949	0.957	0.963	0.969	0.992	1.026	1.080	1.133	1.189	1.247	1.302	1.359	1.416	1.473	1.529	1.584	1.636	1.686	1.734	1.779	1.824
63	0.950	0.958	0.964	0.970	0.994	1.028	1.082	1.135	1.191	1.249	1.304	1.361	1.418	1.475	1.531	1.586	1.638	1.688	1.736	1.781	1.826
64	0.951	0.959	0.965	0.971	0.996	1.030	1.084	1.137	1.193	1.251	1.306	1.363	1.420	1.477	1.533	1.588	1.640	1.690	1.738	1.783	1.828
65	0.952	0.960	0.966	0.972	0.998	1.032	1.086	1.139	1.195	1.253	1.308	1.365	1.422	1.479	1.535	1.590	1.642	1.692	1.740	1.785	1.830
66	0.953	0.961	0.967	0.973	1.000	1.034	1.088	1.141	1.197	1.255	1.310	1.367	1.424	1.481	1.537	1.592	1.644	1.694	1.742	1.787	1.832
67	0.954	0.962	0.968	0.974	1.002	1.036	1.090	1.143	1.199	1.257	1.312	1.369	1.426	1.483	1.539	1.594	1.646	1.696	1.744	1.789	1.834
68	0.955	0.963	0.969	0.975	1.004	1.038	1.092	1.145	1.201	1.259	1.314	1.371	1.428	1.485	1.541	1.596	1.648	1.698	1.746	1.791	1.836
69	0.956	0.964	0.970	0.976	1.006	1.040	1.094	1.147	1.203	1.261	1.316	1.373	1.430	1.487	1.543	1.598	1.650	1.700	1.748	1.793	1.838
70	0.957	0.965	0.971	0.977	1.008	1.042	1.096	1.149	1.205	1.263	1.318	1.375	1.432	1.489	1.545	1.600	1.652	1.702	1.750	1.795	1.840
71	0.958	0.966	0.972	0.978	1.010	1.044	1.098	1.151	1.207	1.265	1.320	1.377	1.434	1.491	1.547	1.602	1.654	1.704	1.752	1.797	1.842
72	0.959	0.967	0.973	0.979	1.012	1.046	1.100	1.153	1.209	1.267	1.322	1.379	1.436	1.493	1.549	1.604	1.656	1.706	1.754	1.800	1.845
73	0.960	0.968	0.974	0.980	1.014	1.048	1.102	1.155	1.211	1.269	1.324	1.381	1.438	1.495	1.551	1.606	1.658	1.708	1.756	1.802	1.847
74	0.961	0.969	0.975	0.981	1.016	1.050	1.104	1.157	1.213	1.271	1.326	1.383	1.440	1.497	1.553	1.608	1.660	1.710	1.758	1.804	1.849
75	0.962	0.970	0.976	0.982	1.018	1.052	1.106	1.159	1.215	1.273	1.328	1.385	1.442	1.499	1.555	1.610	1.662	1.712	1.760	1.806	1.851
76	0.963	0.971	0.977	0.983	1.020	1.054	1.108	1.161	1.217	1.275	1.330	1.387	1.444	1.501	1.557	1.612	1.664	1.714	1.762	1.808	1.853
77	0.964	0.972	0.978	0.984	1.022	1.056	1.110	1.163	1.219	1.277	1.332	1.389	1.446	1.503	1.559	1.614	1.666	1.716	1.764	1.810	1.855
78	0.965	0.973	0.979	0.985	1.024	1.058	1.112	1.165	1.221	1.279	1.334	1.391	1.448	1.505	1.561	1.616	1.668	1.718	1.766	1.812	1.857
79	0.966	0.974	0.980	0.986	1.026	1.060	1.114	1.167	1.223	1.281	1.336	1.393	1.450	1.507	1.563	1.618	1.670	1.720	1.768	1.814	1.859
80	0.967	0.975	0.981	0.987	1.028	1.062	1.116	1.169	1.225	1.283	1.338	1.395	1.452	1.509	1.565	1.620	1.672	1.722	1.770	1.816	1.861
81	0.968	0.976	0.982	0.988	1.030	1.064	1.118	1.171	1.227	1.285	1.340	1.397	1.454	1.511	1.567	1.622	1.674	1.724	1.772	1.818	1.863
82	0.969	0.977	0.983	0.989	1.032	1.066	1.120	1.173	1.229	1.287	1.342	1.399	1.456	1.513	1.569	1.624	1.676	1.726	1.774	1.820	1.865
83	0.970	0.978	0.984	0.990	1.034	1.068	1.122	1.175	1.231	1.289	1.344	1.401	1.458	1.515	1.571	1.626	1.678	1.728	1.776	1.822	1.867
84	0.971	0.979	0.985	0.991	1.036	1.070	1.124	1.177	1.233	1.291	1.346	1.403	1.460	1.517	1.573	1.628	1.680	1.730	1.778	1.824	1.869
85	0.972	0.980	0.986	0.992	1.038	1.072	1.126	1.179	1.235	1.293	1.348	1.405	1.462	1.519	1.575	1.630	1.682	1.732	1.780	1.826	1.871
86	0.973	0.981	0.987	0.993	1.040	1.074	1.128	1.181	1.237	1.295	1.350	1.407	1.464	1.521	1.577	1.632	1.684	1.734	1.782	1.828	1.873
87	0.974	0.982	0.988	0.994	1.042	1.076	1.130	1.183	1.239	1.297	1.352	1.409	1.466	1.523	1.579	1.634	1.686	1.736	1.784	1.830	1.875
88	0.975	0.983	0.989	0.995	1.044	1.078	1.132	1.185	1.241	1.299	1.354	1.411	1.468	1.525	1.581	1.636	1.688	1.738	1.786	1.832	1.877
89	0.976	0.984	0.990	0.996	1.046	1.080	1.134	1.187	1.243	1.301	1.356	1.413	1.470	1.527	1.583	1.638	1.690	1.740	1.788	1.834	1.879
90	0.977	0.985	0.991	0.997	1.048	1.082	1.136	1.189	1.245	1.303	1.358	1.415	1.472	1.529	1.585	1.640	1.692	1.742	1.790	1.836	1.881
91	0.978	0.986	0.992	0.998	1.050	1.084	1.138	1.191	1.247	1.305	1.360	1.417	1.474	1.531	1.587	1.642	1.694	1.744	1.792	1.838	1.883
92	0.979	0.987	0.993	0.999	1.052	1.086	1.140	1.193	1.249	1.307	1.362	1.419	1.476	1.533	1.589	1.644	1.696	1.746	1.794	1.840	1.885
93	0.980	0.988	0.994	1.000	1.054	1.088	1.142	1.195	1.251	1.309	1.364	1.421	1.478	1.535	1.591	1.646	1.698	1.748	1.796	1.842	1.887
94	0.981	0.989	0.995	1.001	1.056	1.090	1.144	1.197	1.253	1.311	1.366	1.423	1.480	1.537	1.593	1.648	1.700	1.750	1.798	1.844	1.889
95	0.982	0.990	0.996	1.002	1.058	1.092	1.146	1.199	1.255	1.313	1.368	1.425	1.482	1.539	1.595	1.650	1.702	1.752	1.800	1.846	1.891
96	0.983	0.991	0.997	1.003	1.060	1.094	1.148	1.201	1.257	1.315	1.370	1.427	1.484	1.541	1.597	1.652	1.704	1.754	1.802	1.848	1.893
97	0.984	0.992	0.998	1.004	1.062	1.096	1.150	1.203	1.259	1.317	1.372	1.429	1.486	1.543	1.599	1.654	1.706	1.756	1.804	1.850	1.895
98	0.985	0.993	0.999	1.005	1.064	1.098	1.152	1.205	1.261	1.319	1.374	1.431	1.488	1.545	1.601	1.656	1.708	1.758	1.806	1.852	1.897
99	0.986	0.994	0.999	1.006	1.066	1.100	1.154	1.207	1.263	1.321	1.376	1.433	1.490	1.547	1.603	1.658	1.710	1.760	1.808	1.854	1.899
100	0.987	0.995	0.999	1.007	1.068	1.102	1.156	1.209	1.265	1.323	1.378	1.435	1.492	1.549	1.605	1.660	1.712	1.762	1.810	1.856	1.901

TABLA 4.2

ECONOMÍAS EN LA CUENTA DE ENERGIA



Esta curva muestra como los capacitores de nuestro ejemplo se pagan por si solos como resultados de las economías de la cuenta de energía eléctrica.

Cómo calcular las economías obtenidas con los capacitores.

G.- Ganancia neta

La compañía de electricidad puede tener en vigor alguna cláusula de factor de potencia, - que puede ser ligeramente diferente de la que -- se dió como ejemplo. Como la factura de energía eléctrica quizá no contenga toda la información-necesaria para efectuar los cálculos indicados, - será preciso consultar a la compañía de electricidad.

Siguiendo el ejemplo anterior, es fácil calcular las economías que pueden obtenerse en - una fábrica, los resultados obtenidos en la ma-- yoría de los casos son verdaderamente sorprendentes.

#### COMO UTILIZAR LOS CAPACITORES PARA - -- AUMENTAR LA CAPACIDAD UTIL DEL SISTEMA ELECTRICO

La capacidad útil de los alimentadores - puede aumentarse entre 20 y 30%. Supongamos que debido al aumento en la demanda de sus productos una fábrica ve la necesidad de aumentar la pro-- ducción y empieza a hacer planes de expansión -- que exigen la instalación de motores nuevos, - - aumento de iluminación, etc. Los transformadores y el sistema de distribución están ya trabajando a plena carga. Por lo tanto, cualquier aumento- representa sobrecargas para el sistema, a menos- que se tomen medidas para reducir la carga actual.

Si tomamos como base las siguientes su- posiciones, es fácil calcular el aumento en la - capacidad útil del sistema que puede lograrse -- con la instalación de capacitores:

1.- Un aumento de carga de 20% es lo -- que se espera si se efectúa la ampliación.

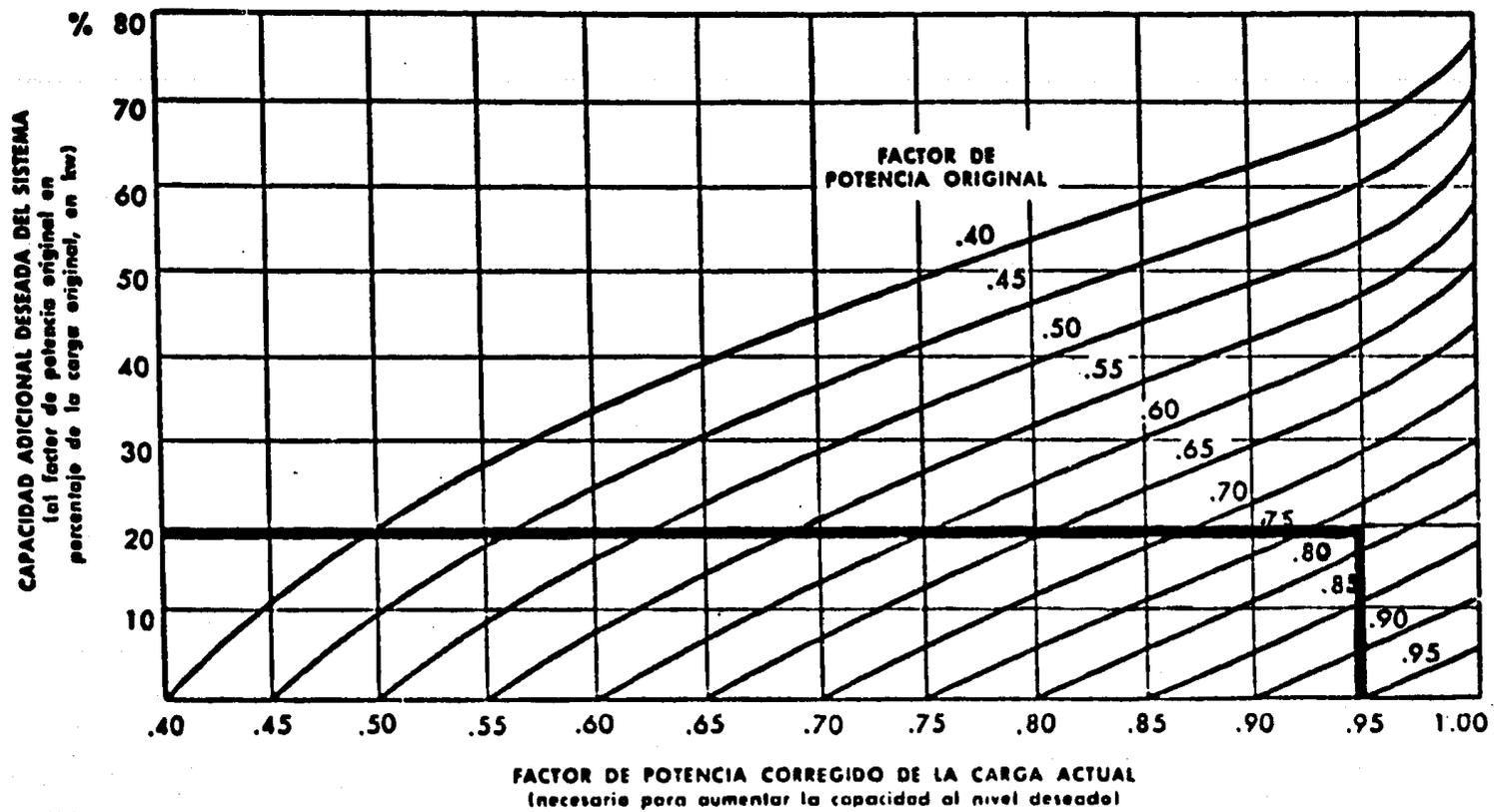
¿Cuántos capacitores se necesitarían para que el sistema pudiera admitir dicha carga adicional sin sobrecargarse?

2.- Las facturas mensuales de energía eléctrica indican que la carga actual es de 400 KW con un factor de potencia de 0.77. (Si el factor de potencia no aparece en la factura puede ser determinado dividiendo el consumo en KW por el consumo en KVA).

