



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**



FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO DE UN TALLER DE MANTENIMIENTO DE  
MOTORES Y TRANSFORMADORES DE LOS POZOS  
PROFUNDOS DE LA S.A.R.H. EN EL VALLE DE  
MEXICALI, B.C.N.

**· TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
HECTOR SANTIAGO    DIAZ CURIEL  
ALDO BOLIVAR RIVERA RODRIGUEZ  
ROBERTO BORGIO FABBRIS  
CESAR MIGUEL EROZA ARZETA

MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**

1994



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

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

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

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

A mis Padres:  
RENE EROZA RODRIGUEZ  
QUIRINA ARZETA DE EROZA

Por su amor, paciencia y  
ayuda económica.

**A mis Hermanos:**

**MIRNA**

**LIDA**

**ADRIANO**

**Por su apoyo en mis estudios.**

A mi Esposa

LOURDES

Por su comprensión y tenacidad.

A mis Hijos:

César

Diana

Hugo

Por su alegría.

AL ING. CESAR LOPEZ PORTILLO

Por su atención y dirección  
prestada en la elaboración de -  
ésta tesis.

A los Maestros, Compañeros y a la  
Facultad de Ingeniería, de la -  
U.N.A.M.

AL ING. EDUARDO PAREDES ARELLANO  
y el personal del taller de repa  
ración de la S.A.R.H., en los -  
Álgodones, B.C.N.

## INDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION	1
I.- ESTUDIO DE MERCADO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y MOTORES DE INDUCCION AVERIADOS.	4
II.- NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION VERTICALES	10
II.1.- Normas para transformadores de distribución	10
II.1.1.- Definiciones	10
II.1.2.- Condiciones de servicio	10
II.1.3.- Clasificación	11
II.1.4.- Especificaciones	11
II.1.5.- Empaques del transformador	22
II.1.6.- Componentes de los devanados	22
II.1.7.- Componentes del núcleo	24
II.1.8.- Localización de los accesorios y partes de un transformador	25
II.2.- Normas para motores trifásicos de inducción verticales	27
II.2.1.- Definiciones	27

11.2.2.- Clasificación y especificaciones	33
11.2.2.1.- Clasificación	33
11.2.2.2.- Especificaciones.	35

III.- MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.	43
---	----

III.1.- Observación de los fenómenos que presenta el transformador averiado estando en servicio.	43
III.2.- Diagrama de flujo del proceso de operación	44
III.3.- Aspectos relativos al mantenimiento de transformadores (Descripción del diagrama de flujo).	44
III.3.1.- Registro y toma de datos	44
III.3.2.- Almacen temporal de entrada	44
III.3.3.- Desmontaje de la tapa	45
III.3.4.- Inspección y clasificación de averías	45
III.3.5.- Reporte de las averías del transformador	47
III.3.6.- Mantenimiento	47
III.3.6.1.- Reparación	47
III.3.6.2.- Reconstrucción	48
III.4.- Pruebas de rutina para transformadores en el laboratorio.	66

IV.- MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCION.	85
IV.1.- Observación de los fenómenos que presenta el motor averiado estando en servicio.	85
IV.2.- Diagrama de flujo del proceso de operación	87
IV.3.- Aspectos relativos al mantenimiento de motores (descripción del diagrama de flujo).	87
IV.3.1.- Registro y toma de datos	87
IV.3.2.- Almacen temporal de entrada	87
IV.3.3.- Vaciado del aceite lubricante	87
IV.3.4.- Desensamble de las partes del motor	87
IV.3.5.- Inspección y clasificación de averías	89
IV.3.6.- Reporte de las averías del motor	90
IV.3.7.- Limpieza de las partes del motor	90
IV.3.8.- Mantenimiento	90
IV.3.8.1.- Reparación	91
IV.3.8.2.- Reconstrucción	92
IV.3.9.- Ensamble de las partes del motor	120
IV.4.- Prueba de rutina para motores	121
IV.5.- Manera de identificar las conexiones	123
V.- MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA LA RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES Y MOTORES.	130
V.1.- Materia prima utilizada para la reconstrucción de transformadores.	130

V.1.1.- Conductores	130
V.1.2.- Aislamientos	132
V.1.3.- Barnices	135
V.1.4.- Empaques	137
V.1.5.- Cintas de fijación	138
V.1.6.- Soldadura	139
V.2.- Materia prima utilizada para la recons-- trucción de motores.	139
V.2.1.- Conductores	139
V.2.2.- Aislamientos	140
V.2.3.- Soldadura	141
VI.- INSTALACION ELECTRICA E ILUMINACION.	143
VI.1.- Alumbrado	143
VI.1.1.- Cálculo para obtener el número de lám paras.	145
VI.1.2.- Circuitos de alumbrado	151
VI.1.3.- Cálculo del calibre de los conductores	153
VI.1.4.- Cálculo del medio de canalización	155
VI.2.- Contactos y cableado de hornos	156
VI.2.1.- Cálculo del calibre de los conductores	157
VI.2.2.- Circuitos de contactos y cableado de - hornos	159
VI.2.3.- Cálculo del medio de canalización	162
VI.3.- Circuitos de fuerza del laboratorio	163
VI.3.1.- Cálculo del calibre de los conductores	163
VI.3.2.- Cálculo del medio de canalización	166

VI.4.- Distribución de la carga y protección de los circuitos	168
VI.4.1.- Distribución de la carga	168
VI.4.2.- Protección de los circuitos	168
VII.- ORGANIZACION DEL TALLER Y TIEMPO EMPLEADO EN LOS PASOS DE LOS PROCESOS DEL MANTENIMIENTO	170
VII.1.- Organización del taller	170
VII.2.- Tiempo empleado en los pasos de los procesos del mantenimiento	177
VIII.- ANALISIS ECONOMICO DEL TALLER	180
VIII.1.- Costos de operación anual	180
VIII.1.1.- Mano de obra	180
VIII.1.2.- Refacciones y material	181
VIII.1.3.- Energía eléctrica	184
VIII.1.4.- Gastos diversos	185
VIII.1.5.- Terreno y obra civil	186
VIII.1.6.- Equipo y herramientas	189
VIII.1.7.- Instalación eléctrica e iluminación	195
VIII.1.8.- Resumen de los costos de operación anual	200
VIII.2.- Monto de recuperación anual	201
VIII.3.- Utilidad anual	203
IX.- APENDICE DE PRUEBAS	204

IX.1.- Apéndice de pruebas de transformadores	204
IX.2.- Apéndice de pruebas de motores.	229
CONCLUSIONES	237
BIBLIOGRAFIA	239

## INTRODUCCION

Dentro de las múltiples opciones para desarrollar un tema como trabajo de tesis dentro del área de Ingeniería, hemos querido escoger uno de interés social, práctico y de utilidad tanto para los integrantes de la misma como para aquellas personas interesadas en este tema y que deseen hacer uso del mismo.

Viendo que uno de los problemas que mayor gasto ocasiona a la industria del país, sobre todo en aquellas zonas retiradas de los grandes complejos industriales, lo constituye la falta de instituciones especializadas, para dar un mantenimiento eficaz y rápido a sus equipos de operación y trabajo de la S.A. R.H. (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), decidimos enfocar el presente estudio hacia un campo específico donde se manifiesta ésta situación. Tal es el caso de Mexicali, B.C.N. donde su posición geográfica en la República Mexicana, se encuentra entre: los meridianos  $115^{\circ} 27'$  y  $114^{\circ} 50'$  de Longitud Oeste de Greenwich, y los paralelos  $32^{\circ} 40'$  y  $32^{\circ} 10'$  de Latitud Norte, que es un centro agrícola de suma importancia en donde debido a su región de tipo desértico ubicado sobre el manto acuífero del Río Colorado, es necesario el establecimiento de equipos de bombeo de pozo profundo para la obtención del agua necesaria para los cultivos, con lo que trae como consecuencia el correspondiente equipo auxiliar que requiere toda bomba de agua como son los motores eléctricos y transformadores.

La falta de un mayor número de talleres de reparación en esta zona es evidente por lo que decidimos hacer un estudio sobre el establecimiento de un taller de mantenimiento de motores eléctricos y transformadores. En esta zona las unidades tienen las siguientes características:

- a) Motores verticales trifásicos de inducción, con rotor jaula de ardilla y flecha hueca, 440V. de tensión nominal, y de 75 H.P. hasta 150 H.P. de potencia.
- b) Transformadores Trifásicos de distribución con capacidades de 75 KVA hasta 150 KVA, con alimentaciones por alta tensión en delta de 33.5 KV y 13.2 KV, y saliendo por baja tensión en estrella de 440V.

Hemos enfocado el desarrollo de éste tema en dos aspectos fundamentales:

- 1) La reconstrucción de transformadores y motores que comprenderá la total reposición de sus respectivos devanados.
- 2) La reparación de los mismos que comprenderá los daños menores como boquillas, válvulas, aislamientos, empaques, cojinetes, etc.

Nos proponemos presentar un trabajo que ofrezca un panorama completo de lo que requiere para su establecimiento un taller de éste tipo. Se ha querido abarcar en forma clara y sen-

cilla todos los aspectos involucrados con el fin de poder brindar un trabajo que sirva de ayuda a toda persona interesada en esto o en un campo similar.

Sin pretender hacer un tratado sobre la teoría de transformadores de distribución y motores de inducción ya que se perdería la objetividad del presente trabajo, requeridos en dar una breve explicación en los aspectos que a juicio así lo requieren.

En el índice se muestran los temas a tratar, subdividiéndose éstos con el fin de darles mayor claridad sin requerir una explicación detallada de los mismos en ésta introducción. En el desarrollo del trabajo se irán aclarando y ahondando los puntos que no hayan sido comentados en éstas líneas.

## I.- ESTUDIO DE MERCADO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y MOTORES DE INDUCCION.

Debemos mencionar que el análisis que a continuación se presenta está basado en datos proporcionados por la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), empresa hacia la cual, en principio, está encaminado este proyecto.

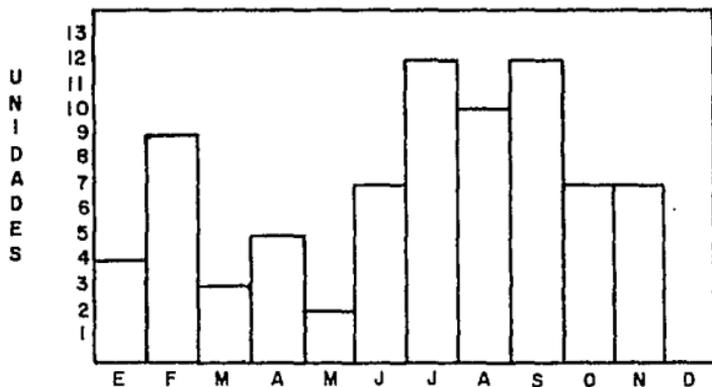
En la fase inicial de arranque del taller se contará con material de trabajo suficiente tomando en cuenta únicamente las unidades dañadas de SARH y posteriormente, en una futura ampliación del taller, se podrá dar servicio a las unidades de la industria privada y C.F.E.

Al cerrar el año de 1979 existían instalados en el Valle de Mexicali aproximadamente 800 transformadores y un número igual de motores. La cantidad de estas unidades no podrá aumentar, ya que los permisos para poder instalar un nuevo pozo de agua están cancelados pero debemos tomar en cuenta que, como se mencionó líneas arriba, el taller no permanecerá estático en cuanto a su expansión, ya que dentro de los planes futuros se tiene el de prestar servicio a otras unidades aparte de las de SARH.

En el año de 1978 se tuvo que el número de transformadores averiados fue de 78, de los cuales un 60% necesitaron ser reconstruidos y un 40% necesitaron de reparación.

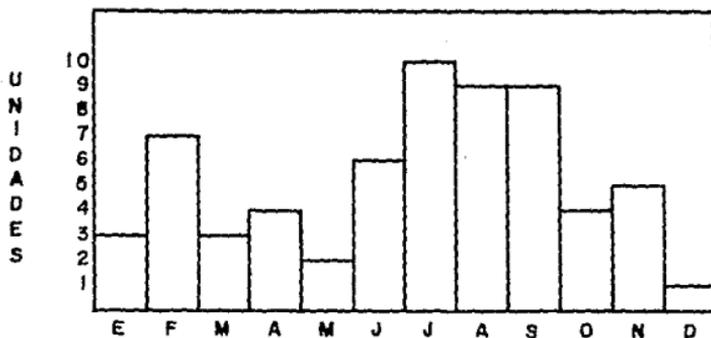
En el año de 1979 se tuvo que el número de transformadores averiados fue de 63, de los cuales un 55% necesitaron ser reconstruidos y un 45% necesitaron ser reparados.

Las gráficas 1 y 2 nos muestran el comportamiento mensual durante los años 1978 y 1979.



Gráfica 1

Comportamiento mensual transformadores averiados  
año de 1978.



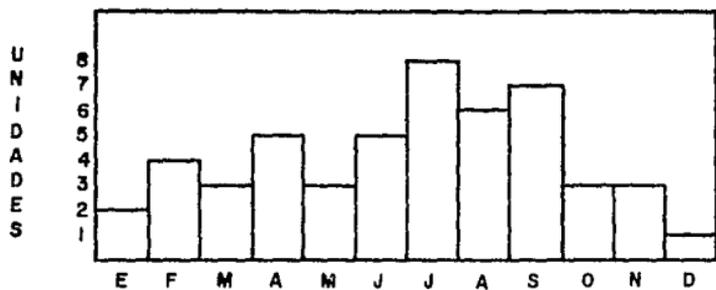
Gráfica 2

Comportamiento mensual de transformadores averiados  
Año de 1979

Respecto a la cantidad de motores averiados se tiene - que durante el año de 1978 se tuvo un número de 51 con un 70% - del total que necesitaron de reconstrucción y un 30% que tuvieron que ser reparados.

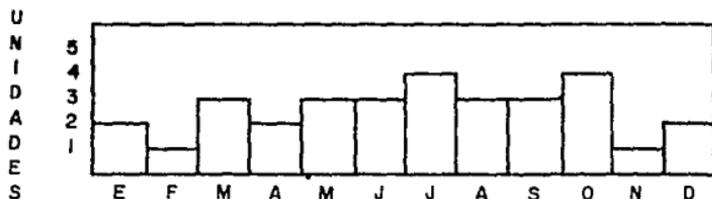
En el año de 1979 el número de motores averiados fue - de 31, de los cuales un 65% tuvieron que ser reconstruidos y - 35% tuvieron que ser reparados.

El comportamiento mensual de los motores averiados durante los años de 1978 y 1979 se muestra en las gráficas 3 y 4.



Gráfica 3

Comportamiento mensual de motores averiados  
Año de 1978.



Gráfica 4

Comportamiento mensual de motores averiados  
Año de 1979.

Como se podrá observar, de las estadísticas anteriores se desprenden las siguientes conclusiones:

a) El promedio de transformadores averiados en un año está entre 70 y 71 aproximadamente, que corresponde al 8.8% del total de ellos instalados.

b) Los porcentajes de transformadores averiados al año en función de sus capacidades es:

75 KVA. ....	43%
112.5 KVA. ....	35%
150 KVA. ....	22%

c) El promedio de motores avariados en un año está alrededor de 41 aproximadamente, que corresponde al 5.1% del total de ellos instalados.

d) Los porcentajes de motores averiados al año en función de sus potencias es:

75 H.P. ....	35%
100 H.P. ....	28%
112.5 H.P. ....	22%
150 H.P. ....	15%

Por consiguiente sacando un promedio mensual tanto para transformadores como para motores y dando un margen de to-

lerancia encontramos que la capacidad de trabajo mensual que --  
deberá soportar el taller será de:

- a) Entre 12 y 14 transformadores para poder satisfacer la demanda de los meses con mayor índice de unidades dañadas.
- b) Entre 8 y 10 motores para poder satisfacer la demanda de los meses con mayor índice de unidades dañadas.

Dentro de las causas más frecuentes que ocasionan averías tanto a transformadores como a motores se cuentan las ocasionadas por las condiciones climatológicas como son fuertes lluvias y un calor excesivo sobre todo en los meses de verano - (de ahí que se presente el mayor porcentaje de unidades averiadas en estos meses) aunado a esto el desgaste propio que sufren debido al uso y al tiempo de vida que llevan operando. Existen otros factores como son un mal servicio a las mismas, por parte de los propietarios de los pozos; en particular, en lo que respecta a motores (chechar en forma frecuente el nivel del aceite).

Para concluir debemos aclarar que no se hizo un estudio de competencia respecto a los demás talleres de este tipo - existentes en la región, ya que su capacidad de servicio, tanto en cantidad como en calidad, no es comparable con la de este diseño.

## II.- NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION VERTICALES.

### II.1.- Normas para transformadores de distribución.

#### II.1.1. Definiciones

El transformador es un dispositivo que transfiere energía a la misma frecuencia entre dos o más circuitos eléctricos aislados conductivamente y acoplados por un flujo magnético común que varía con el tiempo.