3.- ¿Cuánto debe ser elevado el factor de potencia para obtener una capacidad útil adicional de 20%? Utilizando las curvas de la tabla 4.3 puede verse que para aumentar en un 20% la capacidad útil del sistema es necesario elevar el factor de potencia de 0.77 a 0.95.

4.- ¿Cuánto costarían los capacitores? La tabla 4.1 indica que para aumentar el factor de potencia de 0.77 a 0.95 con una carga de 400 KW, se necesitan 200 KVAR. Suponiendo que el costo de los capacitores a 460 V. completamente instalados, sea de \$ 140.00 por KVAR, los 200 KVAR costarían alrededor de \$ 28,000.00

TABLA 4.3



Este aumento del 20% en la capacidad -- útil puede utilizarse inmediatamente para los -- nuevos motores y para la iluminación, sin necesidad de instalar nuevos transformadores o nuevos circuitos. El hecho de que sólo se necesiten capacitores con un total de 200 KVAR es muy importante pues durante períodos críticos puede ser -- muy difícil conseguir transformadores y material de línea y su costo en muchos casos excedería de los \$ 28,000.00 que cuestan los capacitores.

Al aumento de capacidad útil debe sumarse la economía en los costos de energía eléctrica. Con una cláusula de factor de potencia similar al ejemplo mencionado anteriormente, la economía puede llegar a \$10,400.00 por bimestre. -- Esta es una bonificación que se obtiene cada año, además del aumento del 20% en la capacidad útil.

### ¿CUANTOS CAPACITORES SON NECESARIOS?

La tabla 4.1 permite determinar fácilmente la cantidad de capacitores necesarios para elevar el factor de potencia de un valor determinado a cualquier otro valor.

#### Ejemplo:

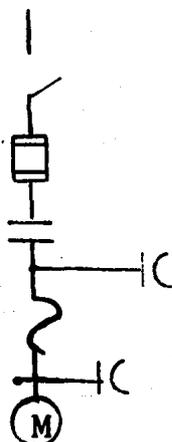
Una pequeña máquina herramienta consume un promedio de 100 KW a un factor de potencia de 0.80. Los KVAR necesarios para elevar el factor de potencia a 0.95 se encuentran multiplicando -- el factor 0.421 obtenido de la tabla 4.1 por los 100 KW de carga, o sean 42 KVAR. Entre los capacitores standard de 460 V el que más se aproxima es de 40 KVAR, pero también pueden utilizarse -- dos capacitores de 20 KVAR.

## COMO CONECTAR CAPACITORES CONJUNTAMENTE CON LA CARGA.

La capacidad del sistema aumenta al - - máximo y las pérdidas se reducen a un mínimo - - cuando los capacitores se instalan en un punto - - inmediato a la carga que requiere los KVAR. En el caso de motores de inducción que funcionan en forma continua, o casi continua, suele resultar económico instalar los capacitores en los terminales mismos del motor, de modo que se conecten y desconecten simultáneamente con el motor.

Cuando se conecten capacitores directamente a la carga, es necesario consultar la tabla 4.3 para no conectar carga reactiva arriba de la necesaria.

FIG. 4.1



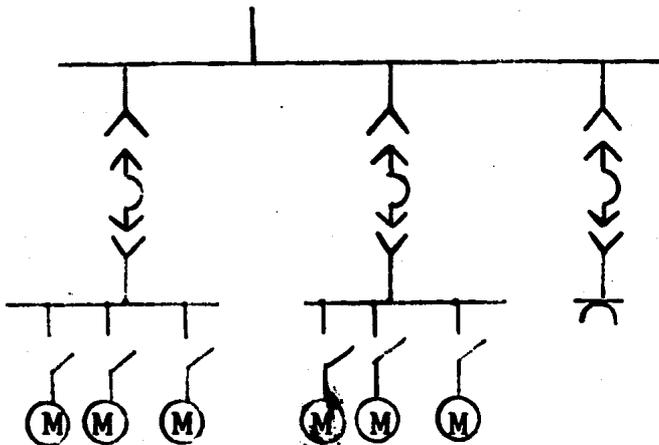
Cómo conectar capacitores por separado.

Si se tiene un grupo de motores de los cuales unos funcionan mientras otros están parados, una sola batería de capacitores (con un nú-

mero determinado de capacitores) puede conectarse a las barras de distribución para suministrar económicamente potencia reactiva al sistema. Los conjuntos de capacitores de este tipo necesitan un dispositivo interruptor separado.

La capacidad de ruptura del dispositivo interruptor debe ser por lo menos equivalente a la corriente de corto circuito del sistema al cual está conectado, la capacidad de corriente en régimen continuo del dispositivo interruptor deberá ser aproximadamente igual a 135,165 y 187 por ciento de la corriente nominal del conjunto de capacitores.

FIG. 4.2



¿CUANTO DEBE ELEVARSE EL FACTOR DE POTENCIA?

I.- Para reducir los costos de energía la Compañía de Luz fija un factor de potencia -- mínimo de 0.85 por lo que abajo de este número -- impone un sobre cargo en % que va en aumento a medida que el valor de F.P. decrece.

Por ejemplo: Si una empresa paga \$ 15,000 de --  
consumo real a un factor de potencia de 0.70 - -  
pagará un 17.6% sobre este consumo o sea - - - -  
\$2,640.00 dando un total de \$17,640.00 como va--  
lor de facturación. Se recomienda aumentar el -  
factor de potencia arriba de 0.85 dando margen -  
a futuras instalaciones.

II.- Para aumentar la capacidad útil del siste--  
ma.

Los capacitores permiten aumentar la -  
capacidad útil del sistema y de este modo permi--  
ten agregar motores, luces y otras cargas al sis--  
tema, sin sobrecargar los transformadores u otros  
equipos de distribución. Dicho aumento continúa  
a medida que se agregan capacitores hasta que se  
alcanza el factor de potencia unitario.

Pero a medida que el factor de poten--  
cia aumenta, es mayor el número de capacitores -  
necesarios para aumentar en 1 KW la capacidad --  
útil del sistema sea igual al costo por KW de --  
Los transformadores y equipos de distribución. -  
Por lo general resulta económico elevar el fac--  
tor de potencia hasta 0.90 ó 0.95.

LOS CAPACITORES AUMENTAN LA CAPACIDAD UTIL DEL -  
SISTEMA.

En la mayoría de las instalaciones in--  
dustriales, la mayor parte de la carga está cons--  
tituida por motores de inducción; los cuales - -  
absorben una corriente reactiva o KVAR y baja el  
factor de potencia.

Si un motor toma 10 amps. de una lí--  
nea a un factor de potencia de 0.80, sólo 8 amps  
de dicha corriente se utilizan para obtener po--

tencia. El resto es corriente reactiva, representada en la fig. 4.3 por la línea negra. Esta corriente reactiva no realiza ningún trabajo útil pero es necesario para producir el campo magnético del motor.

La fig. 4.4, muestra el mismo motor con un capacitor conectado a la línea para suministrar la corriente reactiva directamente al motor. En este caso la corriente de la línea es sólo de 8 amps, y no se ha reducido la potencia de salida del motor. En esta forma los capacitores reducen la corriente de línea y, si los alimentadores ya estaban a plena carga, permiten conectar más equipos eléctricos sin producir sobrecargas.

Si un mismo circuito alimenta cuatro motores similares al anterior, con un factor de potencia de 0.80, el uso de capacitores permitirá agregar otro motor sin aumentar la corriente que circule por la línea. Los capacitores aumentan en esta forma la capacidad útil del sistema.

FIG. 4.3

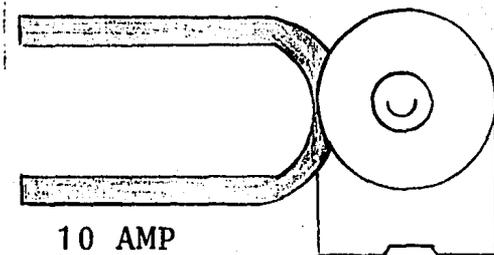
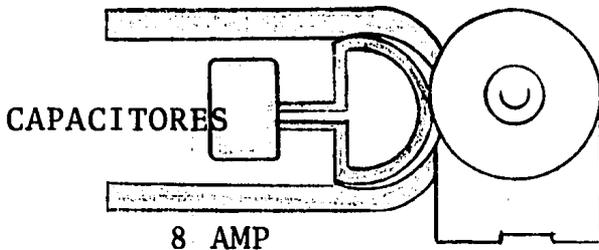


FIG. 4.4



#### 4.3 PROYECTO DE SELECCION DE MOTORES

El presente proyecto tiene por objeto - hacer una selección del motor que vaya acoplarse a alguna maquinaria, de una manera adecuada ya - que como hemos visto una mala selección de estos origina una mala utilización de la energía eléctrica debido al bajo F.P. y rendimiento en que - trabajan los motores fuera de sus característi- cas nominales.

Para juzgar y elegir motores trifásicos, el factor de potencia y el rendimiento constituyen valores comparativos importantes, necesarios también para calcular la potencia cedida. Cuanto mayor sea el f.p. tanto mayor será la potencia eléctrica transformada en relación con la -- absorbida de la red.

El motor transforma la potencia eléctrica absorbida en potencia mecánica. En este proceso de transformación se producen pérdidas tanto eléctricas como mecánicas. Cuanto más bajo sea el F.P. tanto más elevada será la corriente reactiva que también cuesta dinero; cuanto más bajo sea el rendimiento tanto mayor será la pér-

dida de potencia. Se podría consevir un motor con un rendimiento especial bueno, pero a costa del f.p. y otros datos.

Para poder comparar mejor en los motores estos dos valores, denominaremos el producto de ambos "calidad de servicio". Se debe procurar que la calidad de servicio sea lo más alta posible en una gama grande de potencia.

LOS FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE AL SELECCIONAR UN MOTOR DE INDUCCION SON:

1.- Condiciones ambientales.

- a) Temperatura ambiente
- b) Presión
- c) Agua
- d) Altitud

2.- Requerimiento de la máquina impulsada.

- a) Velocidad
- b) Disposición mecánica
- c) Par y potencia
- d) Condiciones especiales
- e) Mantenimiento, instalación y operación.

3.- Claves, Normas y Reglamentos.

1.- Las condiciones ambientales tales como temperatura, presión y agua deben ser cuidadosamente determinadas en la aplicación de motores. Cuando el motor y equipos de control sean sujetos a riesgos desusuales tales como los enlistados abajo, deben consultarse a los fabricantes.

RIESGOS DESUSUALES.- Exposición a gases inflamables o explosivos, operación en lugares húmedos, exposición a polvos explosivos o arenosos, expo-

sición a vapor, operación en cuartos pobremente-ventilados, a temperaturas arriba de 40°C en aire salitroso, etc.

ALTITUD.- No se considera necesario un cambio de diseño para la mayoría de las máquinas que operan altitudes por debajo de 990 mts.S.N.M. para mayores altitudes la temperatura de la maquinaria se incrementa aproximadamente 1% por cada 90 mts. de altitud sobre los 990 mencionados.

## 2.- Requerimiento de la máquina impulsada.

Es posible realizar pruebas para poder-determinar con precisión las necesidades de potencia y par. Con el fin de realizar tales pruebas, se debe recordar que las pérdidas determinadas deben restarse de la potencia de entrada al motor, ya que en la compra del motor la cotización se hace en base a la potencia de salida.

Si los requerimientos de potencia y par no son determinados por experiencia o prueba, la información puede ser generalmente obtenida del fabricante de la máquina a impulsar o de los expertos en motores de la fábrica. Las curvas que proporciona el fabricante se comparan con la de los motores y se hace la selección adecuada.

Las pérdidas eléctricas y la depreciación en inversiones extras innecesarias, puede representar una cantidad considerable en grandes instalaciones.

### Cálculo del par motor.

La potencia (KW) o el par motor de accionamiento (kgfm) y la velocidad de rotación de servicio rpm. durante el servicio nominal de --

la máquina impulsada, tienen que conocerse con la mayor exactitud posible.

La potencia se expresa de la siguiente manera:

$$p(\text{KW}) = \text{Txn}/975 \text{ ó } p(\text{Hp}) = \text{Txn}/716 \text{ siendo} \quad \text{EC.4.4}$$

p= potencia en KW ó Hp

T= par motor en kgfm

n= vel. rotación en rpm

Tratándose de una carga G que describa un movimiento rectilíneo con una velocidad V, la potencia es:

$$p = G \times V \text{ siendo} \quad p = \text{potencia kgfm/seg.} \quad \text{EC.4.5}$$

G= Carga en kfg

V= Velocidad en m/seg.

$$1 \text{ KW} = 102 \text{ kgfm/seg.}$$

El par motor equivalente a una carga sometida a movimiento rectilíneo es:

$$T = 9.56 \text{ G} \times V/n, \text{ siendo: } T = \text{Par motor en kgfm}$$

G= Carga en kfg

EC. 4.6

V= Velocidad en m/seg.

n= Vel. rotación en rpm

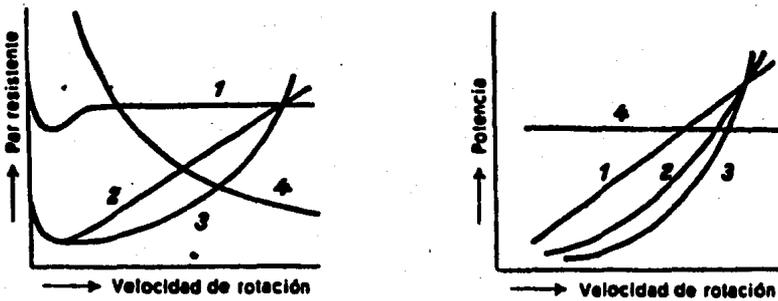
Curva característica del par resistente.