##### II.1.1.1. Transformador de Distribución.

Es aquel transformador que tiene una capacidad hasta de 500 KVA.

#### II.1.2.- Condiciones de servicio.

##### II.1.2.1.- Frecuencia

La frecuencia de operación debe ser de 60 Hz.

##### II.1.2.2.- Temperatura ambiente.

Los transformadores deben ser apropiados para operar a su capacidad nominal, siempre que la temperatura del ambiente no exceda de 40°C.

##### II.1.2.3.- Altitud de operación

Los transformadores de distribución deben estar diseñados para operar a una altitud mínima de 1000 metros sobre el ni

vel del mar.

#### 11.1.2.4.- Características del aceite aislante.

Las características del aceite aislante son:

- a) Punto de inflamación: 130°C.
- b) Viscosidad: 57 a 60 segundos, a 37.8°C en un Saybolt Universal.
- c) Exentos de: Cloruros, Alcalis, Sulfatos, Humedad.
- d) Soportar la "tensión disruptiva".

#### 11.1.3. Clasificación

11.1.3.1.- En función de las condiciones de Servicio.  
Para uso a la intemperie.

11.1.3.2.- En función de los Sistemas de Disipación de Calor.

Transformador sumergido en aceite aislante enfriado - por aire: Clase OA. Auto enfriado.

11.1.3.3.- En función de los lugares de instalación.  
Tipo poste-pedestal.

#### 11.1.4.- Especificaciones.

11.1.4.1.- Especificaciones Eléctricas.

#### 11.1.4.1.1.- Capacidad nominal.

La capacidad nominal de un transformador son los Kilo-voltampers (KVA) que el devanado secundario del mismo debe suministrar en un tiempo especificado (continuo o limitado) a su tensión y frecuencia nominales, sin exceder los límites de temperatura.

A continuación se indican las capacidades nominales utilizadas:

75 KVA, 112.5 KVA y 150 KVA.

#### 11.1.4.1.2.- Capacidad de las derivaciones

Todas las derivaciones deben ser a capacidad plena.

#### 11.1.4.1.3.- Tensión nominal

La tensión nominal de un transformador es aquélla a la que se refiere sus características de operación y funcionamiento.

#### 11.1.4.1.4.- Tensión de las derivaciones

La variación de la tensión que se obtenga con las derivaciones, no deben exceder de 10% de la tensión nominal. Las derivaciones están colocadas en dos arriba y dos abajo de la tensión nominal.

#### 11.1.4.1.5.- Pérdidas y su tolerancia

Las pérdidas obtenidas en la prueba de un transformador no deben exceder de los siguientes porcentajes:

- a) Pérdidas de excitación = 0.14%
- b) Pérdidas totales = 10%

#### 11.1.4.1.6.- Impedancia y su tolerancia

La tolerancia de la impedancia de un transformador trifásico es de  $\pm 10\%$  del valor garantizado.

#### 11.1.4.1.7.- Relación de Transformación y su tolerancia.

La relación de transformación está basada en la relación de vueltas de los devanados.

La relación de las tensiones está sujeta al efecto de regulación a diferentes cargas y factores de potencia.

La tolerancia para la relación de transformación, medida cuando el transformador está sin carga, debe ser de  $\pm 0.5\%$  - en todas sus derivaciones.

Si la tensión por vuelta excede de  $0.5\%$  de la tensión deseada, las tensiones especificadas de las derivaciones, deben corresponder a la tensión de la vuelta más próxima.

#### 11.1.4.1.8.- Regulación de tensión y su tolerancia.

La regulación de un transformador se expresa en porcentaje de la tensión nominal del secundario.

La regulación de tensión se calcula a partir de las tensiones de impedancia y de los watts de pérdidas debidas a la carga, medidos directamente. La regulación no debe exceder a la especificada, en más de 10% para transformadores trifásicos.

#### 11.1.4.1.9.- Polaridad, desplazamiento angular, secuencia de fases y designación de terminales.

##### a) Polaridad

Todos los transformadores deben tener polaridad substractiva.

##### b) Desplazamiento angular

El desplazamiento angular entre las tensiones de alta y baja tensión de transformadores con conexiones estrella-delta debe ser de  $30^\circ$  con la baja tensión atrasada respecto a la alta tensión, como se muestra en la figura No. 1:

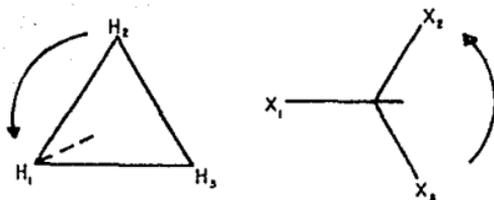


Figura No. 1

c) Secuencia de fases.

La secuencia de fases debe ser en el orden 1,2,3 y con el sentido indicado en la figura No. 1.

d) Designación de terminales.

Los devanados de un transformador debe distinguirse uno del otro como sigue:

Se identifica el devanado de tensión mayor por la letra mayúscula H; y el devanado de tensión menor por la letra mayúscula X.

Las fases del transformador están identificados por subíndice: 1,2,3 respectivamente.

La terminal del neutro se debe marcar con la letra propia del devanado y con el subíndice cero, por ejemplo, (X<sub>0</sub>, H<sub>0</sub>.)

11.1.4.2.- Especificaciones térmicas

11.1.4.2.1.- Límites de elevación de temperatura observables.

Los incrementos de temperatura del transformador y de sus partes, sobre la temperatura ambiente, cuando sean probados de acuerdo con sus capacidades, no debe de exceder de 55°C.

11.1.4.2.2. Límites de Elevación del punto más caliente.

Los transformadores deben estar construidos en tal forma, que la elevación de temperatura del punto más caliente del conductor, sobre la temperatura ambiente, no exceda de 65°C.

#### 11.1.4.3.- Especificaciones mecánicas.

##### 11.1.4.3.1.- Construcción del tanque

El tanque debe estar construido de tal manera que, cuando esté totalmente ensamblado, sea capaz de resistir, sin deformación permanente, una presión de 0.34 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### 11.1.4.3.2.- Registro de mano.

El registro de mano debe estar localizado en un lugar conveniente de la tapa. Su construcción debe ser en tal forma que asegure el sellado del transformador.

##### 11.1.4.3.3.- Preservación del aceite, aislante.

A menos que otra cosa se especifique, los transformadores deben ser construidos como un tanque hermético con objeto de preservar el aceite de agentes externos.

##### 11.1.4.3.4.- Soportes para colgar.

Soportes tipo C. Estos soportes deben ser adecuados para montar los transformadores por medio de dispositivos auxiliares.

#### 11.1.4.3.5.- Aditamentos para levantar. (Ganchos, Orejas)

Se debe suministrar los aditamentos de resistencia, tamaño y localización adecuados para levantar: El transformador - totalmente ensamblado, incluyendo su líquido aislante.

#### 11.1.4.3.6.- Acabado del tanque.

El tanque del transformador debe tener un acabado que lo proteja contra la corrosión (barniz dieléctrico y pintura), - el cual a su vez debe tener una buena adherencia al tanque.

#### 11.1.4.4.- Especificaciones para los accesorios.

##### 11.1.4.4.1.- Accesorios para conexión a tierra, del tanque.

Debe de consistir de una conexión tipo A.

##### Conexión tipo A.

Esta debe consistir de una placa o conexión hembra de acero cobrizado, de acero inoxidable o de latón, con un agujero que tenga cuerda normal para tornillo de 1/2" de diámetro, y 11 mm de longitud localizada en la parte inferior del tanque. Se debe incluir el tornillo para la conexión y las cuerdas pueden estar protegidas contra la corrosión, sin afectar la conexión eléctrica.

#### 11.1.4.4.2.- Cambiadores de derivación.

Deben suministrarse en los transformadores, cambiadores de derivaciones que deben ser de operación desenergizada.

La manija de operación debe girar en el sentido de las manecillas del reloj de la tensión superior a la inferior. Cada posición de los cambiadores debe estar marcada con números progresivos, partiendo del número 1. Deben estar provistos de topes en las posiciones extremas y cada posición debe corresponder a una tensión de operación.

El tipo usado en los transformadores de clase intemperie es de operación interna.

En estos cambiadores la manija de operación debe estar localizada en el interior del tanque y arriba del nivel de aceite.

#### 11.1.4.4.3.- Indicador del nivel de aceite aislante.

Se debe indicar, por medio de una marca adecuada en el interior del tanque el nivel del aceite a 25°C.

#### 11.1.4.4.4.- Válvulas, Dispositivos de muestreo y conexión para el filtro prensa.

a) Tapón de drenaje y muestreo.

Debe suministrarse un tapón combinado para drenaje y muestreo localizado en la parte inferior del tanque.

b) Combinación válvula de drenaje, conexión inferior del filtro prensa y válvula de muestreo.

Debe suministrarse una válvula de 1" para drenaje, en el extremo libre de la cual debe atornillarse un tapón con cuerda para tubo.

Sobre la pared de la válvula de drenaje, entre el asiento de ésta y el tapón debe localizarse una válvula de muestreo de 1/4" o de 3/8".

c) Conexión superior para filtro prensa.

Debe consistir de una conexión hembra roscada de 1" con tapón macho localizada en la tapa.

#### 11.1.4.4.5.- Boquillas y terminales

Los transformadores deben estar equipados con boquillas cuya clase de aislamiento no sea menor que la correspondiente a la terminal del devanado.

Las características eléctricas de las boquillas para transformadores deben ser de acuerdo con su clase de aislamiento.

to en KV.

Las boquillas de alta tensión están colocadas en la ta pa del tanque, y las boquillas de baja tensión están situadas - en un lado del tanque. Las terminales de baja tensión deben co locarse para conexión vertical. Los conectores de baja tensión deben ser sin soldadura, y los de alta tensión deben terminar - en birlos con cuerda.

Las boquillas tienen las siguientes funciones:

- a) Aislar el tanque y sus soportes respecto a las líneas de ten sión.
- b) Garantizar la distancia mínima normalizada entre líneas y - entre líneas y tanque; esto es para evitar arcos eléctricos - en el caso de sobretensiones.
- c) Proteger contra la intemperie las entradas y salidas de los- cables de alta y baja tensión del transformador.
- d) Resistir los esfuerzos mecánicos que se presentan en las fa- llas de corto circuito.

De lo anterior se deduce que el material de las boqui- llas son de: vidrio templado, porcelana y resina epóxica, los - cuales tienen una alta rigidez dieléctrica, buena resistencia - mecánica y soporta los agentes ambientales.

#### 11.1.4.4.6.- Placa de datos y su localización.

El fabricante debe fijar en cada transformador una placa resistente a la corrosión, con dimensiones no menores de 100 x 130 mm, en la que se indiquen con caracteres legibles a simple vista los datos que rigen al transformador. Se recomienda el siguiente arreglo de la placa de datos en la figura no. 2.

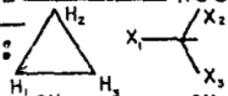
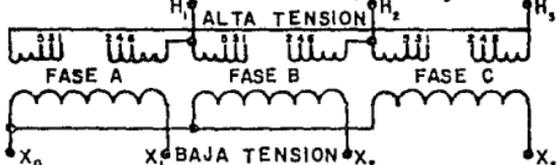
"EMBLEMA Y MARCA DE LA FABRICA"																	
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>																	
KVA _____	No _____																
VOLTS _____																	
FASES _____ FREQ. _____ HZ. IMP. _____ % A _____ °C																	
ELEV. _____ °C ALTITUD _____ M.S.N.M.																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DERIVACIONES</th> </tr> <tr> <th>POS</th> <th>VOLTS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	DERIVACIONES		POS	VOLTS													N.B.I. _____ KV.A.T. _____ KV.B.T. LIQUIDO AISLANTE _____ L.T.S. PESO TOTAL _____ KGS. CLASE _____ DIAGRAMA :  VECTORIAL
DERIVACIONES																	
POS	VOLTS																
																	
"NUMERO DE REGISTRO DE LA FABRICA"																	

Figura 2

### 11.1.5.- Empaque de la tapa del transformador.

El empaque debe ser de neopreno de 1/4" de espesor para sellar herméticamente la tapa, para las boquillas de A.T. y B.T. y el registro de mano.

### 11.1.6.- Componentes de los devanados

#### 11.1.6.1.- Conductor.

El conductor de las bobinas debe ser de cobre barnizado en alta y baja tensión. Debe encontrarse libre de aristas - afiladas, rebordes o cualquier otra imperfección superficial. - Generalmente se utilizan conductores redondos y soleras de cobre.

A continuación se enuncian las áreas transversales de los conductores de A.T. y B.T. en función de las capacidades a reconstruir.

KVA	m. m. <sup>2</sup>	
	Primario	Secundario
75	0.9371	25.714
112.5	1.4085	38.60
150	1.88	51.428

#### 11.1.6.2.- Aislamientos

Se utiliza el aislamiento orgánico en los transformadores sumergidos en aceite aislante.

El papel es un aislante orgánico que tiene excelente resistencia dieléctrica y baja pérdida dieléctrica cuando está seco, pero debe ser secado e impregnado con algún barniz o resina para excluir la humedad y conservar la resistencia dieléctrica.

Las espiras de los extremos de las bobinas de alta tensión deben estar provistas de aislamientos reforzados, para resistir las sobretensiones transitorias.

#### 11.1.6.3.- Puntos de unión de conductores.

Todas las conexiones permanentes que lleven corriente, a excepción de las roscadas, deberán unirse con soldadura eléctrica o autógena (utilizar soldadura con contenido de plata), o bien conectores tipo compresión.

#### 11.1.6.4.- Características de los devanados

Las conexiones de las bobinas a las boquillas y el cambiador de derivaciones deberá sujetarse rígidamente para evitar daños por vibraciones y por movimiento del aceite en su transportación.

Entre capas de vueltas de las bobinas se intercalan - cartones prensados con adhesivos epóxicos, para solidificar cada capa formando en conjunto una estructura rígida.

Al tener las bobinas una construcción rígida impide de formaciones y desplazamientos de sus espiras. También deben resistir los esfuerzos mecánicos que se presenten ya sea por corto circuito, movimientos, etc.

### 11.1.7.-Componentes del núcleo

#### 11.1.7.1.- Núcleo magnético

La construcción del núcleo debe ser a base de laminaciones de acero al silicio aisladas entre sí con una capa de barniz dieléctrico que resista el aceite a altas temperaturas.

Se emplea acero al silicio debido principalmente a la resistencia que ofrece al envejecimiento y a las bajas pérdidas de histeresis.

Estas laminaciones deben ser lo más exactas posible y quedar fuertemente sujetas para que resistan los esfuerzos mecánicos que se presenten. Generalmente para transformadores trifásicos se construyen núcleos del tipo acorazado y su sección transversal puede ser: cuadrada, rectangular, escalonada simple, escalonada múltiple, etc.

### 11.1.7.2.- Armado del núcleo.

El núcleo debe sujetar rígidamente a las bobinas para que resistan esfuerzos mecánicos causados por corto circuito o manejo rudo.

Debe armarse en forma tal que permita desmontar con facilidad las bobinas.

### 11.1.8.- Localización de los accesorios y partes en un transformador.

(Ver la figura No. 3)

- 1.- Registro de mano
- 2.- Soportes
- 3.- Aditamentos para levantar (ganchos, orejas, etc.)
- 4.- Conexión a tierra
- 5.- Cambiadores de derivación
- 6.- Indicador de nivel de aceite
- 7.- Válvula de drenaje, conexión inferior para filtro-prensa y muestreo
- 8.- Conexión superior para filtro-prensa
- 9.- Boquillas de alta tensión
- 10.- Boquillas de baja tensión
- 11.- Placa de datos
- 12.- Tapa del transformador
- 13.- Tanque del transformador

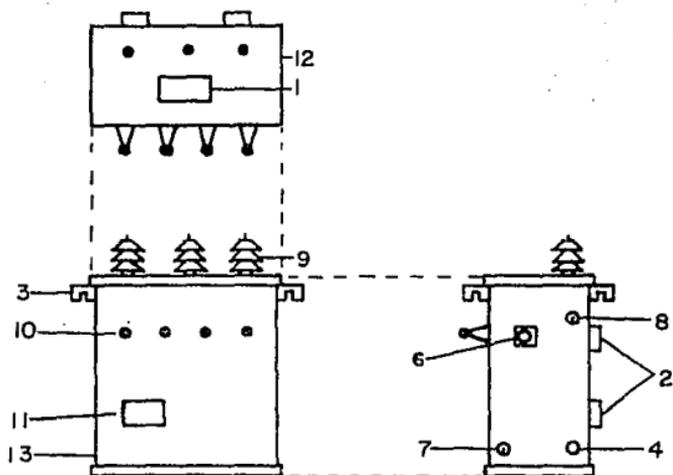


Figura 3

## 11.2.- Normas para motores trifásicos de inducción, verticales.

**Introducción:** Esta norma es aplicable a motores eléctricos verticales, trifásicos, de baja tensión, del tipo de rotor en corto circuito o de jaula, en potencias de 1 a 400 H.P. con flecha hueca o sólida. Esta norma se refiere a los motores verticales de carga axial para aplicaciones de bombeo.

### 11.2.1.- Definiciones

#### 11.2.1.1.- Motor Eléctrico

Máquina para convertir energía eléctrica en mecánica.

#### 11.2.1.2.- Motor de Inducción.

Es un motor eléctrico, en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

#### 11.2.1.3.- Motores Monofásicos y Trifásicos

Son motores que utilizan para su operación energía eléctrica de corriente alterna monofásica o trifásica respectivamente.

#### 11.2.1.4.- Motor con rotor en Corto circuito o de Jaula.

Es un motor de inducción en el cual el rotor está for-

mado por barras colocadas en ranuras del núcleo secundario permanentemente cerradas en circuito corto por medio de anillos - en sus extremos, dando la apariencia de una jaula.

#### 11.2.1.5.- Motor Eléctrico Vertical

Es aquel cuya posición de acuerdo a su diseño debe ser con su eje de rotación perpendicular a un plano horizontal.

#### 11.2.1.6.- Motor vertical de carga axial.

Es aquel que tiene capacidad para soportar un empuje - en el sentido longitudinal del eje de rotación.

#### 11.2.1.7.- Empuje o Carga Axial

Es la fuerza total a que queda sujeto un eje, en sentido longitudinal.

#### 11.2.1.8.- Motor Vertical de flecha hueca

Es aquel cuyo eje de rotación, por su aplicación específica, debe ser hueco, por que lo debe atravesar longitudinalmente el eje sólido de la máquina impulsada, para poder apoyarse en el rodamiento de carga.

#### 11.2.1.9.- Motor protegido para intemperie.

Motor con aberturas de ventilación que reducen a un mínimo la entrada de lluvia, nieve o partículas suspendidas en el aire, a las partes eléctricas del mismo. Su construcción es -

tal que una barra cilíndrica de 20 milímetros de diámetro como máximo, no puede penetrar por las aberturas de ventilación.

#### 11.2.1.10.- Potencia nominal de un motor

Es la potencia que puede entregar un motor bajo características de tensión, frecuencia, velocidad, corriente y temperatura nominales, de acuerdo con los datos especificados en la placa.

#### 11.2.1.11.- Eficiencia

Es la relación entre la potencia útil en la flecha del motor y la potencia entregada por la línea. Generalmente se expresa en por ciento.

#### 11.2.1.12.- Factor de potencia

Se define como la relación entre la potencia activa en Watts y la potencia aparente suministrada en Volt-Ampere.

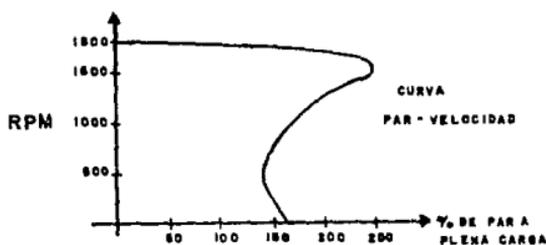
#### 11.2.1.13.- Factor de servicio

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.

#### 11.2.1.14.- Par a Carga Plena

Es el necesario para producir la potencia nominal a su

velocidad especificada en la placa (ver gráfica 5)



#### 11.2.1.15.- Par de arranque (rotor bloqueado)

Es el par que debe desarrollar un motor para arrancar y corresponde al par mínimo con el rotor frenado a velocidad cero, para varias posiciones angulares del mismo, aplicando tensión y frecuencia nominales (Ver gráfica 5);

#### 11.2.1.16.- Par mínimo de aceleración.

Es el par mínimo desarrollado durante el período de aceleración, comprendido desde el arranque hasta la velocidad en que el par máximo ocurre. (Ver gráfica 5)

#### 11.2.1.17.- Par Máximo

El par máximo desarrollado bajo frecuencia y tensión nominales sin que suceda un descenso marcado en las velocidades del motor (Ver gráfica 5).

#### 11.2.1.18.- Corriente de arranque (Rotor Bloqueado).

Es la corriente que toma el motor al arrancar y que corresponde a la del motor, cuando el rotor está frenado a velocidad cero, bajo tensión y frecuencia nominales.

#### 11.2.1.19.- Temperaturas específicas de un Motor.

Son las distintas temperaturas que alcanzan las partes componentes de un motor durante su funcionamiento bajo una carga especificada.

#### 11.2.1.20.- Temperatura Ambiente.

Es la temperatura del medio que rodea al motor y que está en contacto con sus partes exteriores.

#### 11.2.1.21.- Prueba de Aislamiento.

Consiste en la aplicación al motor de una tensión mayor a su nominal, por un tiempo normalizado, con el propósito de determinar el comportamiento dieléctrico de los materiales aislantes.

#### 11.2.1.22.- Régimen Nominal.

Es el conjunto de características indicadas en su placa con las cuales debe cumplir durante su funcionamiento, tales como potencia útil, velocidad, tensión, corriente y frecuencia.

#### 11.2.1.23.- Régimen continuo.

Es el régimen nominal con el cual debe cumplir un motor en funcionamiento continuo indefinidamente.

#### 11.2.1.24.- Régimen temporal.

Es el régimen nominal con el cual debe cumplir un motor en funcionamiento durante un tiempo especificado.

#### 11.2.1.25.- Valor Nominal de la Potencia útil.

Es la potencia mecánica en la flecha del motor, expresada en KW ó H.P., cuando el motor trabaja de acuerdo a sus datos de placa.

#### 11.2.1.26.- Servicio.

Estipulación y definición de las cargas de un motor - tomando en cuenta su duración y secuencia.

#### 11.2.1.27.- Servicio Periódico.

Operación en serie de ciclos idénticos, compuesto cada uno de ellos de un período de operación a carga nominal seguido de un período de reposo durante el cual el motor permanece totalmente estático, con su alimentación suprimida. Estos períodos deben ser suficientes para alcanzar el equilibrio térmico, ya sea durante el funcionamiento o reposo del motor.

#### 11.2.1.28.- Servicio Continuo con carga intermitente.

Es una serie de ciclos idénticos, compuestos cada uno de un período a carga normal seguido de un período sin carga, - significando la operación sin carga, la liberación de la carga- únicamente. Estos períodos serán suficientes para alcanzar - equilibrio térmico ya sea durante el funcionamiento con carga o sin ella.

#### 11.2.1.29.- Equilibrio térmico.

Es el que se obtiene cuando la variación de la tempera- tura de las diferentes del motor, trabajando a carga plena, no- excede de 1°C por hora, sin tomar en cuenta las variaciones de- temperatura del medio ambiente.

### 11.2.2.- Clasificación y Especificaciones.

#### 11.2.2.1.- Clasificación

##### 11.2.2.1.1.- Por su Diseño Eléctrico

Los motores verticales a que se refiere esta norma, se clasifican como motores diseño B, según la norma del CONNIE - 1.1 - 1 - 1971.

##### 11.2.2.1.1.1. Motor Diseño B.

Motor trifásico que soporta la tensión nominal durante el arranque y desarrolla un par de arranque, un par máximo y - una corriente de arranque como se indica en las siguientes ta--

blas, teniendo un deslizamiento a carga plena igual o menor al 5%.

En estas tablas se especifican los valores exclusivamente para las potencias entre 75 y 150 H.P. que son las que nos conciernen.

- Valores mínimos del par de arranque para motores trifásicos, Diseño A y B, 60 Hz, en porciento del par normal a carga plena:

Velocidades Síncronas en R.P.M.				
H.P.	3600	1800	1200	900
75	105	140	135	125
100	105	125	125	125
125	100	110	125	120
150	100	110	120	120

- Valores mínimos de par máximo para motores trifásicos Diseños B y C, 60 Hz, en porciento del par normal a carga plena.

Velocidades Síncronas en R.P.M.				
H.P.	3600	1800	1200	900
75	160	160	160	160
100	160	160	160	160
125	160	160	160	160
150	160	160	160	160

- Valores máximos de la corriente de arranque, en amperes, a -  
220 V, 60 Hz,

H.P.	60 Hz	Diseño
75	1085	B, C, D
100	1450	B, C, D
125	1815	B, C, D
150	2170	B, C, D

11.2.2.1.2.- Por su tipo de flecha.

- a) Motor vertical de flecha hueca
- b) Motor vertical de flecha sólida.

11.2.2.1.3.- Por su protección mecánica y sistema de -  
enfriamiento.

- a) Motor protegido para interperie
- b) Motor totalmente cerrado, enfriado por ventilador.
- c) Motor a prueba de explosión.

11.2.2.2.- Especificaciones

11.2.2.2.1.- Especificaciones físicas.

Las especificaciones físicas en general para un motor -  
son: Par de arranque, par máximo, par mínimo de aceleración, -  
eficiencia, factor de potencia, corriente de arranque, veloci-  
dad, deslizamiento y potencia.

### 11.2.2.2.1.1.- Velocidad y deslizamiento.

La velocidad síncrona de cualquier motor de inducción se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$R.P.M. = \frac{f \times 120}{P}$$

R.P.M. = Vel. Síncrona  
 f = Frecuencia en Hz.  
 P = Número de polos  
 120 = Factor constante.

El deslizamiento se obtiene de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{(\text{Velocidad Síncrona} - \text{Vel. a Carga plena})}{\text{Velocidad Síncrona}} \times 100$$

S = Deslizamiento en por ciento.

### 11.2.2.2.1.2.- Tensión nominal.

Las tensiones nominales para los motores verticales - a que se refiere esta norma son: 220, 440 y 220/440 Volts. C.A.

### 11.2.2.2.1.3.- Potencia Nominal.

Las potencias nominales para los motores verticales a que se refiere esta norma son en H.P.: 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, - 350, 400 H.P.

#### 11.2.2.2.1.4.- Velocidades Síncronas

Las velocidades síncronas de acuerdo al número de polos a 60 Hz es como se indica en la siguiente tabla:

No. de polos	2	4	6	8
Velocidad Síncrona en R.P.M.	3600	1800	1200	900

#### 11.2.2.2.1.5.- Carga Axial.

Las cargas axiales mínimas para motores verticales de flecha hueca, en función de la potencia y el número de polos, se indican en la siguiente tabla:

H.P. Potencia	Carga Axial en Kg.			
	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
75	1360	2177	3048	2494
100	1360	2494	3547	2721
125	1360	2857	4028	2721
150	1360	2857	4028	2721

#### 11.2.2.2.1.6.- Variación de la velocidad nominal.

La tolerancia en la variación de la velocidad de un motor de C.A. con respecto al valor de la placa, debe ser menor del 20% de la diferencia entre la velocidad síncrona y la velo-

cidad de placa, cuando ésta velocidad sea medida a tensión, frecuencia y carga nominales y a una temperatura ambiente de 25°C.

#### 11.2.2.2.1.7.-Variación de la tensión nominal

Los motores deben operar correctamente a carga y frecuencia nominales aceptando una variación de  $\pm 10\%$  en la tensión nominal.

#### 11.2.2.2.1.8.- Variación de la frecuencia nominal.

Los motores de corriente alterna deben operar correctamente su carga nominal y tensión nominal bajo una variación de frecuencia de  $\pm 5\%$  de su valor nominal.

#### 11.2.2.2.1.9.- Variación combinada de tensión y frecuencia.

Los motores de corriente alterna deben operar correctamente con su carga nominal, bajo una variación combinada de tensión y frecuencia de tal manera que la suma de ambos porcentos no exceda del  $\pm 10\%$  de sus valores nominales, con tal que la variación de frecuencia no exceda de un 5%.

#### 11.2.2.2.1.10.- Aislamiento.

Los aislamientos de los motores deben soportar sin falla, la aplicación de una tensión alterna durante un minuto, cuyos valores aparecen en la siguiente tabla:

Potencia	Tensión de Prueba
Menores de 1/2 H.P.	500 V + 2 veces la tensión nominal del motor con un mínimo de 900 V.
Mayores de 1/2 H.P.	1000 V + 2 veces la tensión nominal del motor con un mínimo de 1500 V.

#### 11.2.2.2.2.- Especificaciones Térmicas.

##### 11.2.2.2.2.1.- Temperatura.

La temperatura máxima a la cual puede trabajar un motor, sumando la temperatura ambiente más la temperatura propia de funcionamiento, queda limitada por la temperatura correspondiente a la clase de aislamiento con que está construido.

##### 11.2.2.2.2.2.- Clase de aislamiento.

Las clases reconocidas de materiales aislantes y las temperaturas máximas de operación que se les han asignado, son como sigue:

Clase de Aislamiento	Temperatura °C
90	90°C
105	105°C
120	120°C
130	130°C
155	155°C

	180	180°C
Más de	180	Sobre 180°C

### 11.2.2.2.3.- Especificaciones dimensionales

#### 11.2.2.2.3.1.- Literales para identificar Dimensiones.

Las literales empleadas en la figura siguiente, referente a especificaciones dimensionales son:

- P: Diámetro máximo en el cuerpo del motor.
- AA: Diámetro para entrada de tubo.
- AB: Distancia desde el centro del motor hasta el extremo de la caja de conexiones.
- AC: Distancia desde el centro del motor al centro de la entrada para tubo.
- AG: Altura total del motor.
- AJ: Diámetro de la circunferencia entre centros de barreno de la brida.
- AK: Diámetro interno de ajuste de asiento de la base.
- BB: Altura del asiento de ajuste a la base.
- BF: Diámetro de barrenos en brida.
- BV: Altura del centro de la caja de conexiones.
- CD: Altura del Cople.
- XC: Distancia disponible para el ajuste de la flecha de la bomba.
- XG: Diámetro interno de la flecha hueca.

En nuestro caso particular los motores que recibirán -  
mantenimiento, tienen como número de armazón 445 y para ellos -  
las dimensiones nominales son:

AJ = 375 mm

AK = 343 mm

BD = 419-508 mm

BF = 17.4 mm.

La figura 4 muestra los conceptos anteriores..

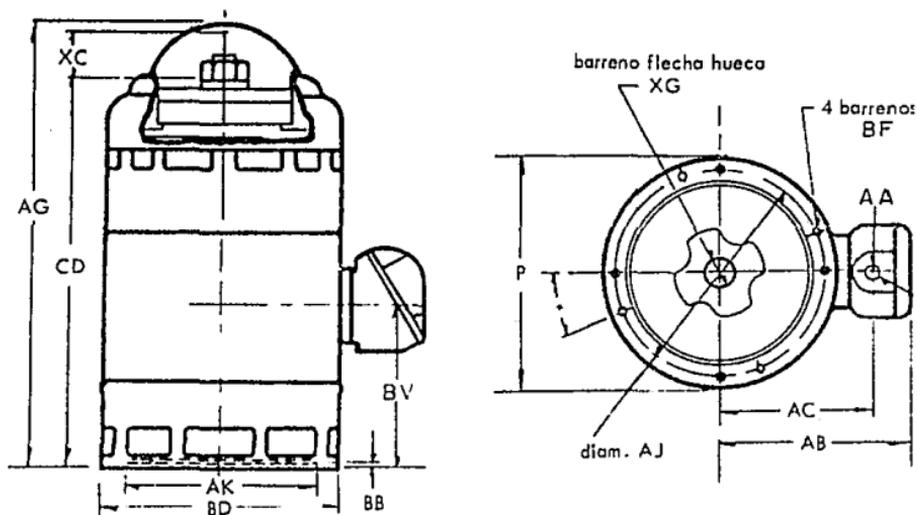


Figura 4

#### 11.2.2.2.4.- Datos característicos para placa.

Los siguientes datos son los mínimos que debe llevar - la placa característica del motor en forma indeleble y en lugar visible.

- Nombre o Marca registrada del fabricante
- Modelo y designación de armazón
- Potencia en H.P. (o KW)
- Tensión nominal en volts.
- Corriente a carga plena en Amperes
- Frecuencia en Hertz
- Número de fases
- Diagrama de conexiones
- Letras de clave, para KVA a rotor bloqueado por H.P.
- Letra de diseño
- Factor de servicio
- Tiempo de operación
- Clase de aislamiento
- Velocidad a carga plena en RPM
- Temperatura ambiente máxima
- Características de lubricación
- Designación de rodamientos
- Número de la autorización de la SIC-DGE
- Indicación del país de origen.

### III.- MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

III 1.- Observación de los fenómenos que presenta el transformador averiado estando en servicio.

Esta observación generalmente la hace el equipo de electricistas de S.A.R.H. en el lugar de los pozos, los que buscarán las siguientes características:

a) Si el transformador se calienta excesivamente.