Para comprobar los procesos de arranque y de frenado para seleccionar los motores con velocidades de rotación variable, se necesita conocer la curva del par resistente de la máquina impulsada (par de carga), en dependencia de la velocidad de rotación, dentro de la zona a considerar.- Fig. 4.5

Pares o intensidades:

El par que desarrolla un motor trifásico  $3\phi$  en su flecha presenta una magnitud muy variable entre  $n=0$  y  $n=ns$ . El curso característico del par respecto a la velocidad de rotación del motor trifásico con rotor de jaula, queda -- representado en la Fig. 4.6

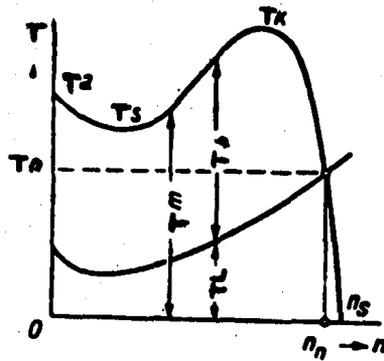
FIG. 4.5



Par resistente en dependencia de la velocidad de rotación.

Potencia en dependencia de la velocidad de rotación.

FIG. 4.6



- $T_m$ = par del motor
- $T_l$ = par resistente
- $T_b$ = par de aceleración
- $n_n$ = Velocidad nominal de rotación
- $T_a$ = par inicial de arranque
- $T_k$ = par máximo
- $T_n$ = par nominal
- $T_s$ = par mínimo en el arranque
- $N_s$ = velocidad de rotación de sincronismo

El margen comprendido entre  $T=0$  y  $T=T_n$  es el de trabajo; entre  $T=T_a$  y  $T=T_k$  queda comprendido el margen de aceleración. El par de arranque tiene que superar en una magnitud suficiente el par resistente inicial de arranque de la máquina accionada encontrándose durante todo el proceso de arranque el par motor por encima del par resistente, hasta llegar a alcanzar la velocidad de rotación de servicio. Por otra parte, el momento de aceleración no debe ser excesivamente grande, pues de lo contrario, los elementos de transmisión mecánica y la máquina accionada pueden sufrir daños.

El par nominal se calcula de la siguiente forma:

$$T_n = P_n \times 975 / N_n \quad \text{ó} \quad T_n = P_n \times 1000 / N_s \quad \text{EC. 4.7 y 4.8}$$

$T_n$  = par nominal en kgfm

$N_n$  = v. nominal de rotación en rpm.

$P_n$  = potencia nominal en Kw.

$N_s$  = velocidad de rotación de sincronismo en rpm.

### PARES DE INERCIA ADICIONALES

El tiempo de arranque de un motor es directamente proporcional a su propio par de inercia más el de las masas de impulsión adicionales, mientras que la frecuencia admisible de maniobra es inversamente proporcional a dichos pares. Para el cálculo de los diferentes accionamientos, la distribución del par de aceleración, así como la determinación de la frecuencia propia, deben conocerse los pares de inercia. El par de inercia propio del motor se encontrará rápidamente en el catálogo; el par de inercia adicional debe ser calculado o estimado en prime

ra instancia.

El par de inercia no es un par de giro, sino una característica propia de cada cuerpo, referida a su eje de giro, por ejem., la masa de un cuerpo es una medida de la inercia contra cambios de velocidad. El par de inercia es la suma integral de todas las partículas (m) de un cuerpo multiplicada cada una por el cuadrado de su distancia al eje de giro es decir,

$$J = \sum_{i=1}^n \epsilon m_i r_i^2 = \epsilon m_1 r_1^2 + \epsilon m_2 r_2^2 + \dots = \sum_{i=1}^n \epsilon m_i r_i^2 \quad \text{EC. 4.9}$$

donde:

J= Par de inercia

$\epsilon m$ = Partículas de un cuerpo

$r^2$ = Cuadrado de su distancia al eje de giro.

Par de inercia total.

Los pares de inercia de los cuerpos en el mismo eje de giro del motor se adicionan aritméticamente con el par de inercia del motor. Cuando el cuerpo adicional tiene una velocidad diferente a la del motor, antes de efectuar la adición deberá reducirse su par de inercia a la velocidad del eje del motor; este se consigue dividiéndolo por el cuadrado de la relación de transformación 1.

FIG. 4.7

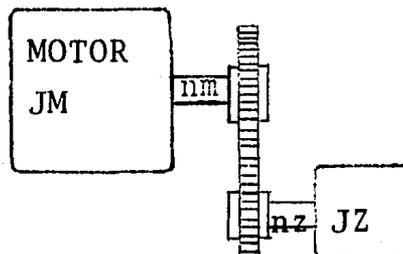


Fig. 4.7 motor y masa de impulsión - -  
adicional con diferente velocidad de giro.

## EFFECTOS DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE - Y FRECUENCIA, SOBRE LA OPERACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

Lo siguiente es un pequeño informe de -  
algunos resultados de operación causados por --  
pequeñas variaciones de voltaje y frecuencia y -  
es indicativo del carácter general de los cam--  
bios producidos por tales variaciones en las --  
condiciones de operación.

1.- Un cambio en el voltaje aplicado --  
a un motor de inducción tiene el efecto de va--  
riar la capacidad, así como el f.p. y la efi--  
ciencia en proporción del cuadrado del voltaje--  
aplicado. De esta forma un motor de 5hp opera--  
do con un voltaje del 10% encima del nominal --  
tendrá características propias de un motor de -  
6hp. y operado con un 10% debajo de su voltaje--  
nominal se comportará como un motor de 4hp. Es  
por supuesto obvio que si la capacidad de un mo--  
tor fuese grandemente elevada mediante este pro--  
cedimiento, el rango de calentamiento permisib--  
le sería excedido.

2.- En un motor de características no--  
minales, un incremento de voltaje en un 10% so--  
bre el dato en la placa del motor resultaría en  
una ligera mejora en la eficiencia y una decidi--  
da baja en el f.p.; un decremento del 10% en el  
voltaje dará un ligero decremento en la eficien--  
cia y un incremento en el f.p.

3.- El par es proporcional al cuadrado--  
de voltaje aplicado.

4.- Una frecuencia más alta que la especificada usualmente aumenta el f.p. pero disminuye el par a rotor bloqueado e incrementa la velocidad y la fricción. A una frecuencia más baja, la velocidad disminuida, el par de rotor bloqueado se incrementa y el f.p. es levemente disminuido.

5.- Si las variaciones de voltaje y frecuencia ocurren simultáneamente, los efectos se superpondrán. Así, si el voltaje es alto y la frecuencia es baja, el par de rotor bloqueado se incrementará excesivamente pero el f.p. decrecerá y la temperatura se incrementará en carga normal.

#### DETERMINACION DEL TIEMPO DE ARRANQUE

Según la ley fundamental de la dinámica en el movimiento rectilíneo la fuerza es igual a la masa por la aceleración. Análogamente, en el movimiento giratorio el par de giro es igual al momento de inercia por la aceleración angular.

Si la variación de la velocidad es uniforme, la aceleración angular es el coeficiente de dividir la velocidad angular ( $\omega$ ) por el tiempo ( $t$ ), es decir,  $2\pi n/t$ , siendo  $n$  la velocidad en revoluciones por segundo. Si se despeja el tiempo en la ley fundamental de la dinámica, se obtiene la fórmula para calcular el tiempo de arranque  $T_a$  en unidades SI (sistema de unidades internacionales):

$$T_a = 2\pi n J / T_b \dots \text{seg.} \quad \text{EC. 4.10}$$

$J$  = momento de inercia

Sin embargo la mayoría de las veces se indica la velocidad  $n_b$  en rpm ( $j$  en  $\text{kgm}^2$  y  $T_b$  en

Nm) con ellos resulta.

$T_a = 6.28 \times N_b \times J / 60 \times T_b \dots \text{seg.}$

EC. 4.11

$N_b$  = Velocidad nominal

$T_b$  = Par de aceleración.

Para una mejor comprensión en la figura 4.8, se indican los tiempos de arranque en vacío de motores de jaula de 4 polos (arranque sin par resistente y sin masas de inercia adicionales).

Factores que influyen en el tiempo de arranque.

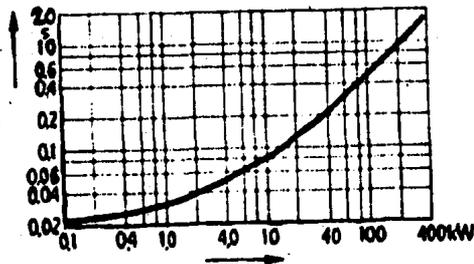
La fórmula anterior muestra que el tiempo de arranque de un accionamiento es directamente proporcional al momento de inercia total.

El momento de inercia total se indica comunmente como múltiplo de momento de inercia propio del motor, bajo la denominación "factor de inercia" FI. con este factor y el tiempo de arranque en vacío de la figura 4.8, puede calcularse con suficiente aproximación el tiempo de arranque de un accionamiento que solamente ponga masas de inercia en movimiento.

El par de aceleración es la diferencia contra el par motor y el par resistente. Para cada velocidad, es decir, en cada punto de la curva se conocería el par de aceleración y podría indicarse, por tanto, lo que el motor tarda en arrancar hasta ese punto. La suma de todos los puntos parciales, es decir desde la velocidad cero a la nominal, daría el tiempo de arranque total. En la práctica, sin embargo, es suficiente estimar el par medio de aceleración para calcular el tiempo de arranque total.

FIG. 4.8

Tiempo de arranque en vacío



Potencia del motor

Fig. 4.8 Tiempos de arranque en vacío de motores de jaula de 4 polos.

Los tiempos de arranque admisibles para cada motor son diferentes, de acuerdo a las condiciones de calentamiento. Practicamente se puede asegurar que para casi todos los motores en estado caliente se permite un tiempo de arranque de 10 segundos o más.

#### INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE MOTORES ELECTRICOS Y MOTORREDUCTORES.

Instalación.- Al hacerse una inversión en maquinaria nueva se espera un buen rendimiento. Este se consigue seleccionando en primer lugar el equipo adecuado para el servicio en cuestión y segundo protegerlo contra materias extra-

ñas del ambiente como agua, polvo, aceite y otras suciedades, tanto de daños mecánicos y hacer la instalación de acuerdo con las condiciones que se dan a continuación.

Mecánica.- La base para el motor debe ser horizontal y plana y, de ser posible, libre de vibraciones. Deben usarse pernos de cimentación o una placa base. Al usarse una base de estructura de fierro debe ésta ser suficientemente rígida para que no se cuelgue u ocasione vibraciones.

Cuando la transmisión sea por medio de bandas debe el motor o reductor montarse sobre rieles tensores para que se pueda ajustar la tensión de las bandas.

Las máquinas deben alinearse siempre con gran cuidado dado que una alineación mal hecha o defectuosa puede producir averías en los baleros, vibraciones incluso rotura de la flecha de salida.

Eléctrica.- Los cables de alimentación al motor deben ser generosamente dimensionados para evitar caída de tensión durante el arranque y durante el servicio normal, ya que el par del motor se reduce en proporción cuadrática con la caída de tensión.

El motor que normalmente tiene 9 terminales se conecta a la red siguiendo las instrucciones de la placa de características cuando se permite arranque a tensión plena. Se comprueba que el motor esté conectado para la tensión que tenga la red.

Al usarse arrancador para arranque a --

tensión reducida u otro método de arranque se --  
conecta el arrancador según el diagrama y las --  
instrucciones que acompañan a esta. El circuito  
de alimentación al motor debe ser provisto de --  
protecciones adecuadas como: protección de corto  
circuito por medio de fusibles seleccionados pa-  
ra resistir la corriente de arranque.

Operación.- Una vez instalado mecánica  
y eléctricamente el equipo y después de que han-  
controlado conexiones, mecánicas y eléctricas, -  
nivel de aceite del reductor etc., se puede po-  
ner en marcha el equipo. Durante las primeras -  
horas de operación debe checarsé cualquier anor-  
malidad en corriente, vibraciones, ruido, tempe-  
ratura de baleros y temperaturas de carcasa tan-  
to del motor, motorreductor, como de la máquina-  
de trabajo.

Mantenimiento preventivo.- El manteni-  
miento preventivo consiste en limpiar, lubricar,  
observar y hacer ajustes menores para que la - -  
operación del equipo pueda ser continúa.

Se limpia el polvo de aparatos eléctri-  
cos para que no ocasione falsos contactos y/o --  
flamasos y también el polvo pegado a carcasas y-  
motorreductores para que no baje la eficiencia -  
del enfriamiento.

Se engrasan los baleros que tienen gra-  
ceras con la calidad, cantidad y con los interva-  
los que señala la placa del motor, mientras esté  
marchando.

En los motorreductores se rellena el ni-  
vel con la calidad de aceite señalada en la placa

Se hacen observaciones de la corriente,  
vibraciones, ruido, temperatura de baleros y - -

temperatura de carcazas y motorreductores.

También debe observarse mediante mediciones el estado del aislamiento de los devanados, por lo menos dos veces al año.

Las observaciones y los ajustes que se efectúan deben anotarse en "reportes de mantenimiento" y estos se usan como base para programar paros para hacer el mantenimiento correctivo.

Mantenimiento correctivo.- El mantenimiento correctivo consiste como indica la palabra, en hacer correcciones al equipo, por ejemplo comprobar la alineación, cambiar baleros, etc., cuando estos se han deteriorado.

### 3.- LEYES, ESTATUTOS, NORMAS.

Los motores y su equipo de control, deben acatarse a las normas locales y nacionales, tales como las que se muestran a continuación con el fin de:

I.- Permitir la conexión de potencia

II.- Satisfacer los requerimientos de seguridad.

1.- Normas NEMA.- Las cuales especifican las dimensiones de montaje para motores de inducción y en general, las características mínimas de operación para todos los tipos de motores y equipos de control.

2.- Normas IEEE.- Los cuales especifican los límites de temperatura para materiales aislantes y prescribe los métodos de capacidad y pruebas de aparatos.

3.- NEC (Código. Eléctrico. Nacional.).  
Que constituye la guía general de inspectores --  
para determinar la aceptabilidad de cubiertas, -  
protección e instalación de motores.

4.- Leyes Estatales.- Las cuales insis-  
ten sobre la seguridad y la reducción de riesgos  
de fuego.

5.- Reglamentos Locales.- Pueden espe-  
cificar alguna construcción especial con el fin-  
de evitar fuego y/o accidentes.

#### 4.4 INTERCAMBIO DE MOTORES ENTRE MA-- QUINAS.

El objetivo de este proyecto consiste-  
en que cada máquina cuenta con el motor adecua-  
do para realizar eficientemente su trabajo y al  
mismo tiempo que utilice la mínima energía eléc-  
trica posible.

Para el intercambio de motores entre --  
máquinas, podemos seguir un método el cual nos -  
indicará el motor más adecuado para realizar el  
trabajo de dichas máquinas. Este método consis-  
te en lo siguiente:

I.- Tomar lecturas de voltaje, corriente,  
potencia y calcular el factor de potencia --  
con el motor actual, de la ecuación:

$$Pe_1 = \sqrt{3} VL_1 I_1 \cos \theta_1, \text{ F.P.} = \cos \theta_1 \quad \text{EC. 4.12}$$

II.- Buscar un motor con las caracte--

rísticas de las lecturas tomadas con el motor actual. Como las variables de la ecuación 4.12 son  $IL1$  y  $\cos \emptyset$  podemos buscar un motor que desarrolle una potencia  $Ps2 = Ps1$  por ser la misma máquina desarrollando el mismo trabajo, con un voltaje  $VL2 = VL1$  pero con un factor de potencia  $\cos \emptyset = 0.85$  que nos va a consumir una  $IL2$ , de la siguiente manera:

FIG. 4.9

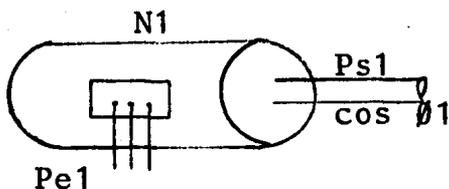
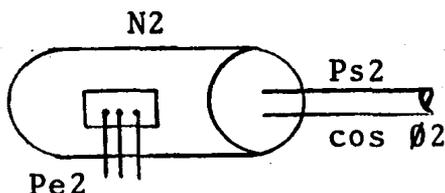


FIG. 4.10



$$Pe1 N1 = Ps1 \text{ como } Ps2 = Ps1, \quad \text{EC. 4.13}$$

$$Ps2 = Pe1 N1 \text{ además de la ecuación.}$$

$$Pe2 = \sqrt{3} VL2 \cdot IL2 \cdot \cos \emptyset 2, \text{ sabemos que EC.4.14}$$

$$Pe2 = Ps2/N2 \text{ y sust. en la ecuación 4.14}$$

$$Ps2/N2 = \sqrt{3} VL2 \cdot IL2 \cdot \cos \emptyset 2 \text{ y despejando } IL2 \text{ tenemos que:} \quad \text{EC. 4.15}$$

$$IL2 = Ps2/N2 \sqrt{3} VL2 \cdot \cos \theta 2$$

EC. 4.16

Donde:

- IL1 = Corriente de línea del motor 1.
- IL2 = Corriente de línea del motor 2.
- VL1 = Voltaje de línea del motor 1.
- VL2 = Voltaje de línea del motor 2.
- Pe1 = Potencia de entrada del motor 1.
- Ps1 = Potencia de salida del motor 1.
- Pe2 = Potencia de entrada del motor 2.
- Ps2 = Potencia de salida del motor 2.
- N1 = Eficiencia del motor 1.
- N2 = Eficiencia del motor 2.
- COS  $\theta$  = Factor de potencia del motor 1.
- COS  $\theta$  = Factor de potencia del motor 2.

Estimamos N1 de acuerdo a los datos del fabricante los cuales nos indicarán como variará N1 al variar el porcentaje de carga accionada -- por el motor (consultar tabla 4.4).

Al obtener Ps2, IL2, VL2 y seleccionar un motor con tales características, automáticamente obtenemos N2 que es la eficiencia de dicho motor.

En consecuencia  $N2 > N1$  y  $\cos \theta 2 > \cos \theta 1$  con lo que estaremos racionalizando la energía eléctrica.

III.- Tomar lecturas de nuevo de voltaje, corriente, potencia y calcular el factor de potencia con el motor mencionado en el inciso 2 y si funciona adecuadamente, esto es, con factor de potencia, corriente, potencia, voltaje y rendimiento aceptables, podemos cambiar el motor -- actual por el que encontramos y que ofrece igua-

les condiciones de trabajo con menor consumo de energía eléctrica.

IV.- Si el motor probado no cumple satisfactoriamente los requisitos mencionados anteriormente, buscamos más motores de acuerdo con el inciso 2 y los probamos de nuevo como en el inciso 3 hasta hallar el motor que satisfaga las condiciones requeridas.

TABLA 4.4

DATOS SOBRE MOTORES DE INDUCCION, TRIFASICOS, 40°C EN TIPOS ABIERTOS, 220 A 440 VOLTIOS FABRICADOS POR LA WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.

CV	POLOS	VELOCIDAD RPM	PESOS MOTOR SOLO KG.	N(%) CON CARGA		
				1:2	3:4	100
60 períodos						
1	4	1750	34	70	75	77
3	4	1750	52	78	81	83
5	4	1735	66	81	83	83
7.5	6	1160	124	83	84	84
10	6	1155	138	86.5	86	83.5
20	6	1165	233	87	88	87
50	6	1175	503	87	88	88
100	8	870	865	89	90	90.5

25 períodos

2	2	1430	59	76	78	78
3	2	1435	66	85	86	86
5	2	1433	92	80	82	82
7.5	2	1432	138	85	86	84
10	2	1432	172	87	87	86
20	2	1452	233	88	89	89
50	2	1437	552	86	88	87
100	4	715	1327	88	89	89

FACTOR DE POTENCIA (%) CON CARGA

1.2	3.4	100
60 períodos		
47	60	70
59	71	78
70	78	82
70	81	85
77	86	88
74	82	85
80	85	87
77	86	89
25 períodos		
65	75	83
72	79	84
68	79	86
76	85	89
83	89	91
84	88	90
87	91	93
85	91	93

## 4.5 CONCLUSION

Como hemos visto en todo lo que se ha tratado es posible que racionalicemos el uso de nuestra energía eléctrica observando que se cumplan las condiciones dadas por las alternativas de solución así como proporcionando un mantenimiento preventivo y correctivo a todo el sistema eléctrico. (Instalaciones, motores, maquina, etc.).

Incluimos una introducción acerca del factor de potencia, con el fin de tener presente su significado ya que indica como se aprovecha la energía eléctrica.

C A P I T U L O V .

C O N C L U S I O N E S .

## 5.1 CONCLUSIONES

### I.- SOBRE EL APROVECHAMIENTO REAL DE LA ENERGIA.

Nos hemos dado cuenta a través de este estudio sobre la situación real, tanto de las instalaciones eléctricas como de los motores que se encuentran funcionando y se ha observado que no se aprovecha adecuadamente la energía eléctrica, porque no se toman las precauciones para este fin, al seleccionar un motor, al hacer una instalación, etc.

En un gran número de industrias se tiene el mismo problema debido a que no se cuenta con la organización apropiada; o sea, un departamento que se dedique a realizar estudios sobre como seleccionar los equipos eléctricos adecuadamente y lograr un control sobre la planta.

Afirmamos lo anterior en base a que los departamentos de mantenimiento eléctrico en casi todas las plantas industriales se dedican a mantener funcionando el equipo para lograr la producción deseada, pero no profundizan en cuanto a la eficiencia del sistema eléctrico ni hacen estudios para determinar cuales son las condiciones óptimas de los mismos.

## 5.2 CONCLUSIONES

### II.- COMO EJERCER UN CONTROL SOBRE EL SISTEMA ELECTRICO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL.

Sabemos que si se siguen las indicaciones hechas en su respectivo capítulo sobre como lograr el control de un sistema eléctrico, sentiremos la seguridad que nos proporciona, dominar el sistema eléctrico de la planta industrial donde laboremos y estaremos seguros de no correr riesgos de incendios, accidentes, etc., que podrían ocasionar la destrucción de la fábrica y la pérdida humana irreparable. Estas son las razones por las cuales debemos ejercer un control sobre todo sistema eléctrico; razones muy poderosas.

Esperamos que esta obra sirva para despertar en los estudiantes e ingenieros de la rama eléctrica, el deseo de profundizar en el estudio de la racionalización del consumo de energía eléctrica, lo cual nos evitará futuros problemas y nos ayudará a crecer más rápidamente en todos los aspectos.

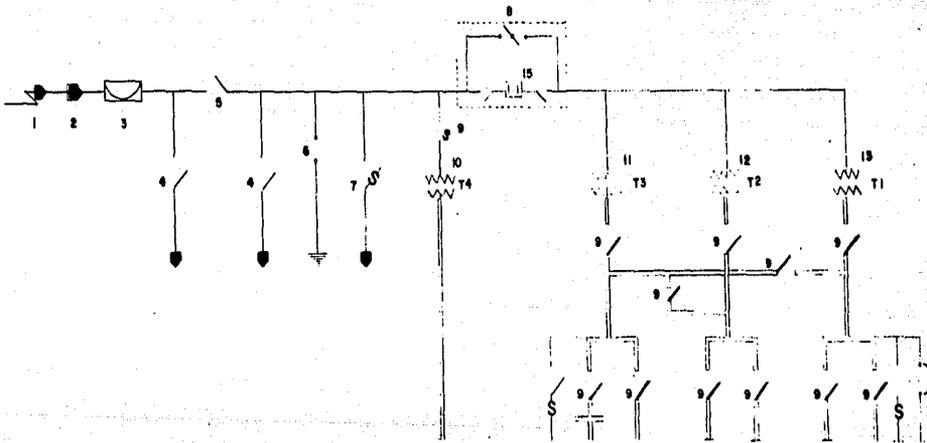
NOTA: Para nuestro estudio, no analizamos el alumbrado por consumir un 5% de la carga total de nuestro sistema.

# FALLA DE ORIGEN

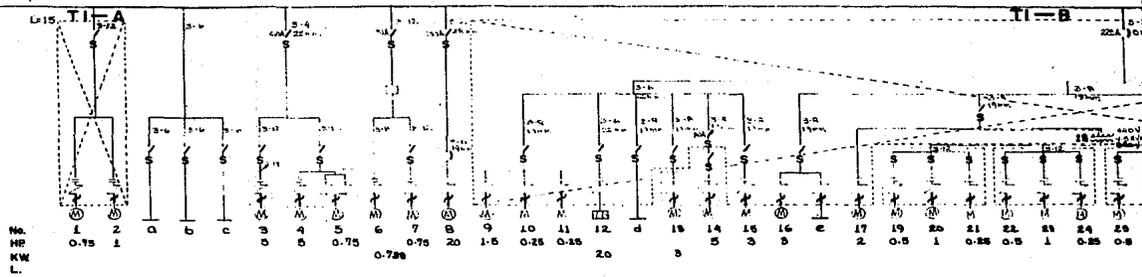
## SUB - ESTACION Nº1

- 1.- ACOMETIDA DE LA COMPAÑIA DE LUZ
- 2.- MUSA
- 3.- MEDIDOR DE LA COMPAÑIA DE LUZ
- 4.- CUCHILLAS DE PRUEBAS
- 5.- CUCHILLAS GENERALES
- 6.- APARTARRAYOS WESTINGHOUSE S.S.O SIMLAR 23KV
- 7.- ALIMENTACION SE 2 3 X 150mm<sup>2</sup>
- 8.- CUCHILLAS SECCIONADORAS AEREAS
- 9.- CUCHILLAS SECCIONADORAS I.E.M. TIPO 100 800A 7.5KV
- 10.- TRANSFORMADOR 3 Ø I.E.M. TIPO OA 800KVA 50HZ 23KV/480V AY 25.8%
- 11.- TRANSFORMADOR 3 Ø I.E.M. TIPO SL 1000KVA 50HZ 23KV/480V AA 25.8%
- 12.- TRANSFORMADOR 3 Ø I.E.M. TIPO SL 1000KVA 50HZ 23KV/480V AA 25.8%
- 13.- TRANSFORMADOR 3 Ø IESA TIPO N.C.A.E 1000KVA 50HZ 23KV/480V AZ 25.8%
- 14.- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO ITE CIRCUITO BREAKERCO TIPO KK00 V00A 600VCA 250VDC 50000A CAP. INTERRUPTIVA
- 15.- INTERRUPTOR GENERAL BROWN BOVERI TIPO DB - 08 20M 100 CAT. AG90090D 23 KV 1000A 1000 MVA.