Las causas principales de este fenómeno son:

- a.1.- Humedad en los devanados primarios y secundarios
- a.2.- Cruzamiento del devanado secundario
- a.3 - Conexión interna defectuosa
- a.4.- Núcleo laminar flojo, mal aislado o de mala calidad.
- a.5.- Tensión de la línea de alimentación superior a la de la placa del transformador.
- a.6.- Sobrecarga en más de 10% en forma continua.

b) Variación de tensión.

Las causas que ocasionan esta variación son:

- b.1.- Corto circuito en el devanado de alta o baja tensión.
- b.2.- Conexiones inadecuadas, ya que sea en alta o en baja tensión
- b.3.- Falta de tensión en la red alimentadora.

c) Falta de tensión en el transformador.

Las causas pueden ser:

- c.1.- Falta de tensión en la red alimentadora
- c.2.- Corto circuito con rotura de alambres en el devanado - de baja tensión, sin conexión a tierra.
- c.3.- Conexiones defectuosas, o equivocadas que no permiten la excitación de los devanados.

III.2.- Diagrama de flujo del proceso de operación.

El proceso de operación del mantenimiento de transformadores se explica en el siguiente diagrama de flujo.

III.3.- Aspectos relativos al mantenimiento de transformadores - (Descripción del diagrama de flujo).

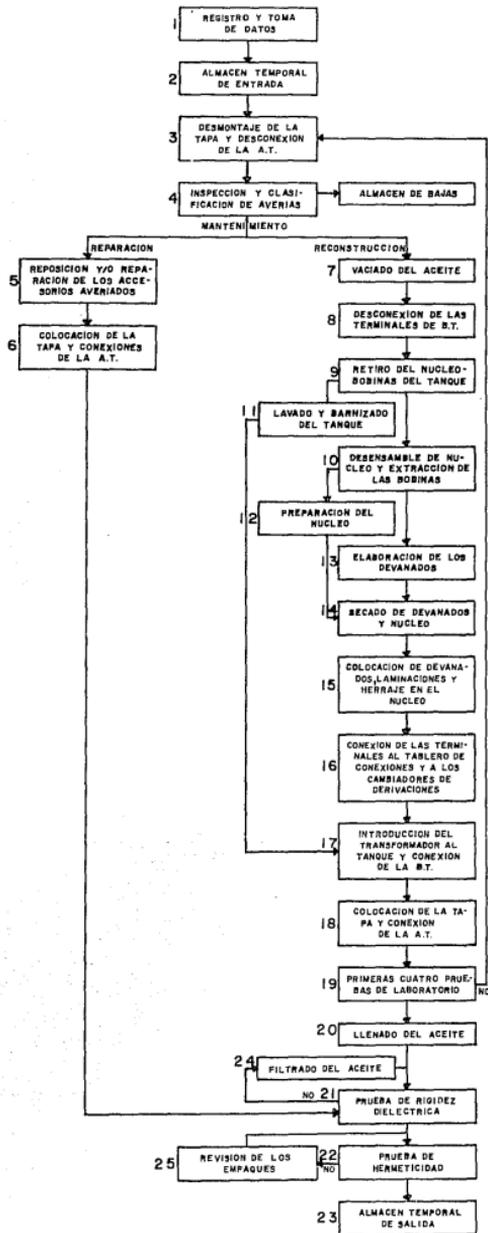
III.3.1.- Registro y toma de datos.

A la llegada del transformador averiado al taller se procede a su registro en el libro de control del taller, continuándose con la toma de datos de placa de la unidad, remitiéndose hacia el almacén temporal de entrada.

III.3.2.- Almacén temporal de entrada.

El transformador espera turno para su correspondiente inspección.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE  
MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES



### III.3.3.- Desmontaje de la tapa.

Se extraen todos los tornillos de fijación y se levanta la tapa para proceder a su desconexión de las terminales de alta tensión a las boquillas.

### III.3.4.- Inspección y clasificación de averías

Primeramente se inspeccionan todos los componentes del transformador en busca de posibles fallas en ellos.

#### a) Boquillas.

Se localizan las fallas en las boquillas por medio de ligeros movimientos con la mano descubriéndose las fracturas, - que pudieron ser ocasionadas por: descargas atmosféricas, fenómenos transitorios de la corriente, golpes directos y defectos del material de fabricación.

#### b) Cambiadores de derivación.

Observar:

b.1.- Acumulación de materias extrañas entre los contactos - del cambiador; que pudo ser ocasionado principalmente por el mal estado del aceite.

b.2.- El estado físico del mismo; algún defecto pudo ser producido por operaciones bruscas.

c) Conectores de las boquillas

Revisar la fijación del cable en el conector pues puede estar flojo o presentar alguna rotura. Esta falla es debida principalmente por defectos de conexión o por corto circuito en la red alimentadora.

d) Válvulas y medidores de aceite.

Revisar su operación satisfactoria, de lo contrario será necesaria la reposición.

e) Aceite dieléctrico.

Verificar la rigidez dieléctrica del aceite. Un aceite se considera como bueno cuando su punto de disrupción se encuentra entre 25 KV y 30 KV de tensión. El aceite se debe someter a regeneración si su punto disruptivo se encuentra entre los 20 KV y 25 KV; para valores menores de 20 KV es recomendable sustituirlo por uno nuevo.

Ahora bien, cuando el estado del aceite se encuentra quemado (de color oscuro), nos indica que uno o varios devanados se encuentran averiados debido a un corto circuito entre bobinas, entre espiras de una bobina, o de ellas al tanque o al núcleo, generalmente ocasionada ésta falla por descargas atmosféricas, transitorios de la corriente, sobre corrientes, sobretensiones, etc. Cuando el aceite presenta un color café, puede indicar que existió una sobrecarga que pudo ser provocada por -

la falta de aceite a su nivel correcto. El aceite quemado es necesario reemplazarlo por uno nuevo.

f) Si los daños en el transformador son de consideración, que su núcleo o tanque se hallan deformado o perforado demasiado será preferible enviarse hacia el almacén de bajas por que resulta antieconómico.

### III.3.5.- Reporte de las averías del transformador.

Una vez realizada su inspección total, se hace un reporte en donde se indica si el transformador en cuestión se reparó o se reconstruye acompañado de su lista de partes de reposición.

### III.3.6.- Mantenimiento.

El mantenimiento se encuentra dividido en dos secciones: reparación y reconstrucción.

#### III.3.6.1.- Reparación

##### III.3.6.1.1.- Proceso de reparación

En el proceso de reparación se realizan las siguientes actividades:

a) Reposición o reparación de accesorios dañados como: boquillas de A.T. y B.T., cambiadores de derivación, conectores, válvulas, bridas, medidores, empaques, reparación de perfora-

ciones y/o abolladuras que presente el tanque.

b) Ensamblado de la tapa y conexión de A.T.

Se realizan las conexiones de las terminales de A.T. en los conectores de las boquillas de la tapa y se coloca ésta en su lugar en el tanque, fijándose posteriormente con sus tornillos respectivos. Previamente se han colocado sus respectivos empaques.

c) Una vez ensamblado el transformador, se envía al laboratorio; en donde se realiza el filtrado del aceite, cuando su prueba de rigidez dieléctrica no haya sido satisfactoria, o su cambio total según el caso.

### III.3.6.2 - Reconstrucción.

Este proceso comprende el cambio total de los devanados del transformador cuando han tenido un corto circuito en sus diferentes formas en que se presenta.

Es conveniente el cambio total, porque se garantizará una mayor vida útil que si solo se reponen las bobinas dañadas.

#### III.3.6.2.1 - Vaciado del aceite.

Se abre la válvula de descarga y se deja escurrir todo el aceite.

### III.3.6.2.2.- Desconexión de las terminales de baja - tensión en el tanque.

Aflojar los conectores de las boquillas que fijan las terminales de baja tensión.

### III.3.6.2.3.- Retiro del núcleo-bobina del tanque.

Para la extracción del núcleo-bobina del tanque, se requiere una grúa móvil, de capacidad suficiente para ser empleada en diferentes transformadores, efectuándose la operación de la siguiente manera:

- a) Que los amarres del núcleo a la grúa, se encuentren perfectamente seguros para evitar un accidente.
- b) Que en el momento de irse extrayendo el núcleo-bobinas, los cambiadores y conexiones no recen partes de hierro para evitar deterioros adicionales y atoramiento.
- c) Al quedar fuera el núcleo-bobina, descansar sobre el tanque por medio de unos barrotos de madera, con objeto de que escurra perfectamente el aceite.
- d) Antes de proceder a obtener los diagramas de conexiones, conviene observar detenidamente las bobinas, conexiones cambiadores, etc., con objeto de descubrir la falla y la causa que lo produjo.

e). Tomar los siguientes datos:

- e.1.- Espacio que ocupan los devanados
- e.2.- Medidas de aislamientos entre devanados y hierro.
- e.3.- Detalle de sujeción de las bobinas y piezas.
- e.4.- Clase de separadores entre fases.

#### III.3.6.2.4.- Desensamble del núcleo.

Después de haberse escurrido el aceite del transformador, se baja del tanque el núcleo-bobina depositándolo en una plataforma móvil, (el tanque también se coloca sobre una plataforma móvil y se envía hacia su lavado).

Se cortan todas las terminales de alta y baja tensión de los devanados quedando completamente separados de los cambiadores.

Se quitan las tuercas que sujetan el herraje donde se encuentran los cambiadores y se desmonta.

Se limpia el laminado que se va a retirar empapando con gasolina la parte superior del núcleo e intersticios de los devanados que se encuentran mas cerca del laminado. Esta operación facilita grandemente el desarmado de las láminas superiores para extraer después las bobinas de cada fase.

Se extraen las porciones de laminas, que cierran la parte superior introduciendo una espátula de acero o desarmador

y jalando cada porción de láminas por medio de unas pinzas.

#### III.3.6.2.5.- Extracción de los devanados.

Una vez abierto el núcleo, quedarán las bobinas dispuestas para ser extraídas. Para ello es necesario una cadena con ganchos en sus extremos y por medio de la grúa, se extrae toda la fase.

#### III.3.6.2.6.- Toma de datos de los devanados extraídos.

Una vez afuera los devanados, es necesario tomar los siguientes datos de construcción: cantidad de vueltas, clase de alambre, calibre del mismo, detalles internos de aislamientos y ductos para el aceite.

#### III.3.6.2.7.- Elaboración de devanados.

##### III.3.6.2.7.1.- Descripción de las máquinas embobinadoras y de los soportes de carretes.

##### a) Máquinas embobinadoras.

La máquina embobinadora consta de dos partes: base y molde, (Ver figura 5 y detalle).

La base es una mesa angosta y larga teniendo en sus extremos respectivas paredes verticales en las que van montadas - unas chumaceras.

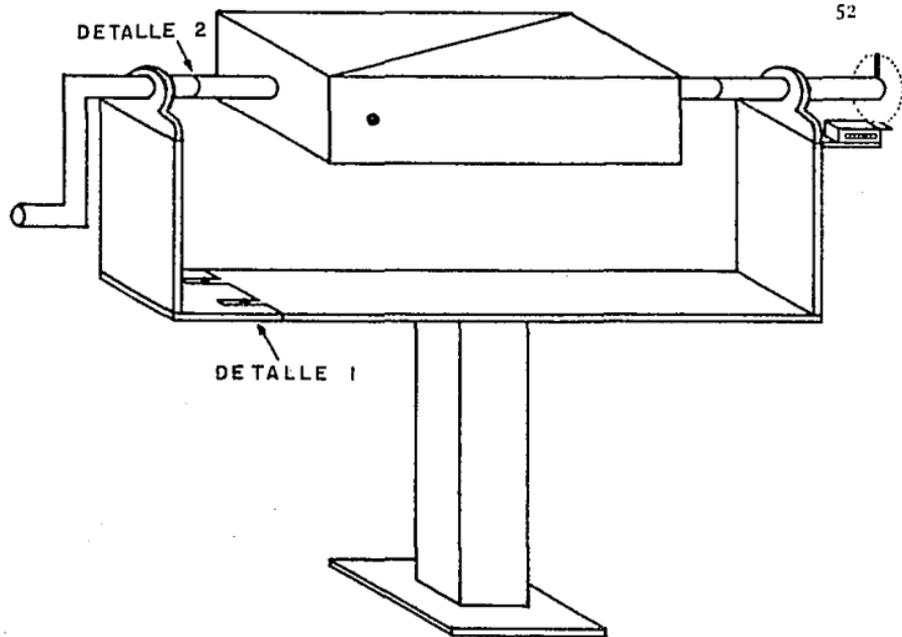
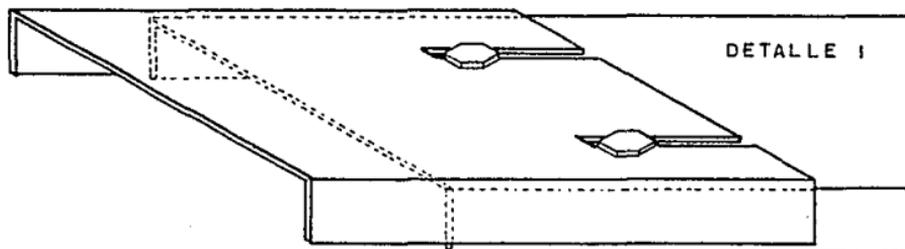


FIGURA 5

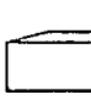


DETALLE 2

EJE DE LA  
CHUMACERA



EJE DEL  
MOLDE



La chumacera del lado izquierdo está provista de un eje con manivela; la chumacera del lado derecho tiene también un eje, solo que en su extremo exterior lleva un brazo, en forma perpendicular al eje, que hace funcionar el contador de vueltas mecánico.

Para montar el molde se hacen las siguientes operaciones:

- Se aflojan los tornillos que fijan la pared móvil izquierda y se jala hacia afuera. (ver detalle).
- Se embonan los ejes del molde y de la chumacera del lado derecho.
- Se mete la pared izquierda móvil hasta embonar los otros dos ejes sobrantes.
- Se aprietan los tornillos de la base quedando de esta manera el molde listo para su operación de embobinado.

El molde se hace tomando las medidas correspondientes al núcleo laminar, dándole dos mm. de más con el objeto de que el devanado fabricado entre con facilidad al núcleo sin el peligro de que al forzarse cause un contacto a tierra o deteriore el aislamiento dejando un punto débil que más tarde lo provoque.

Los moldes pueden ser redondos, cuadrados, o rectangulares; teniendo un molde en particular para cada forma y tamaño del devanado a reconstruir.

El molde está construido en dos partes iguales que al acoplarse dan la forma deseada del devanado a fabricar, como se observa en la figura 6:

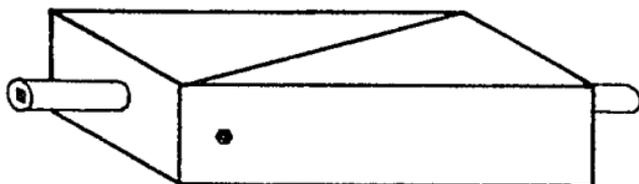


Figura 6.

Como se observa, se fija el acoplamiento de las partes del molde por medio de tornillos situados uno en cada extremo.

En los extremos del molde tiene dos ejes que sirven para su embonamiento con los ejes de las chumaceras.

#### b) Descripción del soporte de carretes.

El portacarrete consta de un armazón de hierro en el cual descansa el carrete que se ha provisto de un eje para que pueda girar. Vease la figura 7. La tabla en la parte inferior tiene-

el fin de frenar un poco el carrete en su movimiento para que no se desenrede.

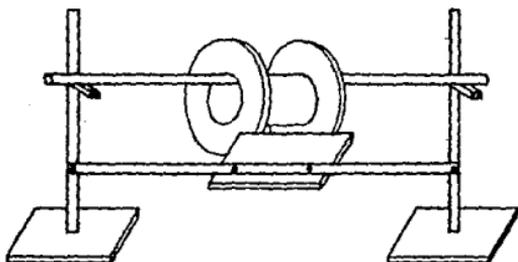


Figura 7.

#### III.3.6.2.7.2.- Devanado de las fases.

El devanado de una fase se realiza en dos secciones: - devanado de baja tensión y devanado de alta tensión.

##### a) Devanado de baja tensión.

Una vez colocado el molde, el siguiente paso es hacer el casquillo aislante, el cual consiste en una o varias vueltas de cartón especial cuyo espesor debe ser de 5 mm. con las vueltas necesarias de acuerdo con el tamaño y tensión de la bobina; enseguida se coloca una capa con cinta de lino cuyo fin es fijar al casquillo aislante; se barniza la capa de cinta de lino para colocar sobre ésta un papel dieléctrico y comenzar a cons-

truir el devanado.