### DIAGRAMA DE CONEXION



ALIMENTADOR No 1, 3-750 MCMTHW  
 In 28192 A.  
 P. N.R. 116.08  
 K.W. 2287



T. G. D. F.

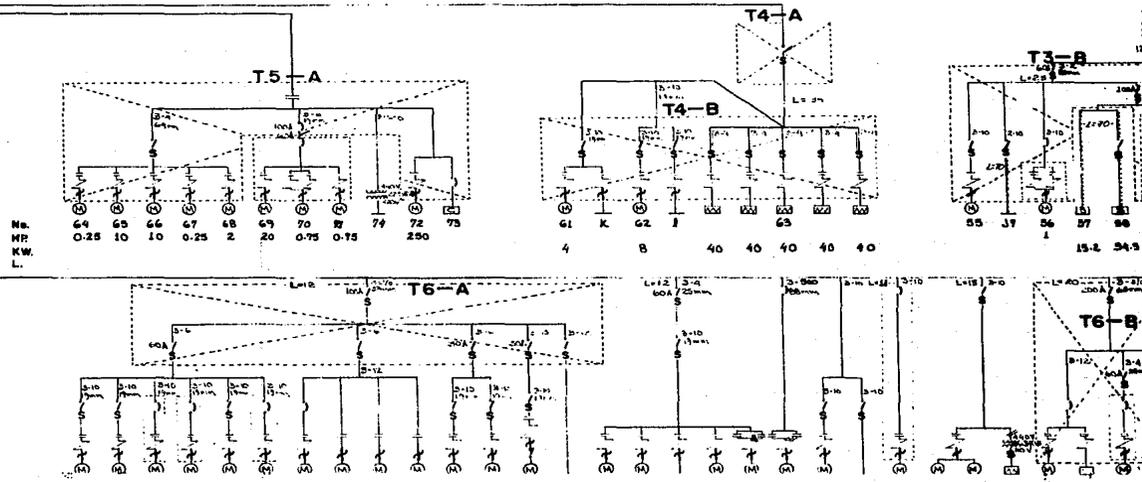
ALIMENTADOR No 2, 3-500 MCMTHW  
 In 513 A.  
 P. N.W. 193

ALIMENTADOR No 3, 3-750 MCMTHW  
 In 623 + line 47 + 1108.5 A.  
 P. N.P. 4  
 K.W. 132

ALIMENTADOR No 4, 2-400 MCMTHW  
 In 288.4 A. 1-500 MCMTHW  
 P. N.W. 212

ALIMENTADOR No 5, 3-750 MCMTHW  
 In 378.08 A.  
 P. N.R. 204

ALIMENTADOR No 6, 3-750 MCMTHW  
 In 508.74 A.  
 P. N.P. 270.03  
 P. N.W. 188.97



1600 A

1600 A

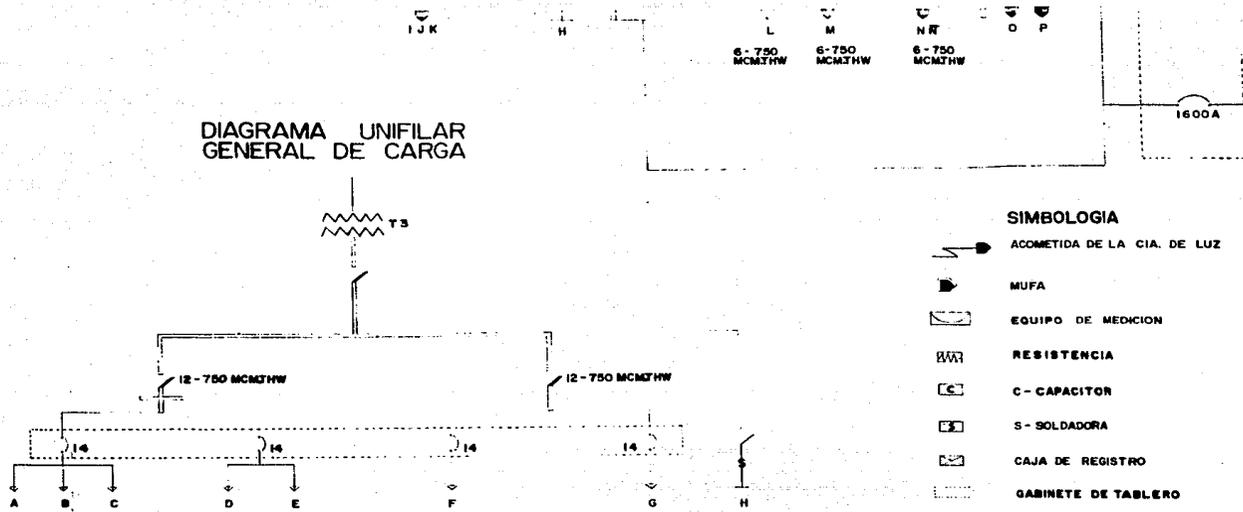
1600 A

**A PARTIR DE  
ESTA PAG.**

**FALLA DE  
ORIGEN.**



## DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DE CARGA



ALIMENTADOR No 7, 3-750  
 119.30A  
 N.P. 404  
 E.M. 21793

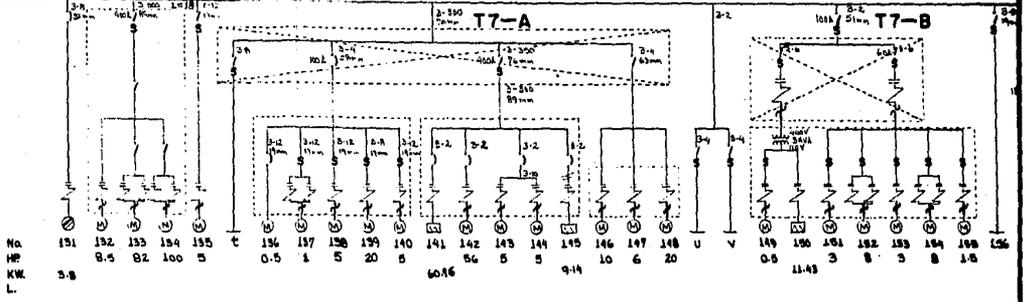
### SIMBOLOGIA

- ACOMETIDA DE LA CIA. DE LUZ
- MUFA
- EQUIPO DE MEDICION
- RESISTENCIA
- C - CAPACITOR
- S - SOLDADORA
- CAJA DE REGISTRO
- BARRA DE COBRE
- (M) MOTOR
- RESERVA
- CONEXION A TIERRA
- INTERRUPTOR DE CUCHILLA FUSIBLE
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
- INTERRUPTOR 2 TIROS 2 POLOS
- ARRANCADOR A TENSION COMPLETA

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| A.. ANTIBUO MAGNETO       | J.. ALUMBRADO CENTRAL     |
| B.. HORNO ONOFF           | K.. ALUMBRADO PIRELLI     |
| C.. EMBARQUES             | L.. LAMNACION             |
| D.. HORNO PRIZ            | M.. F - 13 - 1            |
| E.. F - 13 - 2            | N.. DERECHO               |
| F.. PIRELLI DERECHO       | N̄.. IZQUIERDO            |
| G.. PIRELLI IZQUIERDO     | O, P.. CAPACITORES FUERZA |
| H.. CAPACITORES FUERZA    |                           |
| I.. CAPACITORES ALUMBRADO |                           |

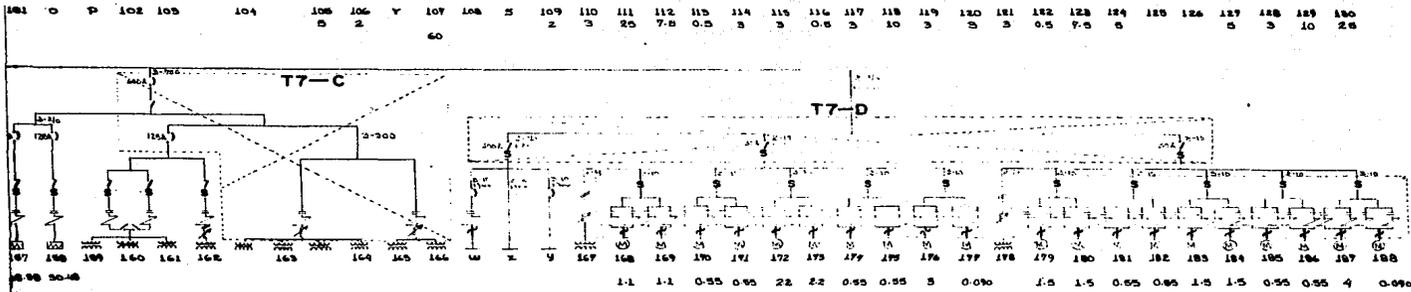
No.	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	m	88	89	n	90	91	92	93	7	94	95	96	97	98	99	100
HP	3	3	3	3	3	3	1	0.5	0.5	0.5	5	5	15		5	3		3	3	125	42		0.185	0.185	5.4	0.25	0.25	3	
KW																													
L.																													

M7HW



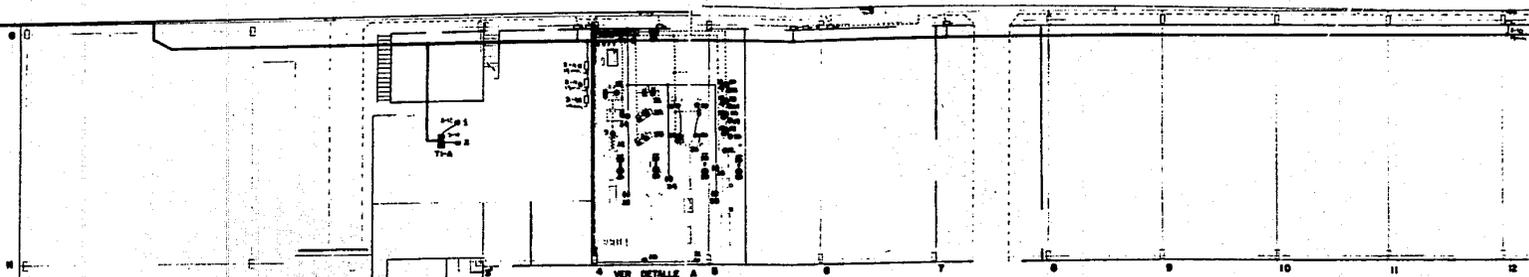
No.	131	132	133	134	135	t	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	U	V	149	150	151	152	153	154	155	156
HP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	1	5	20	5	5	5	5	5	5	10	6	20			0.5	11.43	3	3	3	3	3	
KW	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.7	3.7	14.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	7.4	4.2	14.7			0.3	8.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	
L.																													

- ARRANCADOR A TENSION REDUCIDA CON TRANSFORMADOR O RESISTENCIA
- ARRANCADOR REVERSIBLE
- ARRANCADOR MANUAL
- ELEMENTO TERMICO
- TABLERO DE FUERZA
- TABLERO DE CONTROL
- TABLERO DE ALUMBRADO
- CONTACTO MONOFASICO
- CONTACTO TRIFASICO
- REGSTATO
- TUBERIA POR MURO O TECHO
- TUBERIA OCULTA
- SIN CONEXION
- CONEXION
- B BAJA
- S SUBE
- USO RUDD
- L LONGITUD
- TRANSFORMADOR

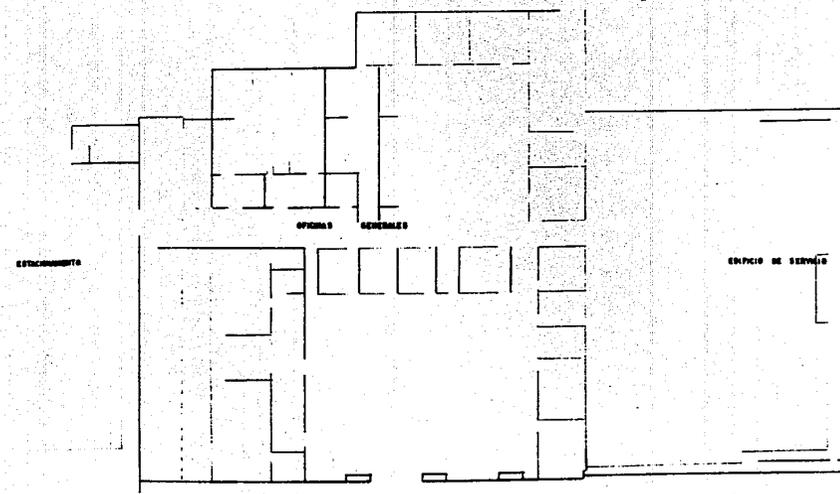


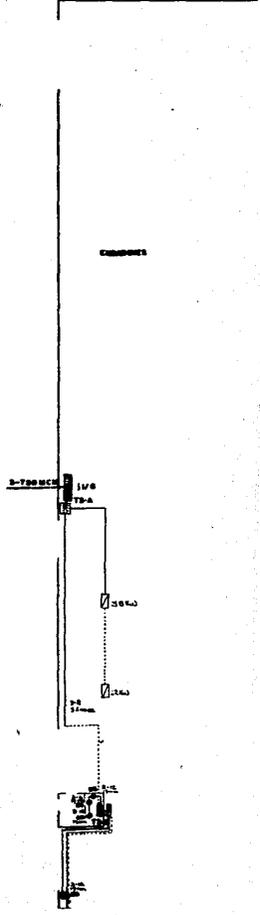
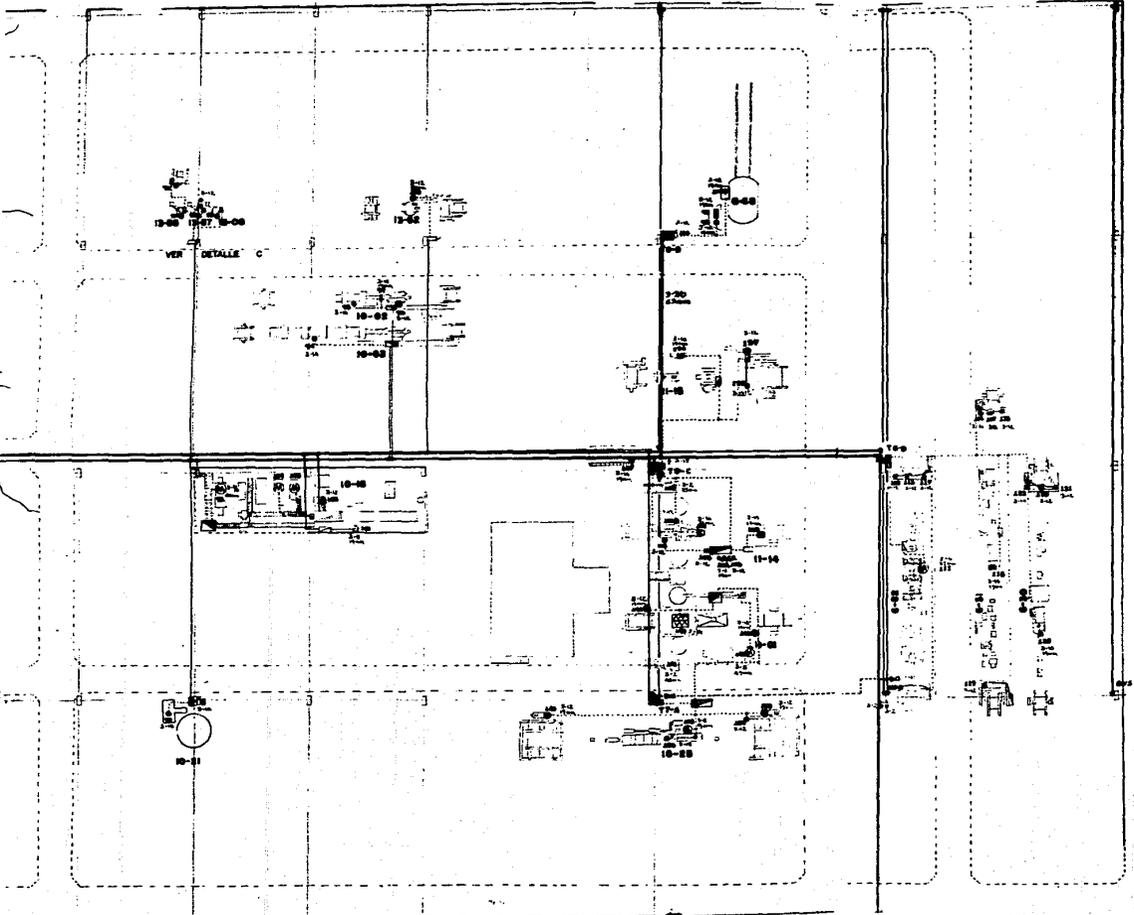
<b>U N A M</b>		
<b>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES</b>		
<b>CUAUTITLAN - IZCAHUI</b>		
Patricia Almeida Arvizu Jose Oscar Grageda Cuevas Marco Polo Moctezuma		
LEVANTARON:		
<b>DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL</b>	<b>ESCALA:</b> SIN ESCALA	<b>ACOTADO EN:</b> SIN
<b>440 Volts, 60 C.R.S.</b>	<b>PLANO: CX-3U</b>	
<b>3 Fases, 3 Hilos.</b>	<b>REVISO:</b> JALBERTO ROSAS HDEZ.	
<b>FECHA: FEBRERO/1980</b>	<b>DIBUJO:</b> PATRICIA ALMEIDA A.	