El devanado del alambre requiere las siguientes operaciones:

- a.1) Móntese el carrete del alambre en el portacarrete.
- a.2) Amarre la punta, o puntas, del alambre al molde, debiendo tener cinta de lino que nos servirá para entrelazarlas en las primeras vueltas.
- a.3) Dar las vueltas necesarias para cubrir la primera capa de alambre, dejando tanto al principio como al final unos dos cm. de espacio libre para que se puedan colocar después los aislamientos.

Las vueltas tienen que ir perfectamente bien apretadas; para ello es necesario, aparte de una buena tensión en el alambre, ir golpeando con un mazo de hule o pasta las vueltas, sobre todo si el devanado se hace en un molde rectangular o cuadrado.

- a.4) Se barniza la primera capa y se cubre con papel dieléctrico para empezar la segunda capa.

Se coloca la segunda capa de alambre y se repite el procedimiento anterior hasta dar la cantidad de vueltas que el devanado de baja tensión requiera.

a.5) Se barniza la última capa de alambre y se cubre con una capa de cinta de lino, que enseguida se barniza y se colocados capas de papel machibre.

De esta manera, el devanado de baja tensión queda listo para recibir el devanado primario.

Cuando el devanado de baja es de varios conductores en paralelo, el trabajo es más laborioso, pues se requiere tener tantos carretes como conductores sean en paralelo.

b) Devanado de alta tensión.

El primer paso es la colocación del aislamiento que va a separar el devanado de alta tensión con el de baja que acabamos de colocar. Este aislamiento consiste en una capa de cartón, cinta de lino, barnizado y colocación del papel dieléctrico como se hizo para la baja tensión. Después se forman los ductos para aceite con tiras de cartón a lo largo del devanado de baja tensión, sujetandolos por medio de cinta de lino.

En el devanado de alta tensión, debido al alto número de vueltas y a los cambiadores de derivación en que va conectado, es más conveniente su construcción en pequeños devanados o "donas". La figura 8 muestra la construcción del devanado de alta de esta manera.

Para la construcción del devanado de alta se requieren las siguientes operaciones:

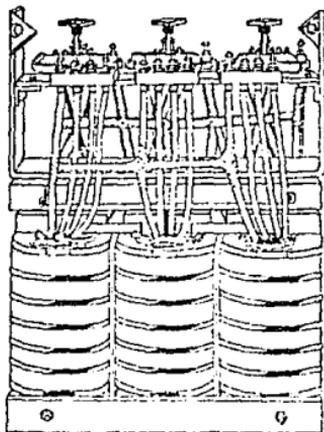


Figura 8

- b.1) Se cortan tiras de papel aislante de acuerdo con la tensión del transformador las cuales servirán para aislar las capas de alambre. El ancho de la tira debe ser del mismo tamaño de la dona.
- b.2) Se colocan las tiras de papel que servirán de guía para el devanado de las donas.
- b.3) Se cortan 8 tramos de 1 metro de conductor con forro aislante que se utilizarán como las terminales que salen del devanado hacia el cambiador de derivación y su conexión entre fases.
- b.4) Se inicia la primera capa de alambre de la primera "dona", al terminarse ésta capa, se le aplica un baño de barniz y luego se coloca una tira de papel dieléctrico para continuar con la segunda capa. Se coloca la segunda capa de alambre y se repite el procedimiento anterior, hasta llegar al número de vueltas de la primera derivación. Aquí se solta uno de los tramos de conductor con forro de hule, antes mencionado y se coloca un pedazo pequeño de espaguetti barnizado para aislar la conexión.

Se continúa con el devanado hasta llegar a la segunda derivación haciendose la misma operación anterior. Este mismo proceso se repite para la tercera derivación.

Una vez terminadas las derivaciones, se continua el de

vanado hasta completar el número de vueltas de la primera dona.

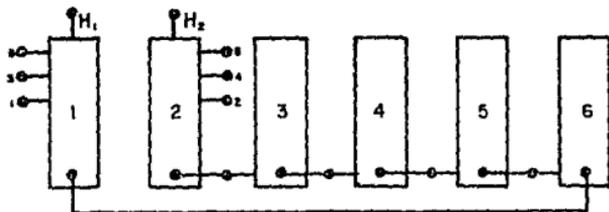
Una vez hecho esto, se barnizan los conductores y se cubren con la cinta de lino, para después volverse a barnizar, quedando finalmente acabada la dona.

El devanado de la dona No. 2, es idéntico al de la No. 1.

El devanado de las donas No. 3, No. 4, No. 5, No. 6 son iguales que el No. 1 y No. 2 sólo que no llevan terminales de derivación. Todas las donas deben tener el mismo número de vueltas.

La conexión entre las donas es la siguiente:

El final de la No. 2, se conecta al inicio de la No. 3; el final de la No. 3, se conecta al inicio de la No. 4; el final de la No. 4, se conecta al inicio de la No. 5; el final de la No. 5, se conecta al inicio de la No. 6; el final de la No. 6, se conecta al final de la No. 1, como se describe en el diagrama siguiente:



Todo este procedimiento se realiza para las fases restantes.

### III.3.6.2.7.3.- Precauciones importantes en la elaboración de los devanados.

Son de suma importancia las precauciones que enseguida vamos a señalar; a fin de lograr un resultado satisfactorio en los devanados:

- a) El alambre para construir las bobinas debe ser de la mejor calidad, así como los aislamientos, cintas de lino, barnices etc.
- b) La colocación del alambre debe ser hecha con la máxima perfección a fin de que no se monten o entrecrucen las vueltas. Será necesario ir juntando las vueltas por medio de una espátula de plástico y un martillo de hule o pasta, a fin de dar lugar a más vueltas de alambre.
- c) En el caso de tener que hacer un aumento de alambre, hágase en un lugar apropiado (no en las aristas) para que no se deformen las capas superiores, soldando la conexión con pasta exenta de ácidos y a base de resinas no corrosivas, y cubriéndola con tela especial de alta tensión. Este mismo tipo de soldadura se debe emplear para las conexiones de las "donas" y terminales de los cambiadores de derivación.

- d) Poner toda la atención al contar las vueltas, pues la falta o sobrante de las mismas alteran la relación de transformación.
- e) Coloque las vueltas de la bobina dejando a cada lado un espacio de unos 3 mm., con objeto de que al sacar el devanado no se crucen las vueltas de una capa con otra.
- f) Protega perfectamente el principio y el fin de las vueltas.

#### III.3.6.2.8.- Lavado y barnizado del tanque.

Se lava el tanque con solvente, con el fin de eliminar todo resto de aceite.

Observar la pintura interior del tanque para ver si tiene burbujas, sedimentos o se ha deslavado, lo que indica la presencia de humedad en el transformador lo cual pudo ocasionar lo el envejecimiento del aislamiento o por entrada de agua.

Se buscarán perforaciones o abolladuras en el tanque para repararlas.

Una vez seco el tanque, se procederá a barnizar el interior con la pistola de aerosol del motocompresor eléctrico.

#### III.3.6.2.9.- Preparación del núcleo y ajustes.

Se debe de revisar el estado en que quedaron las lami-

naciones al fallar el transformador, sobre todo si hubo de un corto circuito directo al núcleo, en cuyo caso siempre quedan deterioradas unas porciones de láminas que hay que reponer por otras nuevas. Si el corto circuito fue de pequeña intensidad y solo se ven pequeñas adherencias de cobre en el laminado, bastará con retirarlas con un cincel, limando perfectamente el lugar donde recidieron.

Se lava el núcleo y sus laminaciones con solvente colocando una capa bien apretada de cinta de lino para evitar subidos posteriores, dándole un baño de barniz para que endurezca.

#### III.3.6.2.10.- Secado de devanados y núcleo.

Una vez elaborados los devanados y preparado el núcleo se introducen al horno de secado, que consiste en una cámara metálica aislada con fibra de vidrio con cierre hermético, provista de una batería de focos de rayos infrarojos de tipo industrial y parrillas con cremallera para dar la distancia apropiada.

La duración del secado es de aproximadamente 10 horas a una temperatura de 75°C.

Una vez concluido el tiempo, el horno se apaga y se deja enfriar hasta el día siguiente.

### III.3.6.2.11.- Colocación de los devanados en el núcleo.

Los pasos para colocar los nuevos devanados de los transformadores son los siguientes:

- a) Se colocan pequeños tacones aislantes procurando que todos vayan en los mismos lugares, con objeto de que al apretar el tensor del devanado, todos aprieten parejo y no queden lugares en que con la presión de los tensores, se formen ondas que perjudiquen directamente a los devanados.
- b) Con todo cuidado y ayudado por otra persona, introduzcanse los devanados procurando que entren sin maltratarse o rozar contra el laminado; en caso de forzarse demasiado se corre el peligro de romper el aislante y dejar un punto débil en que, seguramente pasado un corto tiempo, aparecerá una avería de consideración.
- c) Una vez terminada la colocación de los devanados, se colocan los cuellos y aislamientos superiores, y se procede a laminar el núcleo, para lo cual el operario usa una espátula o desarmador que va separando las porciones del laminado para permitir la entrada de las porciones de láminas que van a cerrar el circuito magnético.
- d) Después de lo anterior, se coloca el herraje superior, apretando los tornillos uniformemente; después se ponen los ta-

bleros de conexiones y cambiadores de derivación.

III.3.6.2.12.- Conexiones de las terminales al tablero de conexiones y a los cambiadores de derivación.

Las terminales de los devanados de baja tensión, se aíslan con cinta de lino barnizado y se realiza la conexión entre ellas formando el neutro de la estrella en el tablero.

Las terminales de los devanados de alta tensión se aíslan adecuadamente, debido a su alta tensión, con un forro de 1 cm. de espesor hecho a base de papel manila dieléctrico cubierto de cinta de lino con barniz y conectándose en delta. El aislamiento de las terminales que van hacia el cambiador de derivación, en donde se conectarán, se hace con cinta de lino barnizado, ya que la tensión que soportan es mucho menor que en las terminales de los devanados. La figura 9 ilustra dichas conexiones.

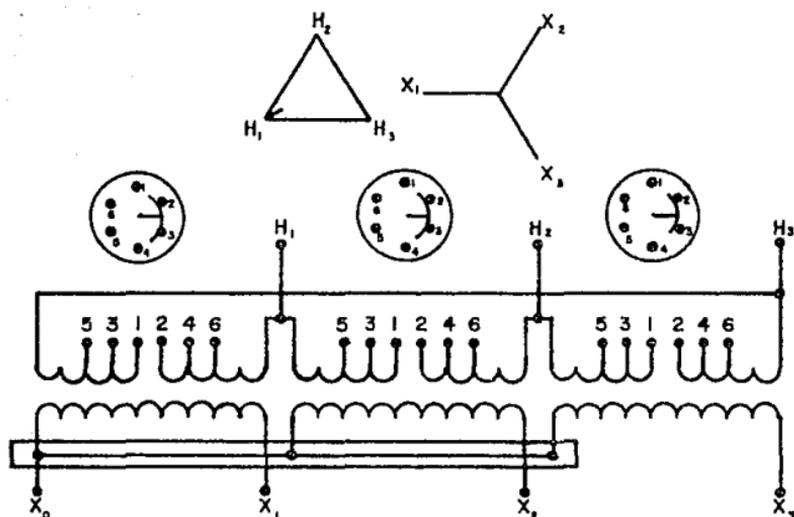


Figura 9

Las conexiones se realizan por medio de tuercas.

III.3.6.2.13.- Introducción del transformador al tanque y conexión de las terminales de baja tensión en las boquillas del tanque.

Con la ayuda de la grúa móvil, se levanta el transformador reconstruido y lentamente se meta dentro del tanque, evitando cualquier roce o golpe, hasta depositarlo en el fondo.

Se deben cambiar los empaques de Neopreno de las boquillas de baja tensión, previamente elaboradas.

Se conectan las terminales de baja tensión a los conectores de presión de las boquillas del tanque.

III.3.6.2.14.- Colocación de la tapa y conexiones de las terminales de alta tensión a las boquillas de la tapa.

Una vez colocados los empaques de la tapa, registro de mano y boquillas de alta tensión, se procederá a colocar la tapa sobre el tanque y se conectarán las terminales de alta tensión en los conectores de tuerca de las boquillas de la tapa. - Después de coloca la tapa en su lugar del tanque y se fija con tornillos al tanque.

III.3.6.2.15.- Envío al laboratorio.

El transformador totalmente ensamblado, se remite hacia el laboratorio en donde se le realizarán las pruebas finales, que se especifican más adelante.

III.4.- Pruebas de rutina para transformadores en el laboratorio.

Las pruebas que se le realizarán a los transformadores son las siguientes:

- 1.- Medición de la resistencia obmica
- 2.- Medición de la resistencia de aislamiento

- 3.- Relación de transformación y polaridad.
- 4.- Secuencia de fases y desplazamiento angular
- 5.- Rigidez dieléctrica del aceite
  - 5.1.- Filtrado del aceite
- 6.- Hermeticidad.

Nota: Las otras pruebas que existen se tratarán en el -  
Apéndice:

El objetivo de éstas pruebas es comprobar que la uni--  
dad reconstruida cumpla con las especificaciones y normas que -  
se indican en su placa y que rigen su funcionamiento.

Una vez recibido el transformador de su ensamblado to--  
tal, hacemos notar que no contiene el aceite dieléctrico, pues  
en caso de no pasar alguna de las cuatro primeras pruebas, se -  
regresará el transformador a desensamblarlo para la corrección-  
de su defecto, evitándose de esta forma la posible contamina-  
ción del aceite y tener que realizar nuevamente las operaciones  
de limpieza.

Si el resultado de dichas pruebas es satisfactorio, se  
le practica un vacío al tanque, por medio de una bomba de va--  
cío, y se llena el tanque con el aceite al que previamente se -  
le ha realizado la prueba de rigidez dieléctrica, donde se de--  
terminará si dicho aceite es necesario filtrarlo o se encuentra  
en un estado satisfactorio.

Si el aceite se encuentra con impurezas o húmedo, se realiza su operación de filtrado por medio de un filtro prensa, una vez aceptable la rigidez dieléctrica del aceite, se le realiza al transformador la prueba de Hermeticidad finalizando así todas las pruebas básicas y llevandose la unidad al almacén temporal de salida.

Nota: Cuando el transformador llega de reparación, trae al aceite original que tenía cuando se encontraba en servicio. Aquí el transformador pasa directamente a su filtrado o se procede a su cambio de aceite dependiendo del resultado de la prueba de rigidez dieléctrica.

#### III.4.1.- Medición de la resistencia óhmica.

Esta prueba nos determina la resistencia de los devanados para el cálculo de las pérdidas en el cobre ( $I^2R$ )

Existen dos métodos para la medición de la resistencia óhmica:

- a).- Método del puente de Wheatstone (ó el de Kelvin)
- b).- Método de la caída de potencial.

En el laboratorio se utilizará el método del puente; - el otro método se explica en el Apéndice.

##### III.4.1.1.- Método del puente de Wheatstone.

Este método se emplea cuando la resistencia del embobinado por medir es mayor de 1 ohms, el puente de Kelvin es aconsejable para resistencias menores de 1 ohms. El método del puente se prefiere generalmente debido a su exactitud ya que las corrientes pequeñas con que trabaja no alteran el valor de resistencia por cambios de temperatura. Este método es obligatorio en el caso en que la corriente nominal del devanado bajo prueba sea menor de 1 ampere.

El diagrama de conexiones correspondiente al puente de Wheatstone se muestra en la figura 10.

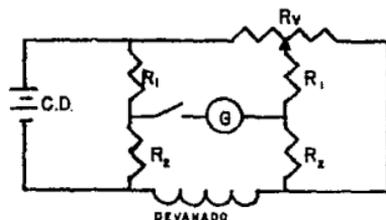


Figura 10

Una vez realizada la conexión se moverá la resistencia variable,  $R_v$ , hasta que el galvanómetro,  $G$ , marque cero. La resistencia del embobinado será el valor de  $R_v$  cuando  $G$  marque cero. Este mismo procedimiento se emplea tanto para alta tensión como para baja tensión.

El valor de la resistencia deberá calcularse a la tem-

peratura normal de operación, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1}$$

- $R_1$  = Res. inicial (medida directamente).
- $R_2$  = Res. a la temp. normal de operación.
- $T_1$  = Temp. a la que se midió R.
- $T_2$  = Temperatura normal de operación.

La variación apreciable entre las lecturas de la resistencia en las fases de un transformador, nos indican:

- a) Que existe un error en las vueltas de que consta el devanado de la fase.
- b) Que existe un corto circuito entre espiras y ésta es la razón por la que varía apreciablemente la resistencia óhmica.

#### III.4.2.- Medición de la resistencia de aislamiento.

Esta prueba es útil para conocer la cantidad de humedad relativa en el aislamiento y la corriente de fuga en las partes sucias o húmedas; o sea, nos determinará la resistencia de aislamiento entre el embobinado de alta contra baja, entre el de alta contra tierra y entre el de baja contra tierra. Es necesario realizar estas mediciones estando frío el transformador, para estas pruebas se utilizan un aparato llamado Megger.