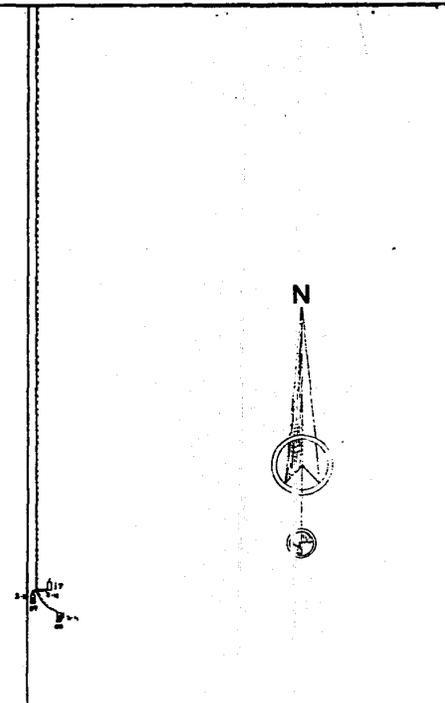
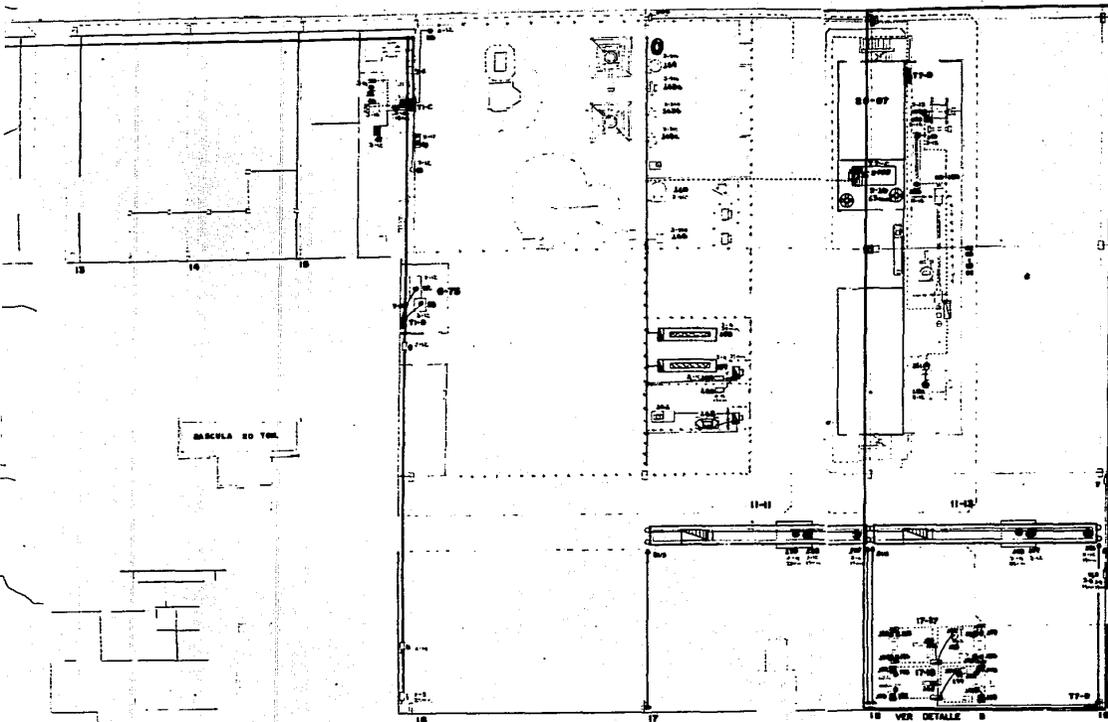




4 VER DETALLE A 5 6 7 8 9 10 11 12



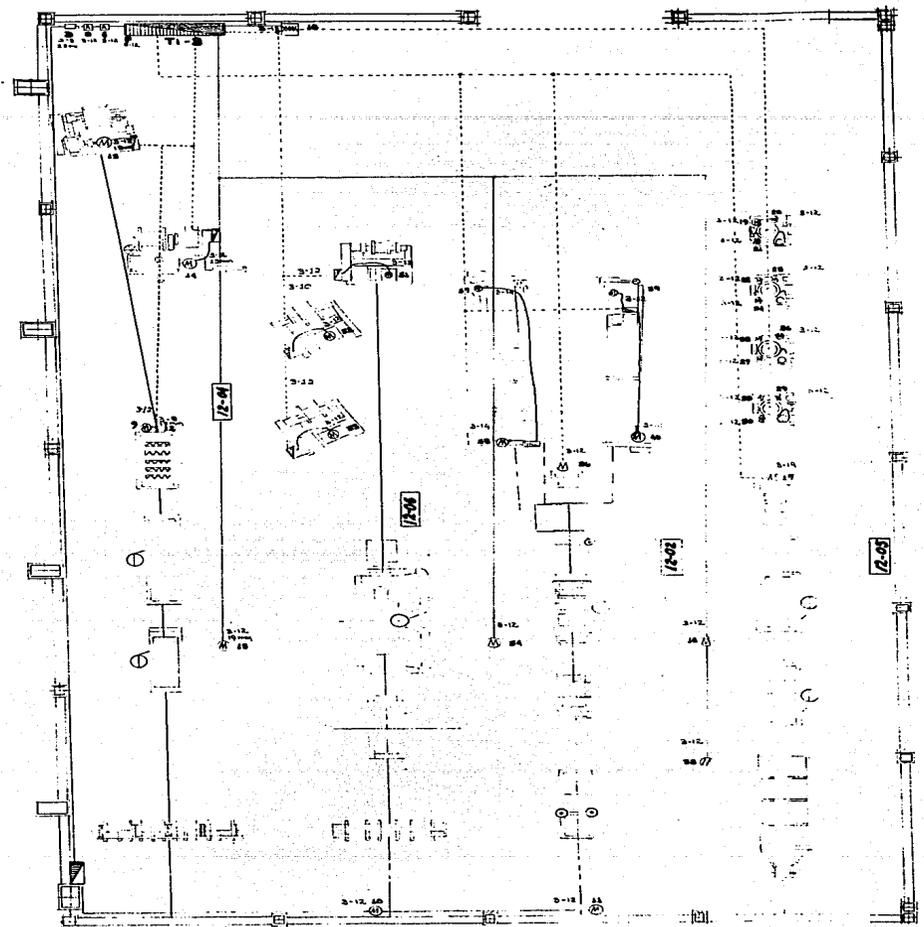




**NOTAS:**

- a) LA TUBERIA DE Ø NO ESPECIFICADA ES DE 13mm.
- b) PARA VER SIMBOLOGIA PLANO CX-3U
- c) PARA VER DIAMETRO UNIFILAR PLANO CX-3U
- d) PARA VER DETALLES A, B, C PLANO CX-3F

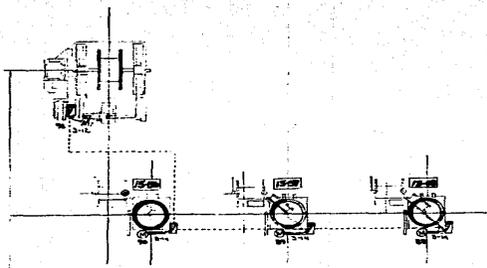
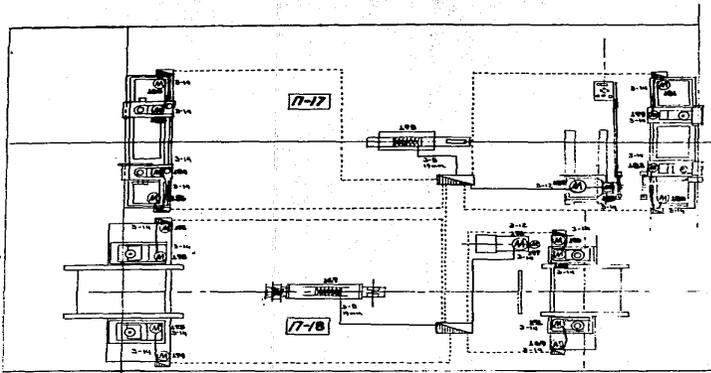
<b>U N A M</b>		
<b>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES</b>		
<b>CUAUTITLAN</b>		
LEVANTARON:		
Patricia Almeida Arvizu. José Oscar Grogade Cuevas. Marco Polo Mezaizuma Aquino.		
INSTALACION ELECTRICA	ESCALA:	ACOTADO EN:
DE FUERZA	1:500	Mts.
440 Volts. 60 CPS.	PLANO:	CX-1F
3 Fases, 3 Mitos.	REVISO:	ALBERTO ROSAS HDEZ
FECHA: FEBRERO/1980	REVIC:	MARCO POLO MEZAIZUMA AQUINO



DETALLE A

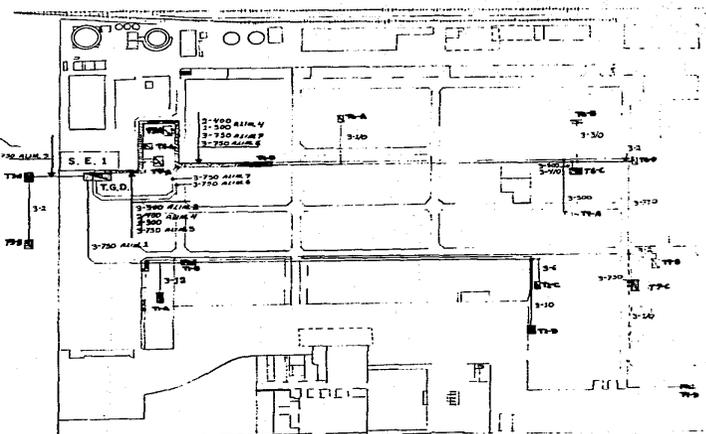
UNIVERSITY OF MICHIGAN  
 LIBRARY

UNIVERSITY OF MICHIGAN  
 LIBRARY  
 ANN ARBOR, MICHIGAN  
 48106-1000

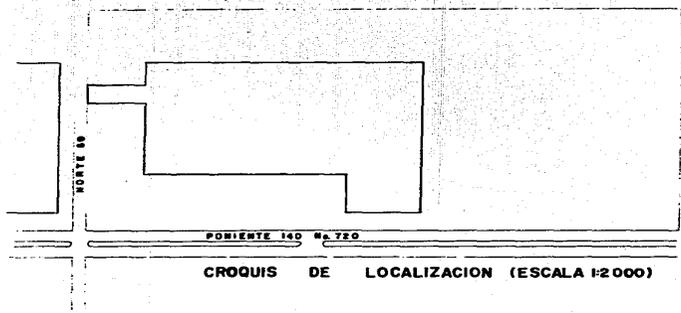


DETALLE - C

DETALLE B



TRAYECTORIA DE ALIMENTADORES PRICIPALES (ESC. 1:1000)



CROQUIS DE LOCALIZACION (ESCALA 1:2000)

NOTAS:

- a) LA TUBERIA DE ØNO ESPECIFICADO ES DE 13mm.
- b) PARA VER SIMBOLOGIA CONSULTAR PLANO CX-3U

<b>UNAM</b>		
<b>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES</b>		
<b>-- CUAUTITLAN</b>		
<b>LEVANTARON:</b>		Patricio Almeida Arvizu José Oscar Graedera Cuevas Marco Polo Macetzuma Aquino.
<b>DETALLES INSTALACION ELECTRICA DE FUERZA</b>	<b>ESCALA:</b> 1:50	<b>ACOTADO EN:</b> Mts.
<b>440 Volts. 3 Fases.</b>	<b>60 C.P.S. 3 Niveles</b>	<b>PLANO:</b> CX-2F
<b>FECHA:</b> FEBRERO/1980	<b>REVISO:</b> JALBERTO ROSAS NBEZ.	<b>DIRIGIO:</b> JOSUAN BRASEDA C.