Las conexiones para las diferentes mediciones son:

- Alta tensión contra baja tensión: figura 11
- Alta tensión contra tierra: figura 12
- Baja tensión contra tierra: figura 13

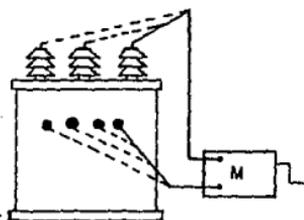


Figura 11

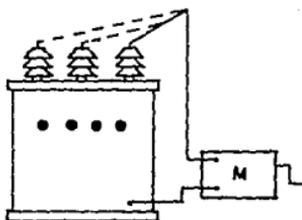


Figura 12

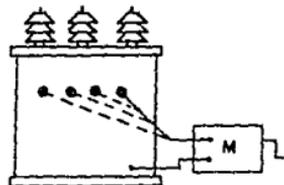


Figura 13

Las lecturas que nos debe dar el Megger, para considerar un buen resultado, deben ser de 1 Mohms por cada KV, o bien para mayor seguridad deberán encontrarse entre estos valores.

- Entre alta contra baja y alta contra tierra, deben ser superiores a los 100 Mohms.
- Entre baja contra tierra, debe ser superior a 50 Mohms.

Si los valores obtenidos difieren de los anteriores nos indicarán la presencia de humedad en los devanados, por lo-

tanto el transformador deberá ponerse a secar.

Un método común es alimentar por baja tensión a una tensión reducida que haga circular la corriente nominal (entre el 1% y 15% de la tensión nominal) y cerrar en corto circuito la alta tensión, hasta alcanzar una temperatura de unos 80°C. En seguida se deja enfriar el transformador y se vuelve a probar por medio del Megger.

#### III.4.3.- Relación de Transformación y polaridad.

Para realizar las siguientes pruebas, se empleará el equipo de medición llamado "TTR", (Transformer Turn Ratio Test-Set); el cual nos proporcionará la relación de transformación con una exactitud de hasta milésimas de entero, a la vez, se comprueba la polaridad de ambos devanados en el momento de probar la relación de transformación. En la figura 14 se muestra el aparato físicamente.

En el caso de que el resultado de la relación de transformación obtenido en la prueba, no esté de acuerdo con el valor teórico de la relación que tiene el transformador; implica que hubo un error en la manufactura de las bobinas, primarias o secundarias, a las cuales les faltaron o sobraron vueltas y por tanto será necesario volverlas a sacar para colocarles la cantidad correcta.

Aparte del método del T.T.R., existen otros para medir

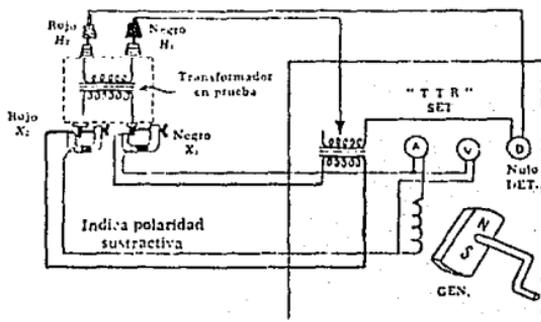
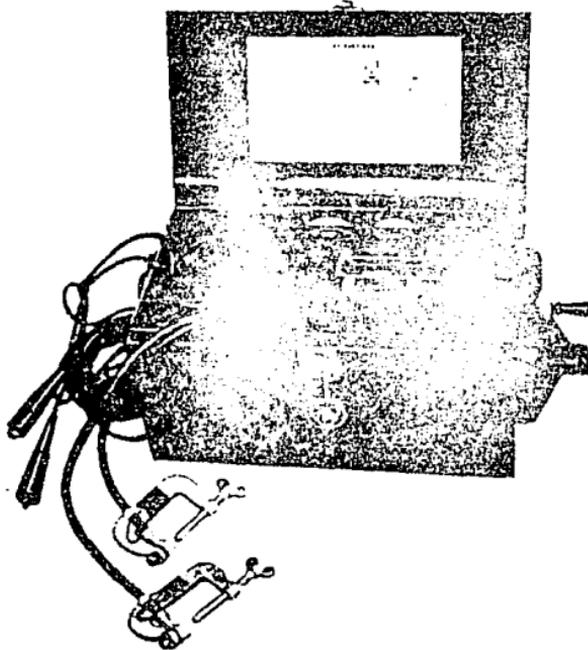


Figura 14

la relación de transformación, los cuales se tratarán en el Apéndice; estos métodos son:

- a.- Método del voltmetro
- b.- Método del transformador patrón
- c.- Método de la resistencia variable

Así mismo, existen otros métodos para determinar la polaridad que también se tratan en el Apéndice, estos métodos son:

- a.- Método de la tensión alterna
- b.- Método del transformador patrón
- c.- Método de la descarga inductiva

Como se puede ver en la figura 14, este aparato es de tipo portátil; lleva un pequeño generador que se acciona con la mano por medio de una manivela; está dotado de 4 cables para su uso, dos delgados y dos gruesos, los delgados llevan clip tipo caimán, con cubierta de hule perfectamente marcada su polaridad o sea, uno con cubierta de hule rojo y el otro negro; los dos cables gruesos llevan clip tipo prensa de los llamados sargentos, llevando dos cables gruesos y dos delgados a la vez, perfectamente bien identificados con rojo y negro.

Para una mayor simplicidad de la explicación del funcionamiento se hará para un transformador monofásico, posteriormente se analizará el caso para un transformador trifásico.

Las terminales gruesas se colocan en el devanado de baja tensión del transformador en prueba, haciendo coincidir las terminales marcadas con negro en H1 y X1, las rojas en H2 y X2.

El equipo de "TTR" consta de los siguientes aparatos: un amperímetro de 0-10 amps; un voltmetro de 0 a 8 V, y un detector (galvanómetro). También contiene 4 controles que hacen girar un disco numerado, el cual, al girarlo por medio del control, el número se asoma a través de una pequeña ventanilla; los controles están separados de dos en dos por medio de un remache metálico que señala el punto decimal de modo que los dos primeros discos indican enteros y los otros dos, uno décimos y el otro centésimos y milésimos de entero.

Una vez hechas las conexiones, se gira la manija del generador, si esta no se siente forzada y, además, el amperímetro indica menos de los diez amperes, ello implica que tanto el transformador en prueba y el "TTR" están bien conectados, indicando con esto, que el transformador en prueba, tiene polaridad negativa o sustractiva, y se prosigue con la medición para determinar la relación de vueltas, haciendo girar el generador a tal velocidad que el voltmetro indique 8 V y mantenerse constante durante la prueba.

Usando como ejemplo una relación de 60:1, la cual nos la proporciona las tensiones de placa nominales, se pone el primer disco por medio del control en 6, el segundo en 0, el tercero y cuarto en 0, indicando que la relación es de 60.000, pero-

si el detector no se queda fijo, se buscará el valor que el detector se quede fijo, por medio de una combinación de los controles.

Cuando se trata de un transformador trifásico, la prueba se hace fase por fase, y si la conexión del transformador es delta en alta y estrella en baja, (como lo es nuestro caso), se procede de la siguiente manera: la terminal gruesa roja se conecta en  $X_0$  y utilizándose para las tres fases. Para la fase - A, la terminal gruesa negra se conecta en  $X_1$ , la terminal delgada roja se conecta en  $H_1$  y la terminal delgada negra se conecta en  $H_3$ .

Para la fase B, la terminal gruesa negra se conecta en  $X_2$ , la terminal delgada roja en  $H_2$  y la terminal delgada negra se conecta en  $H_1$ .

Para la fase C, la terminal gruesa negra se conecta en  $X_3$ , la terminal delgada roja se conecta en  $H_2$  y la terminal delgada negra se conecta en  $H_3$ .

Este aparato tiene la ventaja de ser muy preciso y además no ofrece ningún peligro para las personas que lo manejan, pues deja de generar en el momento que se suelta la manija.

La figura 15 muestra los arreglos de los devanados trifásicos para las polaridades aditivas y substractivas.

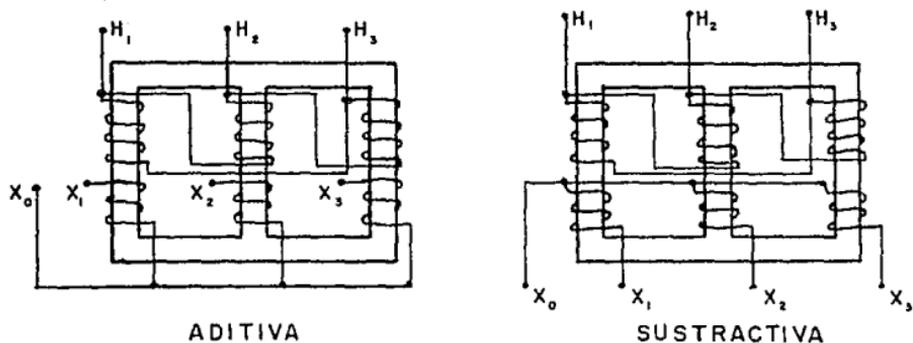


Figura 15

III.4.4.- Prueba de secuencia de fases y desplazamiento angular (Diagrama fasorial).

III.4.4.1.- Secuencia de fases.

Esta prueba puede efectuarse usando un indicador de secuencia de fases, el cual puede ser un motor de inducción trifásico o un circuito de fase dividida. El procedimiento a seguir es:

- 1.- Se conecta el indicador de secuencia de fases en las terminales de Alta Tensión del transformador, después se excitan las tres fases de Baja tensión con voltaje trifásico apropiado para el indicador y se anota la dirección de rotación o la indicación del instrumento.

- 2.- Se transfiere el indicador al lado de B.T. del transformador, conectando en X1, X2, y X3 las terminales que estaban conectadas en H1, H2 y H3 respectivamente.
- 3.- Se excita el transformador por A.T. a la tensión adecuada para el indicador, observándose la dirección de rotación o la indicación del instrumento.
- 4.- Si la indicación del instrumento es la misma en ambos casos, la Sec. de fases del transformador es la normal. La secuencia debe ser en el orden 1, 2 y 3 en el sentido contrario a las manecillas del reloj (secuencia positiva).

Esta prueba es muy importante para la conexión de transformadores en paralelo, los cuales deben cumplir con igual secuencia de fases.

#### III.4.4.2.- Desplazamiento angular (Diagrama fasorial)

El diagrama fasorial de cualquier transformador trifásico se puede verificar conectando las terminales H1 y X1, excitando el transformador a una tensión trifásica apropiada y tomando mediciones de tensión entre varios pares de terminales, trazando estos valores o comparándolos en su orden relativo de magnitud con el auxilio del diagrama de la figura 16. Este diagrama indica las mediciones típicas que se deben hacer y su magnitud relativa.

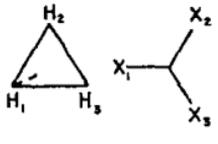
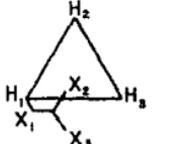
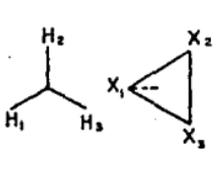
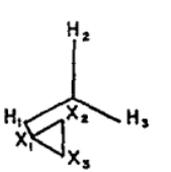
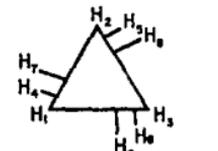
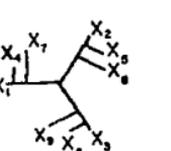
DESPLAZAMIENTO ANGULAR 30°	DIAGRAMA PARA MEDICIONES	MEDICIONES DE PRUEBA
		<p>CONECTAR  <math>H_1</math> a <math>X_1</math>            MEDIR  <math>H_3 - X_2, H_3 - X_3, H_1 - X_3,</math>  <math>H_2 - X_2, H_2 - X_3</math></p> <p>RELACION DE TENSION            (1) <math>H_3 - X_2 = H_3 - X_3</math>            (2) <math>H_3 - X_2 \quad H_1 - H_3</math>            (3) <math>H_2 - X_2 \quad H_2 - X_3</math>            (4) <math>H_2 - X_2 \quad H_1 - H_3</math></p>
		
		

Figura 16

#### III.4.5.- Rigidez Dieléctrica del Aceite.

Esta prueba nos sirve para determinar si el estado del aceite, se encuentra en condiciones normales.

Las características del aceite para transformadores son:

- Puntos de inflamación : 130°C
- Viscosidad: 57 a 60 Segs., a 37.8°C en un Saybolt Universal.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- Exentos de: Cloruros, álcalis, sulfatos, humedad.
- Soportar la "tensión disruptiva".

La prueba consiste precisamente en someter el aceite a la tensión disruptiva. Esto consiste en tomar una muestra del aceite y colocarla entre dos electrodos de 0.1 pulgada (2.5 mm) de separación, aplicar una tensión de 30 KV a una temperatura de 25°C durante 60 segs; si se trata de aceite nuevo no debe de saltar chispa entre los electrodos en ese lapso, si se trata de aceite regenerado no debe de saltar la chispa a una tensión no menor de 25 KV en dicho lapso. Si se cumplen las condiciones anteriores, indica que el aceite se encuentra en buen estado, - en caso contrario nos indica que el aceite se encuentra contaminado.

El aceite se deposita en un dispositivo aislante llamado "copa", que es el que contiene los electrodos. La muestra de aceite se debe tomar de la parte inferior del tanque y dejarla reposar unos 3 minutos en la copa hasta que se encuentre en completo reposo y sin burbujas. La tensión se debe aumentar gradualmente a 3 KV/seg. hasta lograr la ruptura (salto del arco) tomando el dato a la tensión que sucedió. Es conveniente repetir la prueba unas dos veces más y sacar la media de las lecturas la cual será el valor definitivo.

Esta prueba se realiza en un aparato probador de aceite. El probador de aceite es un transformador de alto potencial, regulable por medio de un reóstato y provisto de un reci-

piente especial que tiene dos electrodos en forma de disco de unos 25 mm. de diámetro, los cuales son ajustables por medio de un calibrador para dar la distancia requerida, cuyo objeto es vencer la resistencia dieléctrica que ofrece el aceite para conocer el valor de la misma y, por consiguiente, el estado que guarda. La figura 17 nos ilustra dicho aparato:



Figura 17

#### III.4.5.1.- Filtrado del aceite dieléctrico.

Las partes que integran el filtro prensa son: una bomba para líquidos pesados, un motor eléctrico de 3 HP, una serie de marcos metálicos en donde van colocados papeles filtro secantes, en los cuales, al pasar el aceite, se van depositando las impurezas y la humedad.

La operación de filtrado se realiza de la manera siguiente:

- a) Quitense los marcos de la prensa filtro y colóquense los secantes nuevos, volviéndolos a colocar en su lugar y apretando por medio del tornillo respectivo todos los marcos procurando que la presión sea la suficientemente fuerte para evitar que salga el aceite de los mismos.
- b) Conéctese a la válvula de descarga del transformador, la manguera de admisión de la bomba.
- c) Conéctese la manguera de salida de la bomba a la válvula de carga del transformador.
- d) Abranse las válvulas de carga y descarga, y actívese el motor de la bomba.

El filtro prensa consta de un medidor de gasto de aceite. Cuando dicho medidor marque que ya ha circulado por el filtro prensa, el total de litros que contiene el transformador, se extrae una muestra de aceite y se realiza la prueba de rigidez dieléctrica la cual nos indicará si fue suficiente una filtrada o es necesaria repetirla.

Se recomienda cambiar el papel filtro de la prensa por lo menos cada dos pasadas.

Cuando venga de reparación en el caso de que sea necesario el cambio del aceite, se procede de la siguiente manera:

Se descarga y escurre el tanque para después llenarlo con aceite nuevo, habiendole practicado la prueba de rigidez dieléctrica, para determinar si se encuentra en buenas condiciones o es necesario filtrarlo siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

#### III.4.6.- Prueba de Hermeticidad.

El propósito de esta prueba es comprobar si la hermeticidad del transformador es correcta; ya que la presencia de perforaciones o el mal sellado en los diferentes empaques del transformador nos provoca una fuga del aceite aislante y la posible entrada de humedad u otro tipo de impurezas.

La prueba consiste en inyectar al transformador nitrógeno de alta pureza (o aire seco) a una presión aproximada de  $0.35 \text{ Kg/cm}^2$ . en el lapso de unas dos horas, a la salida del tanque del nitrógeno va conectado un manómetro el que nos indicará si existe variación, si se llega a presentar dicha variación en la presión nos determina que el transformador no está herméticamente cerrado.

El esquema de conexiones de la prueba está mostrado en la fig. 18.