**C U A D R O D E F R E C U A D O R G A S**

ALIM.No	MOT.No	CONCEPTO Y No. DE INGENIERIA	M O T O R										A R R A N C A D O R				I N T E R F		VOL
			K.V.A	RPM	HP	KW	A	FS	DIS.N	MARCA	BOL.CLASE	CAT.TIPO	ELEM	NEMA	MARCA	AMPERES	S		
01		EXTRACTOR DE AIRE	1729	0.75		1.3	1.25	B	I. E. M.	9586	H6046	H10.24	0	C. H		30	30	600	
02		EXTRACTOR DE AIRE	1705	1		1.7	1.20	B	I. E. M.	9586	H6003	H10.24	0	C. H		30	30	600	
03		BUNCHER 5-78	1738	5		6.9			G. E.	8536	CG3	B18.5	1	A. B		30	30	578	
04		BUNCHER 5-79	1738	1		1.7			I. E. M.	709	B0D	10.43	1	A. B		30	30	600	
05		BUNCHER 5-79	1729	0.75		1.3			G. E.	8736	B0.4	B9.10	0	S. D		30	30	600	
06		SOLDADORA 5-74	1390		0.738	1.65			WARELLI	8838	B02	B3.3	0	S. D		30	30	600	
07		REEMBOLINADORA 13-49	3300	0.75		1.6			DINAMATIC	8838	B02	B2.4	0	S. D		15	30	500	
08		BUNCHER 5-72	1185	20		2.6		B	SIEMENS	8836	E01	C34	3	S. D	50		500		
09		BOMBA 12-04	3600	1.6		2.8		B	U. S.	9586	H10.30	0	C. H			30	30	600	
10		EXTRACTOR ESTANADO	1650	0.25		0.7			ASEA	2810	BG2	B1.3	M-0	S. D		30	30	600	
11		EXTRACTOR DE ESTANADO	1650	0.25		0.7			ASEA	8536	CG2	B1.67	0	S. D		30	30	600	
12		RESISTENCIAS 12-04				20	26.3			8502	D02		2	S. D		60	60	600	
13		ENROLLADOR No1 12-04	2870			5.95			SIEMENS	A10	CG0	H10.34	1	C. H		30	30	600	
14		ENROLLADOR No2 12-04	1450	5		7	1	B	LUUIS ALLIS	A-10	CG0	H10.34	1	C. H		30	30	600	
15		EXTRACTOR 12-04	1720	3		4.6	1.1	B	I. E. M.	8536	CG3	B6.25		S. D		30	30	600	
16		EXTRACTOR 12-06	1720	3		4.6	1.1	B	I. E. M.	8536	BG2	B7.7		S. D		30	30	600	
17		BOMBA 12-05	3638	2		3			ASEA	8536	BG2	B6.25		S. D		30	30	600	
18		TRANSFORMADOR 12-05																	
19		ENROLLADOR VERT. 12-05	3370	0.6		0.8			ASEA		Z0			KLUCKNER M		30	30	600	
20		ENROLLADOR VERT. 12-05	1720	1		1.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
21		ENROLLADOR VERT. No1	1380	0.25		0.64			FRITZ BUSER		Z0			K. M		30	30	600	
22		ENROLLADOR No2, 12-05	3370	0.6		0.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
23		ENROLLADOR No2, 12-05	1720	1		1.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
24		ENROLLADOR No2, 12-05	1380	0.25		0.64			FRITZ BUSER		Z0			K. M		30	30	600	
25		ENROLLADOR No3, 12-05	3370	0.5		0.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
26		ENROLLADOR No3, 12-05	1720	1		1.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
27		ENROLLADOR No3, 12-05	1380	0.25		0.64			FRITZ BUSER		Z0			K. M		30	30	600	
28		ENROLLADOR No4, 12-05	3370	0.5		0.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
29		ENROLLADOR No4, 12-05	1720	1		1.8			ASEA		Z0			K. M		30	30	600	
30		ENROLLADOR No4, 12-05	1380	0.25		0.64			FRITZ BUSER		Z0			K. M		30	30	600	
31		ENROLLADOR No1, 12-06	1750	3		4.1	1.15	B	RELIANCE	8536	C03	B6.25	1	S. D		30	30	600	
32		ENROLLADOR No2, 12-06	1735	5		6.7			I. E. M.	8536	B02	B7.70	0	S. D		30	30	575	
33		ENROLLADOR No3, 12-06	1720	1		1.8			ASEA	A-10	CG0	H0.32	0	C. H		30	30	600	
34		EXTRACTOR 12-02	1732	3		4.8	1.1		I. E. M.	8536	B02	B4.85	0	S. D		30	30	600	
35		EXTRACTOR 12-02	1732	3		4.8	1.1		I. E. M.	8536	B02	B4.85	0	S. D		30	30	600	
36		BOMBA 12-02	1720	1		1.8	1.15	B	LUUIS ALLIS	8538	BG2	B6.2	0	S. D		30	30	600	
37		ENROLLADOR No1 a 12-02	1150	3		4.7	1.15	B	ALLIS CHALMER	705	A0D	N23	0	A. B		30	30	600	
38		ENROLLADOR No1 b 12-02	1725	0.33		0.75			A. CH	705	T0D	N28	0	A. B		30	30	600	
39		ENROLLADOR No2 e 12-02	1160	3		4.7	1.15	B	A. CH	705	A0D	N23	0	A. B		30	30	600	
40		ENROLLADOR No2 b 12-02	1590	0.5		1			BAVER	8536	B02	B9.2		S. D		30	30	600	
41		BUNCHER 5-83	968	30		42			ENGLISH ELECTR		10	ELEGIBLE	42	APPARATUS ELEC.		60	60	600	
42		SOLDADORA														30	30	600	
43		BUNCHER 5-90	1745	1.5		10.6			W. H	K915-III		10-16A	2	SIEMENS		30	30	600	
44		BUNCHER 5-11	1760	5		5			ELLIOT COMPANY	9586	H6170	H1368	1	C. H		30	30	600	
45		TRANSFORMADOR	12																
46		MOTOR RESISTENCIAS A.T.								9586	H6045	H1030	1	C. H	50				
47		FILNO DE ACEITE A.T.		1		2				9115	H171	H1037	0	C. H	50				
48		CONTACTO A.T.			0.125														
49		MOTOR COMPRESORA A.T.	1390	1.5		3.57			E. S. P.	8536	B02	B4.85		S. D	15				
50		CONTACTO TRIFASICO A.T.				3.8	5												
51		CONSOLA ANACONDA A.T.	875	1.5		8.9			G. E.		C12.5B	1	G. E		30				
52		EXTRACTOR CUARTO DE GAS A.T.	8870	0.5		0.18			ASEA	8536	BG2	B3.70		S. D		30	30	600	
53		EXTRACTOR CUARTO DE GAS A.T.	1720	1		1.8			ASEA	8536	BG2	B1.03		S. D		30	30	600	

**TOTAL** 3 48084 508 116.08 374 221.92

54 MORNO GHOFF 2-13 195 513 OXOFF 7700 CLARK CONTROL

**TOTAL** I RESISTENCIA 195 513

55		MOTOR DE BOMBA DE AGUA			1.2	3.9			SIEMENS	8536	B02	B6.2		S. D		30	30	240
56		MOTOR PUERTA PRINCIPAL		42.5	1	3.5		E		8736	C08	B4.85		S. D		100	100	250
57		PLANTA SOLDADORA	7.6			6	20		MOBART WELDEE							30	30	250
58		PLANTA SOLDADORA	10			8	26		GENEVER							100	100	250
59		MOTOR BOMBA AGUA	3500	1.5		4.5	1.15	B	RELIANCE	390	001	H45	1	I. E. M		30	30	600
60		MOTOR DEL COMPRESOR	3500	1.6		4.6	1.15	B	I. E. M	8536	BG2	B6.25		S. D		30	30	240



TOTAL		3 MOTORES CON 3 MOTORAS CON MOTOR		17.6	4	1.2	62.5														
4	61	MOTOR BOMBA AGUA		1420		4	7.7		LONER SOWNEY	8502	B63	B10.2	1	S. D		30	30	600			
	62	MOTOR BOMBA ACEITE		1430		8	14.7		CARBE LAHMEYER	8536	DO1	B17.5		S. D		30	30	600			
	63	HORNO FRITZ 3-33				200	283		FRITZ	K915 II			2	SIEMENS		400	400	600			
TOTAL		2 MOT Y 1 REST CON					212		283.4												
5	74	TRANSFORMADOR		225																	
	64	MOTOR DE BOMBA DE ACEITE					0.25	0.72	G. E	6013	C Y	S9.5	1	CLARK BULL		100	100	600			
	65	ENRRROLLADOR No 1,3-55					10	13	DINAMATIC	6013	C Y	SH511.5	2	CLARK CONT		100	100	600			
	66	ENRRROLLADOR No 2,3-55					10	13	DINAMATIC	6013	C Y	S14	2	C. C		100	100	600			
	67	MOTOR 3-55					2	0.25	0.50	BOSTON	6013	C Y A	S.084	0	C. C		100	100	600		
	68	VENTILADOR 3-55					2	2.5		WESTINGHOUSE	8536	C O 3	B19.5	0	S. D		100	100	600		
	69	MOTOR TONGAS 3-08					20	2.5		PACE MAKER		N40	0-5	A. B					480		
70	MOTOR TONGAS 3-08						0.75	1	CENTURY		N19								480		
71	MOTOR TONGAS 3-08						0.75	1.3	G. E	708			0	A. B					480		
72	MOTOR PRINCIPAL						260	322	G. E				3	G. E						480	
TOTAL		9 MOTORES CON					294		379.02												
6	75	REEMBOLINADORA 5-75				3	4.2		RELIANCE	8586	H6045A	H1032		C. H			30	30	600		
	76	REEMBOLINADORA 5-87		1750	3	4.1	1	B	RELIANCE	8536	B02	B9.20		S. D		20	30	30	600		
	77	REEMBOLINADORA 5-86		1750	3	4.1	1	B	RELIANCE	8536	C O 2	B7.70		S. D					600		
	78	REEMBOLINADORA 5-89		1750	3	4.1	1	B	RELIANCE	A-10	BN0	H10.25		O. H		15			600		
	79	REEMBOLINADORA 5-91			970	3	5.0		CONTINENTAL	9586	H6003	H1031		C. H			30	30	600		
	80	REEMBOLINADORA 5-66			1750	3	4.1	1	B	RELIANCE	8536	B6 2	B6.25		S. D		20			600	
	81	REEMBOLINADORA AUXILIAR			1740	1	1.75		SIEMENS	8536	B0 2	B4.15		S. D		15			600		
	82	REEMBOLINADORA 8-67			1400	0.5	1.0		SIEMENS			1.5-2A		SIEMENS				30	30	600	
	83	REEMBOLINADORA 8-60			1400	0.5	1.0		SIEMENS			1.5-2A		SIEMENS				30	30	600	
	84	REEMBOLINADORA 8-70			1400	0.5	1.0		SIEMENS			1.5-2A		SIEMENS				30	30	600	
	85	WATSON G 1,5-08			1740	5	6.5		I. E. M	9586	H6045	H1035		C. H				30	30	600	
	86	WATSON G 5-05					5	1.7		I. E. M	9586	H6045	H1037		C. H			30	30	600	
	87	16 POSICIONES 5-07					18	1.7		G. E				G. E				30	30	600	
	88	TRENSADORA 13-08					5	7	LI	B	I. E. M	8536	B6 2	B6.25	S. D			30	30	600	
	89	TRENSADORA 13-57					3	4.3		SIEMENS	9586	H6067G	H1029	0	C. H			30	30	600	
	90	TRENSADORA 13-56					3	4.3		SIEMENS	9586	H6067G	H1038	0	C. H			30	30	600	
	91	ENRRROLLADORA 13-56					3	4.1		WELCO	8536	B6 2	B8.2		S. D			30	30	600	
	92	MOTOR PRINCIPAL 10-16					125	168		GEC WITTON					GEC WITTON		225			600	
	93	TANQUE DE ACEITE 10-21					4.2			BAUMULLERE	8536	C G 3	B19.5		S. D			30	30	600	
	94	FORRADORA 10-03						0.185	0.52	E M G	8586		H1011		C. H		18			600	
	95	FORRADORA 10-02						0.185	0.52	E M G	8536	C O 3	B17.5		S. D			30	30	600	
	96	MOTOR PRINCIPAL 10-02					5.6		0.6	MARELLI	8536	C O 3	B17.5		S. D			30	30	600	
	97	RESISTENCIAS 10-02							0.6											600	
	98	EXTRACTOR DE AIRE 6-68			2800	0.25	0.1	0.4		ASEA	8536	B0 2	B1.30		S. D			15		600	
	99	FILTRO DE AIRE SECO 6-68					3	3.9		SIC	8536	C O 3			S. D			15		600	
	100	BOMBA DE AUTOCLAVE 6-68			1740	3		4.55		SIEMENS	8536	C G 3	B7.7		S. D			15		600	
	101	SOLDADORA 6-68																		600	
	102	TRANSFORMADOR 11-14			335														30		600
	103	RESISTENCIAS 11-14						2.43	4											600	
	104	TUBULADORA PLOMO 11-14						102	150										300		600
	105	BOMBA 11-14						7	3.0	B	V. S								10		600
	106	MOTOR DE ACEITE 11-14			1415	2			3.0	G. S									100		600
	107	RESISTENCIAS CRISOL 11-14					60	71			8936	DO 1			S. D			60		600	
	108	ENRRROLLADOR 11-14					1.8	3		SIEMENS	8736	C O 8	B3.00		S. D			40		600	
	109	VENTILADOR 11-14					2	2		SIEMENS	8536	B0 2	N21	1	A. B		60	60	600		
	110	WATSON No 3 5-06			1715	3		4.3		ASEA	K98-III		5-10A	2	SIEMENS		15			600	
	111	CABLEADORA 5-06			1745	25		30.5		G. E	8536	DG 1	B32	2	S. D		100			600	
	112	ENRRROLLADOR 5-06			1760	7.5		10		REALINCE		3TAZ2-100A	8-10A		SIEMENS		15			600	
	113	GUIADOR 5-06			1680	0.5		1		ASEA		3TAZ1-110A	5-10A		SIEMENS		15			600	
	114	HIIDRAULICO 5-06			1715	3		4.3		ASEA		3TAZ-110A	5-10A		SIEMENS		15			600	
	115	HIIDRAULICO ENGINO, No 1,6-31			1430	3		1.3		ASEA	A 10	H 1028	0		C. H		30			600	
	116	GUIADOR 6-31			1728	0.5		1		DOER	A 10	H 1028	0		C. H		30			600	
117	ENRRROLLADOR 6-31			1400	3		4.6		LOUIS ALLIS	8536	B6 2	B7.0	0	S. D			30		600		
118	MOTOR PRINCIPAL 6-81			1750	10		12.7		LOUIS ALLIS	A 10	C G 0	H1041	1	C. H			30		600		
119	MOTOR DESENRRROLLADOR 6-31			1430	3		4.3		ASEA	K915-III		5-10A	1	SIEMENS		30			600		
120	ENCINTADORA 6-30			1400	3		4.6		LOUI ALLIS	8902	C O 2	B19.5		S. D			30		600		
121	GUIADOR 6-30			440	3		4.3		ASEA	8536	B0 2	138.2	0	S. D			30		600		
122	ENRRROLLADOR 6-30			1725	0.5		1		DOER	A 10	PW0	PUNTEA		C. H			30		600		
123	MOTOR PRINCIPAL 6-30			1750	7.5		10.5		LOUI ALLIS	8536	C G 3	B19.5	1	S. D			30		600		
TOTAL		3 MOTORES CON 3 MOTORAS CON MOTOR					279.05		2.17		167.5			6081.4							
124	ENRRROLLADOR 11-15			1750	5		6.6		B	LOUIS ALLIS	709	B00103	N21	A. B		60	60	600			
125	NEUMATICO DEL ENRROLLADOR J-15			3450	3		3.7		R. L.	K98-III		16-32A	2	SIEMENS			60	60	600		
126	PELADORA DE CABLE PLOMO II-15					2929	38.4		POWER UNIT	8536	EQ-1435	C45		S. D			60	60	600		
127	VOLTEADOR DE CARRETES			5			7		P. H		DMT-65	B19.5		MILANO			30	30	600		
128	GRUA LAT. No 1, II-II			1400	3		4.6		P. H	815	B	N31		A. B		100			600		
129	GRUA TRANS No. II-II			940	10		13.1		P. H	815	B2	N40		A. B		100			600		
130	GRUA No. I, II-II			1450	25		32		P. H	815	B2	N40		A. B		100			600		
131	CONTACTOS 3 Ø					3.8	5		A 10		C G 0		0	C. H			15		600		
132	MOTOR 10-16			1450	9.5		11.5		LOMBARDA								400	400	600		