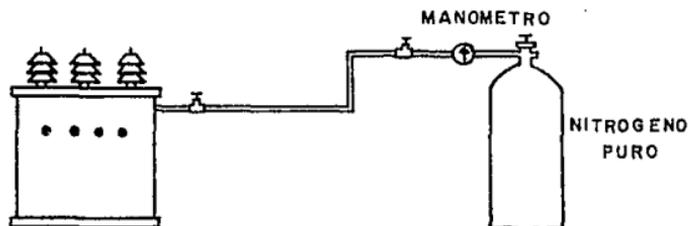


Figura 18

La figura 19, a continuación, muestra la mesa móvil para instrumentos en el laboratorio y la plataforma móvil para transformadores que también se emplean en los Hornos.

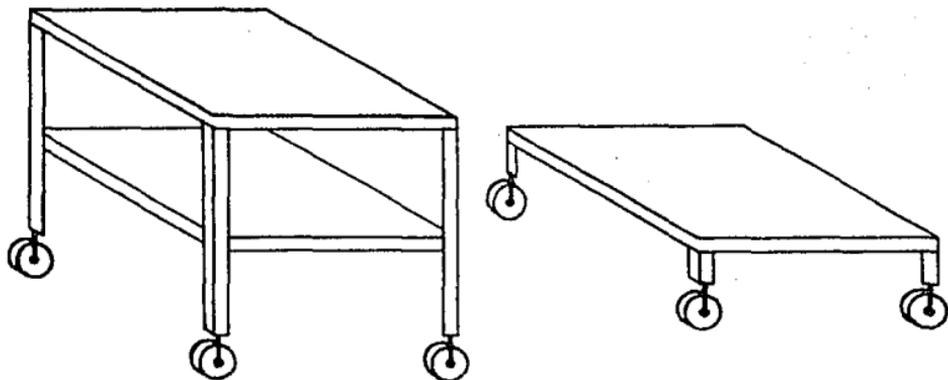


Figura 19

#### IV.- MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCION

##### IV.1.- Observación de los fenómenos que presenta el motor averiado estando en servicio.

Esta observación generalmente lo hacen el equipo de electricistas de la S.A.R.H. en el lugar de los pozos, los que buscarán las siguientes características:

##### a).- Si el motor no funciona:

Las causas principales que originan éste defecto pueden ser:

- a.1) Fusible fundido
- a.2) Cojinetes desgastados
- a.3) Sobrecarga
- a.4) Fase interrumpida
- a.5) Bobina o grupo de bobinas con corto circuito entre espiras
- a.6) Barras rotóricas flojas
- a.7) Conexiones internas erróneas
- a.8) Cojinetes agarrotados
- a.9) Cambiador defectuoso
- a.10) Arrollamiento con contacto a masa

##### b).- El motor no funciona correctamente.

- b.1) Fusible fundido
- b.2) Cojinetes desgastados
- b.3) Bobina con corto circuito entre espiras

- b.4) Fase con la polaridad invertida
- b.5) Fase interrumpida
- b.6) Conexión en paralelo interrumpida
- b.7) Arrollamiento con contacto a masa
- b.8) Barras rotóricas flojas
- b.9) Tensión o frecuencia incorrectas

c).- El motor gira despacio.

- c.1) Bobina o grupo de bobinas con corto circuito entre espiras.
- c.2) Bobina o grupo de bobinas con la polaridad invertida.
- c.3) Cojinetes desgastados
- c.4) Sobrecarga
- c.5) Fase con la polaridad invertida
- c.6) Barras rotóricas flojas

d).- El motor se calienta excesivamente

- d.1) Sobrecarga
- d.2) Cojinetes desgastados o ajustados con exceso
- d.3) Bobina o grupo de bobinas con espiras en corto circuito
- d.4) Funcionamiento como monofásico
- d.5) Barras rotóricas flojas.

#### IV.2.- Diagrama de flujo del proceso de operación.

El proceso de operación del mantenimiento de motores se explica en el siguiente diagrama de flujo.

#### IV.3.- Aspectos relativos al mantenimiento de motores (Descripción del diagrama de flujo)

##### IV.3.1.- Registro y toma de datos:

A la llegada del motor averiado al taller se procede a su registro en el libro de control del taller, continuándose con la toma de datos de la placa de la unidad, remitiéndose al almacén temporal de entrada.

##### IV.3.2.- Almacén temporal de entrada.

El motor espera su turno para su correspondiente inspección.

##### IV.3.3.- Vaciado del aceite lubricante.

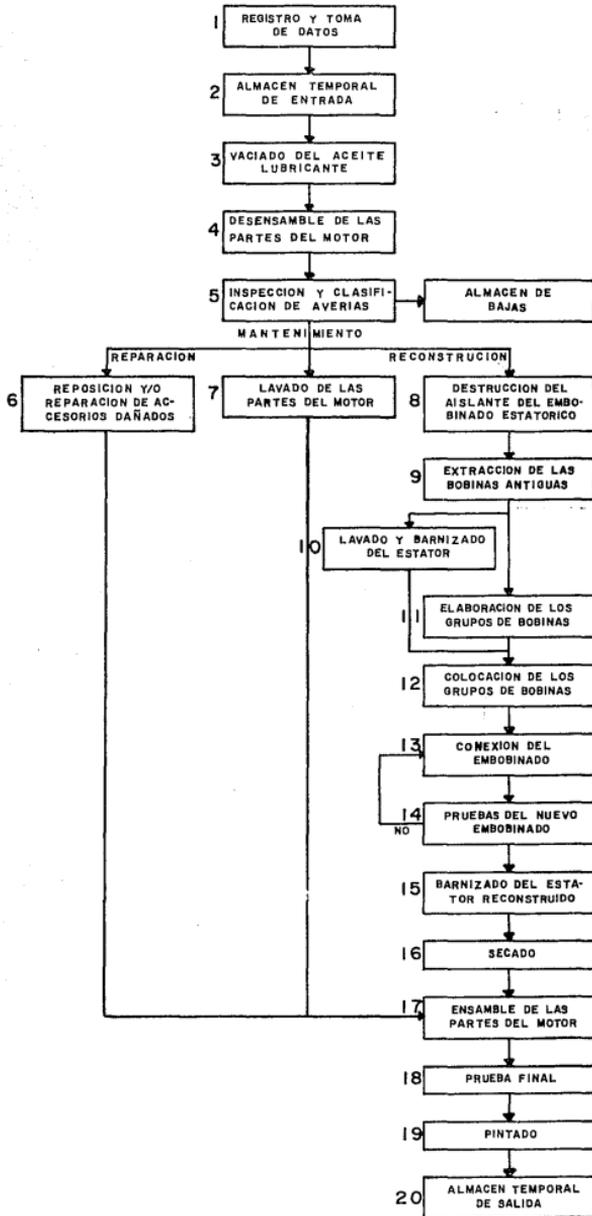
Se quita el tapón de drenaje del depósito de aceite y se espera a que se vacíe.

##### IV.3.4.- Desensamble de las partes del motor.

##### IV.3.4.1.- Desmontaje de la parte superior.

El proceso es el siguiente:

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE MOTORES



- a) Se quita la tapa de fibra de vidrio que sirve de cubierta, - con golpes de las manos.
- b) Se extrae la pieza acopladora con la flecha motriz de la bomba, llamada drive-coupling, simplemente jalando de ella hacia arriba.
- c) Se quitan los tornillos que fijan el anillo con balines, se levanta y se revisan éstos para observar su estado.
- d) Se le quitan los tornillos que fijan la pieza llamada trinquete, y se desmonta.

La función del trinquete es evitar que el rotor gire en dirección opuesta en el caso que se conecte equivocadamente. También sirve para embonar la pieza acopladora con la flecha motriz.

- e) Se extrae la tuerca de ajuste del rotor.

Esta tuerca tiene el fin de permitir que el rotor quede soportado en el cojinete de carga superior, con el objeto de que el rotor pueda girar libremente.

- f) Se extrae el cojinete de carga junto con su eje, jalando éstos hacia arriba por medio de las manos.
- g) Se levanta la parte superior de la carcaza, habiendo extraído sus tornillos de fijación previamente, con la ayuda de la grúa móvil.

#### IV.3.4.2.- Desmontaje del estator

Se extraen los tornillos de fijación del estator que se encuentran en la parte inferior de la carcaza y se levanta el estator con la ayuda de la grúa móvil.

#### IV.3.4.3.- Desmontaje del rotor

Se extraen los tornillos de fijación del rotor que se encuentran en la parte inferior de la carcaza, se levanta el rotor por medio de la grúa móvil.

#### IV.3.5.- Inspección y clasificación de las averías.

##### IV.3.5.1.- Inspección del cojinete de carga y balero inferior.

Se revisa el estado de los cojinetes, buscando las siguientes características:

- a) Que su rodamiento sea completamente libre, sin ninguna obstrucción.
- b) Que el juego entre sus pistas sea el adecuado, es decir, que no tenga demasiada holgura en el movimiento entre sus pistas.

##### IV.3.5.2.- Inspección del embobinado del estator.

Por lo general su principal avería es que los embobinados estén quemados por una sobrecarga y su revisión visual es -

evidente.

Cuando el embobinado del estator aparentemente se encuentra en buen estado, y en su reporte se indica que sus R.P.H. de operación es menor que el nominal, entonces implica que los embobinados están envejecidos.

IV.3.5.3.- En caso de que el rotor o estator presenten demasiado desgastes y/o fracturas de consideración, de carácter irreparable, será preferible enviarse hacia el almacén de bajas.

IV.3.6.- Reporte de las averías del motor.

Una vez realizada su inspección total se hace un reporte en donde se indica si el motor en cuestión se repara o se reconstruye, acompañado de su lista de partes de reposición.

IV.3.7.- Lavado de las partes del motor.

Se lavan las partes del motor (exceptuando el estator que se tratará más adelante) con solvente o gasolina. Se utiliza una brocha para remover los sedimentos y se deja evaporar el líquido empleado.

IV.3.8.- Mantenimiento

El mantenimiento se encuentra dividido en dos secciones: Reparación y Reconstrucción.

#### IV.3.8.1.- Reparación

##### IV.3.8.1.1.- Proceso de reparación

Se realizan las siguientes actividades:

- a) Reposición del cojinete de carga y/o cojinete inferior.
- b) Cambio del aceite de lubricación.
- c) Reposición o reparación del indicador del nivel de aceite.
- d) Reemplazo de empaques del depósito de aceite.

##### IV.3.8.2.- Reconstrucción

Este proceso comprende el cambio total del embobinado del estator, cuando han tenido un corto circuito en sus diferentes formas en que se presenta. Es conveniente el cambio total - por que se garantizará una mayor vida útil que si solo se reponen las bobinas dañadas.

##### IV.3.8.2.1.- Destrucción del barniz aislante del embobinado del estator.

Esto se realiza por la dificultad de extraer los embobinados con el aislamiento de barniz rojo.

La destrucción del aislamiento se logra derritiendo el barniz, lo cual se puede lograr por dos métodos:

- a) Por medio de una estufa, a muy alta temperatura, para lo que se requeriría un gran consumo de energía elevando su costo.

b) Por medio de una hoguera de leña, este método es más conveniente pues la temperatura de la flama es muy elevada y está en contacto directo con el barniz logrando derretirlo con mayor facilidad y a un costo mucho más bajo que el anterior.

#### IV.3.8.2.2.- Extracción de las bobinas.

Una vez carbonizado el aislamiento de barniz epóxico - del embobinado, se procede a la extracción de las bobinas.

Se deposita el estator, con ayuda de la grúa, sobre una mesa de trabajo móvil, la cual servirá para trasladarlo durante su proceso de reconstrucción. Se muestra en la fig. No. 20.

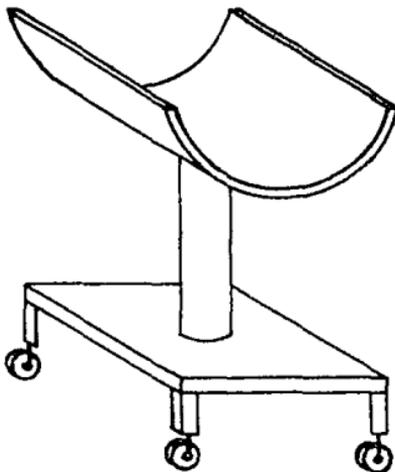


Figura 20

Antes de extraer el arrollamiento estatorio es preciso determinar y anotar de que modo están hechas las conexiones del embobinado, puesto que normalmente están provistos para trabajar a dos tensiones de servicio y para girar a 2, 3 ó 4 velocidades de régimen, lo cual exige una gran variedad de conexiones - (en delta, estrella, serie, paralelo y todas las combinaciones entre éstas).

La manera de identificar las conexiones se expone al final del presente capítulo.

También es muy importante medir y anotar las distancias que las cabezas de bobina sobresalen por ambos lados del estator. Al confeccionar las bobinas nuevas se tendrá cuidado de evitar que dichas distancias sean revasadas.

Después de lo anterior se cortan todas las bobinas de un lado del estator, excepto las que pertenezcan a un grupo, y luego se extraen por el otro lado tirando de ellas. El grupo que quedó intacto se extraerá completo, para obtener los datos: bobinas por grupo, espiras por bobina, calibre del alambre y paso de bobinas.

Solo se calcularán los datos faltantes por medio de las siguientes fórmulas:

$$\text{No. de grupos} = \frac{\text{No. de ranuras}}{\text{No. de bobinas/grupo}} \quad \text{No. de ranuras} = \text{No. bobinas totales.}$$

$$\text{No. de polos} = \frac{\text{No. de grupos}}{\text{No. de fases}}, 6, \text{ No. Polos} = \frac{120 f}{\text{RPM}}$$

f= frecuencia

Se completa así la hoja de datos cuyo formato se muestra en la figura No. 21

MODELO DE HOJA DE DATOS PARA MOTORES POLIFASICOS

Firma constructora

Potencia (CV)	Velocidad (r.p.m)	Tensión (V)	Corriente (A)
Frecuencia	Tipo	Cifra clave	Factor sobrecarga
Temperatura adm	Modelo	Número serie	Fases
Número bobinas	Número ranuras	Construcción	
Diámetro conductor	Espiras/bobina	Número grupos	
Bobinas/grupo	Numero polos	Peso bobinas	

Figura 21

#### IV.3.8.2.3.- Lavado y Barnizado del estator.

Se remoja el estator con gasolina o solvente con el fin de aflojar los residuos del aislamiento carbonizado y se retiran con la ayuda de un cepillo de alambre, limpiándose también las ranuras estáticas. Se enjuaga de nuevo con gasolina para dejarlo completamente limpio y se espera que se seque.

Una vez seco se procede a barnizarlo por medio de la pistola aerosol del motocompresor.

#### IV.3.8.2.4.- Elaboración de los grupos de bobina.

Las bobinas tienen una forma hexagonal, en las cuales las espiras arrolladas quedan dispuestas más bien al azar que en capas.

Se elaboran los grupos de bobina conforme a los datos que se tienen en la hoja de datos, en una máquina embobinadora como se muestra a continuación en la figura 22.

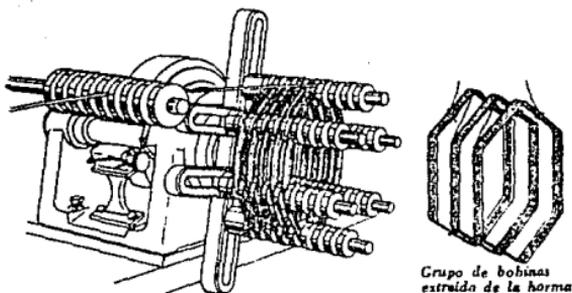


Figura 22

Se tienen dos tipos de ranuras:

- a) Ranuras abiertas
- b) Ranuras semicerradas

En el caso en que las ranuras sean abiertas, se encintan las bobinas y se meten directamente a la ranura.

En el caso en que las ranuras sean semicerradas, (nuestro caso particular), no se deben encintar con aislante por que

es necesario introducir las bobinas espira por espira en las ranuras, y solo se limitará a sujetarlas por las cabezas posteriores y las terminales con auxilio de un cordel para evitar que se deshagan.

#### IV.3.8.2.5.- Colocación de los grupos de bobinas.

##### IV.3.8.2.5.1.- Aislamiento de las ranuras estáticas.

El aislamiento original será reemplazado por otro de igual calidad y espesor. De la hoja de papel aislante se corta al tamaño necesario para que encaje bien en los lados de la ranura. También se cortarán todas las tiras de papel aislante, que serán utilizadas durante la colocación de las bobinas en las ranuras, así también sus correspondientes cuñas.

##### IV.3.8.2.5.2.- Proceso de colocación de bobinas.

Como se dijo anteriormente, trataremos con ranuras semicerradas, por lo que será necesario introducir las espiras de cada bobina una por una.

Se separa el haz de espiras un poco de uno de los lados de la bobina y se mantiene ésta inclinada con el ángulo conveniente para que todas las espiras puedan penetrar en la ranura. Es preciso asegurar que todas aquellas queden alojadas en el interior del aislamiento de la ranura, pues si por descuido cae alguna entre el aislamiento y el núcleo estático, puede originarse posteriormente un contacto a masa.