C. H	3-12		13 mm	
C. H	3-10		19 mm	
C. H	3-4		64 mm	

	3-500			
G. E	3-12		19 mm	M.I.J.A.
G. E	3-14		13 mm	MOTOR DE INDUCCION J.A.
G. E	3-14		13 mm	MOTOR DE INDUCCION J.A.
G. E	3-14		13 mm	MOTOR I.J.A.
G. E	3-10			MOTOR DE INDUCC.USO RUDD
S. D	3-8		19 mm	MOTOR DE INDUCCION J.A.
S. D	3-14		19 mm	MOTOR I.J.A.
S. D	3-14		13 mm	MOTOR DE INDUCCION J.A.
S. D	3-500		76 mm	MOT. INDUCC. R. D. 5 PASOS

S. D	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12	1.12	13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-10		19 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-10			M.I.J.A.	
S. D				M.I.R.D.	
S. D	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-2/a		61 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-10		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		19 mm	M.I.J.A.	110 V
F. P	3-12		19 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		19 mm	M.I.J.A.	127 V
				F.S.	-
					127 V

S. D	2-1/6		38 mm		
MORECAMBE	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
MORECAMBE	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
WESTIN HOUSE	3-2		25 mm		
WESTIN HOUSE	3-10		19 mm	MOTOR DE INDUCC. R.D.	
WESTIN HOUSE	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-4		25 mm	M.I.R.D.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
F. P	3-10		19 mm	M.I.R.D.	
F. P	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-14		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-10		19 mm	M.I.J.A.	

S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-10		19 mm	M.I.J.A.	
S. D	3-12		19 mm	M.I.J.A.	
WESTIN HOUSE	4-12		19 mm	M.I.J.A.	
WESTIN HOUSE	3-6		19 mm	M.I.J.A.	
WESTIN HOUSE	3-4		25 mm	M.I.J.A.	
C. H	3-8		19 mm		
S. D				M.I.J.A.	

133	MOTOR DE GEN	10-16	1450	82	100	LOMBARDA											400	400	600						
134	MOTOR DEL GEN	10-16	1450	100	112	LOMBARDA												400	400	600					
135	MOTOR PRINCIPAL	13-52	1740	8	6.6	I. E. M	8536	802	812.0		S. D						30	30	600						
136	GRUA	10-25	1650	0.9	1.0	I. E. M												15		600					
137	GUIADOR DEL ENROLLADOR		1740	1	1.75	DINAMATIC														600					
138	DESENRROLLADOR	10-25	1455	5	6.4	DINAMATIC	709	80D	N26	1	A. B							100		600					
139	RASTRADORA	10-25	1470	20	28	1.18	DINAMATIC	709	COD	N41	2	A. B						100		600					
140	ENROLLADOR	10-25	1455	5	6.4	DINAMATIC	709	80D	N26	1	A. B							100		600					
141	RESISTENCIAS II-01				6096	80		8502	EO2			S. D							125						
142	PRESA PLOMO	11-01	720	56	69																				
143	ENROLLADOR II-01		1750	5	6.3	1.15	B	DINAMATIC	8536	CO3	B25		S. D						50						
144	BOMBA	11-01	1742	3	6.5			I. E. M	8536	BG2	BO2		S. D						50						
145	RESISTENCIAS II-01				12		9.14		8536	BO2			S. D						50						
146	GRUA No.2	11-13	940	10	14			P. H	815	B2	N40		A. B						100		600				
147	GRUA No.2	11-13	1450	6	7.2			P. H	815	B	N31		A. B						100		600				
148	GRUA II-13		1450	20	26.7			P. H	815	B2	N40		A. B						100		600				
149	COMPRESORA 26-52		1725	0.8	9.5	1.28		G. E			10-16A	0	SIEMENS						6		120				
150	RESISTENCIAS 26-52				12		1.43																		
151	DESENRROLLADOR 26-52		1420	3	4.5			MARELLI	K918-III		10-16A	1	SIEMENS							20		500			
152	DESENRROLLADOR I 26-52		1440	8	10.7			MARELLI	K918-III		10-16A	2	SIEMENS							50		500			
153	ENROLLADOR 26-52		1420	3	4.5			MARELLI	K918-III		10-16A	1	SIEMENS							20		500			
154	ENROLLADOR II 26-52		1440	8	10.7			MARELLI	K918-III		10-16A	1	SIEMENS							50		500			
155	BOMBA AGUA 26-52		2800	1.5	2.3			A. R. I.	K918-III		10-16A	1	SIEMENS							20		500			
156	INTERRUPTOR																								
157	TINA DE PRUEBAS RESIST.				61.55	90			8536		DO1		S. D						100		100	600			
158	RESISTENCIA TINA A.T.				27.48	40			8536		DO1		S. D							100		100	600		
159	TRANSF. DE CORR. A.T.							PETSA	8502		DO1		S. D							100		100	600		
160	TRANSF. DE CORR. A.T.							PETSA	8502		DO1		S. D							100		100	600		
161	TRANSF. DE CORR. A.T.	10						G. E	8502		DO1		S. D							100		100	600		
162	TRANSF. DE CORR. A.T.	10						LEGNANO	8536		DO1	B 50	S. D							80		80	600		
163	3 TRASF. I @ A.T.	100						GE MILANO															600	600	600
164	TRANSF. I @ A.T.	200						GE MILANO															600	600	600
165	TRANSF. I @ A.T.	150						ELECTRO ITALIA														600	600	600	
166	TRANSF. I @ A.T.	250						LEGNANO														600	600	600	
167	TRANSF. 17-18																								
168	ENROLLADOR ↑↓ IZO. 17-18		1370		1.1	2.0		A. B. A			YSA II									BROWN BOVERI				10	
169	ENROLLADOR ↑↓ DER. 17-18		1370		1.1	2.0		A. B. A			YSA II									B B				10	
170	ENROLLADOR ↑ IZO. 17-18		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
171	ENROLLADOR ↑ DER. 17-18		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
172	DESENRROLLADOR ↑ IZO. "		1620		2.2	3.15		A. B. A			YSA II									B B				6	
173	DESENRROLLADOR ↑ DER. "		1620		2.2	3.15		A. B. A			YSA II									B B				6	
174	DESENRROLLADOR ↑ DER. "		1590		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				20	
175	DESENRROLLADOR ↑ IZO. "		1590		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
176	ENROLLADOR "		1410		3	4.5		A. B. A			YSA II									B B				10	
177	MOTOR ACELERADOR		1400		0.091	0.35		A. B. A			YSA II									B B				10	
178	TRANSFORMADOR	17-17																							
179	ENROLLADOR ↑↓ IZO. "		1400		1.5	2.1		A. B. A			YSA II									BROWN BOVERI				10	
180	ENROLLADOR ↑↓ DER. "		1400		1.5	2.1		A. B. A			YSA II									B B				10	
181	ENROLLADOR ↑ IZO. "		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
182	ENROLLADOR ↑ DER. "		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
183	DESENRROLLADOR ↑ IZO. "		1400		1.5	2.1		A. B. A			YSA II									B B				10	
184	DESENRROLLADOR ↑ DER. "		1400		1.5	2.1		A. B. A			YSA II									B B				10	
185	DESENRROLLADOR ↑ IZO. "		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
186	DESENRROLLADOR ↑ DER. "		1360		0.55	1.4		A. B. A			YSA II									B B				6	
187	ENROLLADOR "		1700		4	6.0		A. B. A			YSA II									B B				20	
188	MOTOR ACELERADOR		1400		0.090	0.35		A. B. A			YSA II									B B				6	

TOTAL 21 MOTORES CON 53.47 619.30  
8 RESISTENCIAS CON 160.66  
1 CONTACTO CON 3.80

NOTA: M.I.J.A. — MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA.  
M.I.R.D — MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR DEVANADO.  
ES. — FUERA DE SERVICIO.  
E.T.P. — ELEMENTO TERMICO PUENTEADO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN  
U N A M --- I M E

S . D				M.I.J.A.	
S . D				M.I.J.A.	
S . D	3-12		19 mm	M.I.J.A.	
S . D	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
W . H				M.I.J.A.	
W . H	3-12	1-14	19 mm	M.I.J.A.	
W . H	3-8	1-12	19 mm	M.I.J.A.	
W . H	3-12	1-14	19 mm	M.I.J.A.	
F . P	3-2				
F . P	3-2			M.L.R.D.	
S . D	3-12		19 mm	M.I.J.A.	
S . D	3-12		19 mm	M.I.J.A.	
S . D	2-14				
C . H	6-6		19 mm	M.I.J.A.	
C . H	4-12		19 mm	M.I.J.A.	
C . H	3-4		24 mm	M.I.J.A.	
SIEMENS	2-12		12 mm	M.I.J.A.	110V 110V
SIEMENS	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
SIEMENS	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
SIEMENS	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
SIEMENS	3-12		13 mm	M.I.J.A.	
C . H	3-4				
C . H	3-4				
F . P				1000KV ; 1000/30A	
F . P				0.6KV ; 1000/5A	
F . P			19 mm	400 / 5000A	
C . H	2-6		19 mm	22716.2A 440/50000A	
F . P	3-500			880V	
F . P	3-500			880V	
F . P	3-500			880V	
F . P	3-500			880V	
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.77	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.77	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.8	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.8	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-12		13 mm	F . P 0.79	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm		M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	E . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.76	M.I.J.A.
SIEMENS	3-12		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.
SIEMENS	3-14		13 mm	F . P 0.81	M.I.J.A.

Patricia Almeida Arvizu

EVANTARON

Jose Oscar Grageda Cuevas

Marco Polo Moctezuma Aquino

CUADRO DE CARGAS — — (440 V)	ESCALA: SIN ESCALA	ACOTADO EN: SIN
	PLANO: CX-1C	
ECHA FEBRERO/1980	REVISO: J. ALBERTO ROSAS HDEZ.	
	DIBUJO: M.P.M.A. P.A.A. J.O.G.C.	

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- NORMAS NEMA.- Clasification According to Electrical Type. 1976.
- 2.- NORMAS COONNIE  
Normas de calidad, funcionamiento y métodos de prueba.-  
1971
- 3.- NATIONAL ELECTRICAL CODE  
1978
- 4.- CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS  
Walter N., Alerich  
Editorial Diana  
1977
- 5.- MAQUINAS ELECTRICAS DE CORRIENTE ALTERNA  
Langsdorf Alexander S.  
Editorial Uteha  
1979
- 6.- TRATADO DE ELECTRICIDAD TOMO II CORRIENTE ALTERNA.  
Chester L., Dawes  
Editorial G. Gili S.A.  
1977
- 7.- MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA  
Walter N.A.  
Editorial Diana  
1977

- 8.- TRANSFORMADORES Y MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION.  
Enrique Harper, Gilberto  
Editorial Limusa  
1979
- 9.- FUNDAMENTOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE MEDIANA Y ALTA TENSION  
Enrique Harper, Gilberto  
Editorial Limusa  
1977
- 10.- MANUAL PRACTICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS  
H.P. Richter  
Editorial CECSA  
1976
- 11.- REGLAMENTO DE OBRAS E INSTALACIONES ELECTRICAS.  
Editorial Andrade, S.A.  
1977
- 12.- CATALOGO SIEMENS  
Generalidades de Motores de corriente alterna.  
Horst Hutter  
1979
- 13.- CATALOGO I.E.M.  
Generalidades de Motores de corriente alterna  
1977
- 14.- CATALOGO ASEA  
Generalidades de Motores de corriente alterna  
1979

- 15.- CATALOGO INDUSTRIAL FEDERAL PACIFIC ELECTRIC DE MEXICO  
1978
- 16.- CATALOGO INDUSTRIAL CUTLER HAMMER  
1977
- 17.- CATALOGO INDUSTRIAL GENERAL ELECTRIC  
1977
- 18.- CATALOGO INDUSTRIAL ALLEN BRADLEY
- 19.- CATALOGO INDUSTRIAL SQUARE D. DE MEXICO,  
S.A.  
1977
- 20.- FUSIBLES DE BAJA TENSION  
Mercury Electric Products.  
1977.