Seguidamente se empuja dicho lado de bobina hacia el fondo de la ranura hasta que todas sus espiras hayan quedado dispuestas en él. El otro lado de bobina se deja fuera, se le coloca una tira de papel debajo de ella para evitar el roce y que se introduzca en la ranura. Lo anterior se muestra en la figura 23.

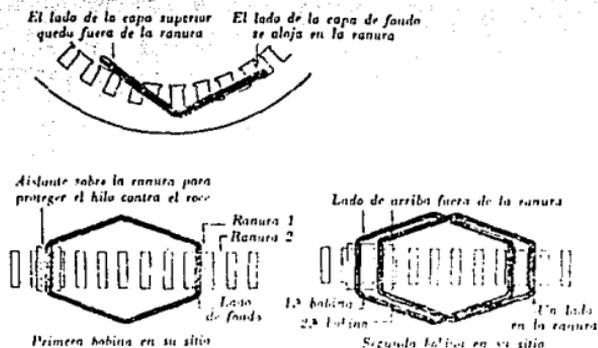


Figura 23

Observese que cada lado de bobina ocupa solamente la mitad de una ranura.

A continuación se aloja la segunda bobina en la ranura contigua de manera similar a la primera (como se mostró en la figura anterior) y así sucesivamente hasta completar el primer grupo.

El resto de los grupos de bobina se colocarán de igual

forma que el primer grupo, colocando entre cada grupo un papel aislante y de esta manera quedan definidos los grupos; la figura 24 muestra la colocación de dos grupos:

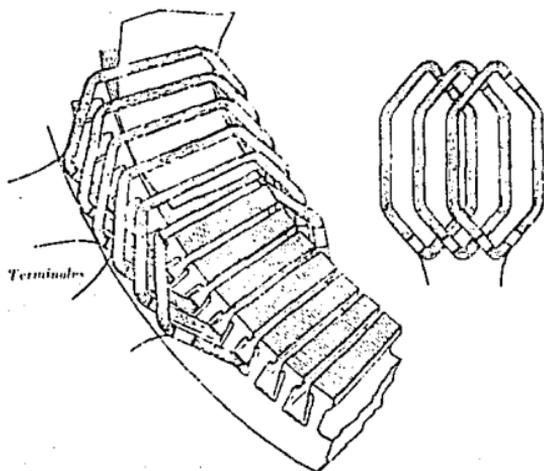


Figura 24

Recordamos que el segundo lado de cada bobina se deja fuera, pero cuando el fondo de la ranura que le corresponde ha sido ocupado por el primer lado de otra bobina, entonces puede alojarse ya en la parte superior de dicha ranura, habiendo colocado previamente una tira aislante que separará los lados o capas de las dos bobinas. Como es obvio cada bobina tendrá un lado en la parte inferior de una ranura y el otro lado ocupará el lado superior de otra ranura.

Habiendo colocado las dos capas de bobina que le corresponde a cada ranura, se vuelve a colocar otra tira de papel aislante encima de éstas capas y se compacta para darle lugar a una cuña de fijación, dicha cuña de fijación debe sobresalir unos 3 mm por ambos extremos de la ranura lo mismo que las tiras aislantes. Estos detalles se muestran en la figura 25.

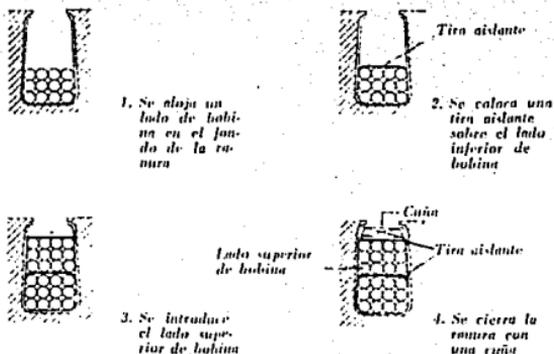


Figura 25

Todo el proceso anterior se repite para cada una de las ranuras estáticas.

#### IV.3.8.2.6.- Conexión del embobinado del estator

##### IV.3.8.2.6.1.- Conexiones fundamentales.

#### a) Fases

Casi todos los motores trifásicos están provistos de

un embobinado estático en doble capa, es decir con igual número de bobinas que de ranura.

Las bobinas van conectadas formando tres arrollamientos independientes llamados fases (A, B y C).

Las tres fases siempre están conectadas en estrella o en delta:

- Conexión estrella: Los finales de las fases están unidos en un punto común (centro de estrella) y cada principio de fase va conectado a una de las líneas de alimentación.
- Conexión delta: El final de cada fase está unido al principio de la siguiente. También se puede conectar en forma viceversa. De cada punto de unión o vértice parte una conexión hacia las líneas de alimentación.

Las conexiones anteriores se muestran en la figura. -

26.

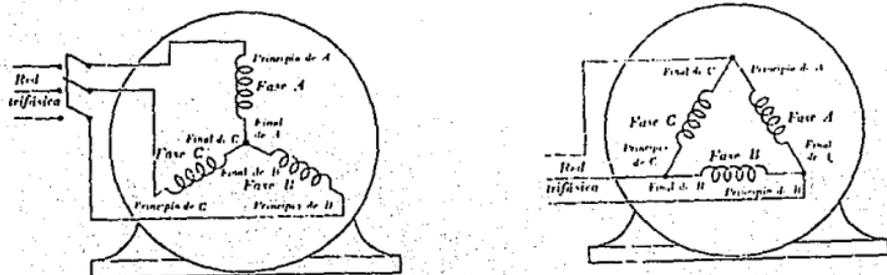


Figura 26

## b) Polos

Las bobinas del estator están conectadas de modo que se forme un determinado número de polos iguales.

## c) Grupos

Se llama grupo a un determinado número de bobinas contiguas elaboradas en serie. También se pueden conectar bobinas con bobinas en serie, para formar el grupo, pero esto no es práctico.

El estator lleva tres grupos iguales de bobina en cada polo: uno por fase.

A continuación se explicarán 4 reglas fundamentales para la reconstrucción del arrollamiento; se tomará como ejemplo a un motor trifásico tetrapolar con 36 ranuras o bobinas:

- Regla 1: La determinación del número de bobinas por fase, se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{No. bobinas por fase} = \frac{36 \text{ bobinas}}{3 \text{ fases}} = 12 \text{ bobs./fase}$$

- Regla 2: Para obtener el número de bobinas por polo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{No. bobinas por polo} = \frac{36 \text{ bobinas}}{4 \text{ polos}} = 9 \text{ bobs./polo}$$

Esta distribución está representada en la figura 27.

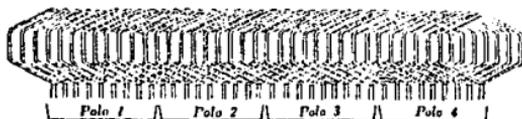


Figura 27

- Regla 3: Para determinar el número de grupos de bobina se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$\text{No de grupos de bobina} = 4 \text{ polos} \times 3 \text{ fases} = 12 \text{ grupos de bobina}$$

- Regla 4: La determinación del número de bobinas por grupo, se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{No. de bobinas por grupos} = \frac{36 \text{ bobinas}}{12 \text{ grupos}} = 3 \text{ bobinas/grupo.}$$

A continuación se muestra la distribución de las fases y bobinas por grupo en los polos (figura 28).

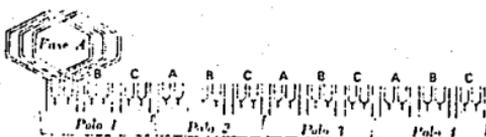


Figura 28

## IV.3.8.2.6.2.- Conexión en Estrella

Para describir explícitamente ésta conexión, se utilizarán los datos del motor que se usó para las reglas.

- a) Se conectan en serie todos los grupos que pertenecen a la fase A, de manera que por el primer grupo circule la corriente en sentido de las agujas del reloj, por el segundo grupo en sentido contrario, por el tercero también con el sentido horario y por el cuarto en sentido contrario. Dicha conexión - se muestra en la figura 29.



Figura 29

- b) Se conectan los grupos de la fase C exactamente igual a la fase A, como se muestra en la figura 30.

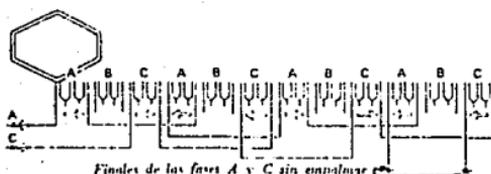


Figura 30

c) Finalmente, se conectan los grupos de la fase B idénticamente como los de la fase A y C, pero empezando por el segundo grupo de la fase B, es decir, el quinto a partir del principio. Como se muestra en la figura 31.

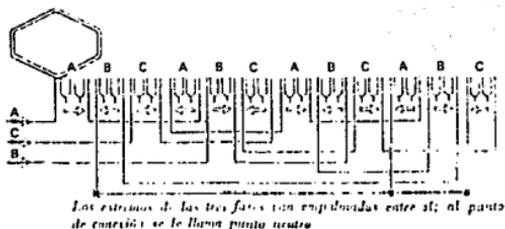


Figura 31

Los finales de cada fase se conectan entre sí, para formar el punto neutro. También se puede emplear un esquema circular que explica todo lo anterior, substituyendo cada grupo de bobina por un rectángulo para dar mayor simplicidad, esto se muestra en la figura 32.

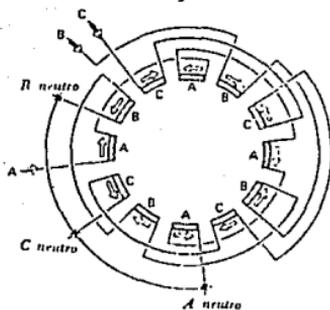


Figura 32

En los esquemas anteriores se ha supuesto el mismo sentido de corriente a la entrada de cada una de las 3 fases, como indican las flechas representadas junto a las designaciones A, B y C. En realidad, la corriente entra en un momento dado por una de estas fases y sale por las otras dos para entrar un instante después por otras dos fases y salir por la tercera según un círculo rotativo. El sentido ficticio (las tres flechas señalando hacia adentro) atribuidos a las corrientes en dichos esquemas tiene por objeto facilitar la verificación de la conexión en motores trifásicos. Obsérvese a este respecto que las flechas correspondientes a los grupos de la fase intermedia B son siempre de sentido contrario a la de los grupos A y C contiguos.

En la figura 33 se permite ver más claramente la clase y las características de conexión del motor en cuestión.

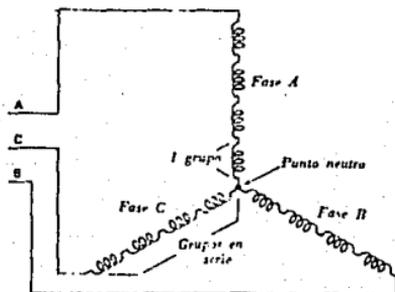


Figura 33

El número de fases y la disposición de las mismas con un centro de estrella (punto neutro) muestra que se trata de un devanado trifásico conectado en estrella.

Puesto que cada fase está integrada por cuatro grupos de bobinas, se trata de un devanado de 4 polos, es decir tetrapolar.

Por último, los grupos de cada fase están conectados en serie entre sí. En resumen, se trata de un motor trifásico tetrapolar conectado en estrella/serie (1Y).

#### IV.3.8.2.6.3.- Conexión en Delta

a) Los grupos pertenecientes a la fase A se conectan tal como se hizo en la conexión estrella, como se muestra en la figura 34.

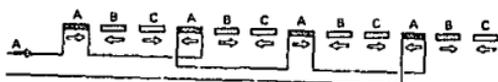


Figura 34

- b) Se unen ahora los grupos de la fase C de igual manera que la fase A, solo que el principio de la fase C se conecta al final de la fase A, como se indica en la figura 35.

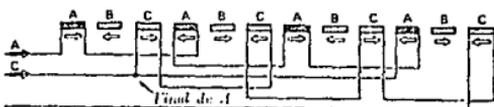


Figura 35

- c) La conexión de los grupos de las fases B es idéntica como - en el caso de conexión en estrella, con la diferencia que el principio de la fase B se conecta con el final de la fase C, y el final de la fase B se conecta con el principio de la fase A, tal como se muestra en la figura 36.

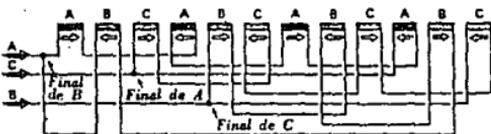


Figura 36

El esquema circular de la figura 37 es equivalente al esquema lineal representado en el esquema anterior, pero tiene la ventaja de indicar la posición real de los diversos grupos de bobina en el estator:

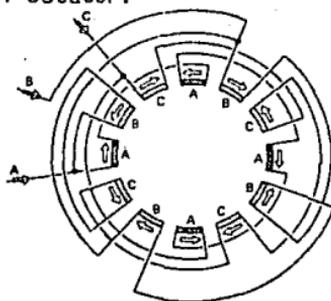


Figura 37

En la figura 38 se ven claramente la clase y características de conexión del motor en cuestión:

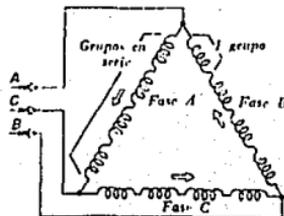


Figura 38

Puesto que no existe un centro de estrella y las 3 fases están unidas de tal modo que el final de una fase coincide con el principio de otra, no cabe duda de que la conexión es en

delta. Observando además que cada fase está formada por 4 grupos de bobina y que dichos grupos se hallan unidos en serie entre sí, se podrá concluir que el diagrama corresponde al de un devanado trifásico tetrapolar conectado en delta/serie ( $1\Delta$ ):

#### IV.3.8.2.6.4.- Conexiones en paralelo.

Muchos motores trifásicos, tienen sus fases subdivididas en varias ramas o derivaciones iguales, unidas entre sí en paralelo. Según el número de derivaciones existentes en cada fase se tiene una conexión de dos ramas (doble paralelo), - tres ramas (triple paralelo), etc.

En las figuras 39 y 40 se presenta la comparación entre los diagramas esquemáticos de una conexión en estrella/serie ( $1Y$ ) y de una conexión en estrella/doble paralelo ( $2Y$ ):

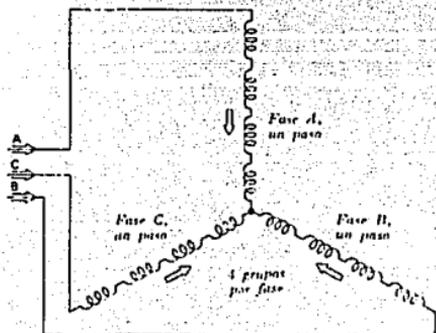


Figura 39

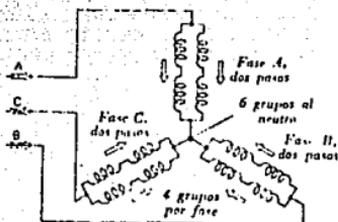


Figura 40

Una y otra constan del mismo número de grupos por fase, pero la disposición de los mismos es tal, que mientras la primera no ofrece más que una sola vía al paso de la corriente, la segunda presenta dos.

En el esquema lineal de la figura 41 permite visualizar la conexión de los cuatro grupos de la fase A en doble paralelo:

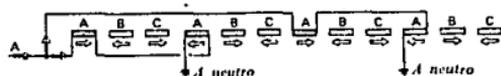


Figura 41

Se empieza por conectar la terminal de la fase A al principio de los grupos 1o y 3o, seguidamente se une al final del grupo 1 con el final del grupo 2 y el final del grupo 3 con el final del grupo 4. Los principios de los grupos 2 y 4 quedarán libres para su conexión posterior al centro de la estrella.

Para la conexión de la fase C es idénticamente al de la fase A, como se observa en la figura 42.

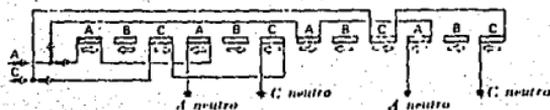


figura 42

Para la conexión de la fase B se comienza con el segundo grupo de B, quinto de izquierda a derecha, y se conecta de igual forma que la fase A y C, como se indica en la figura 43.

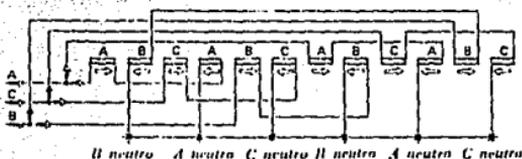


Figura 43

Después de unir todos los grupos de las fases, se conectan conjuntamente las seis terminales libres para formar el punto neutro o centro de estrella.

En la figura 44 se muestra el correspondiente diagrama circular equivalente.

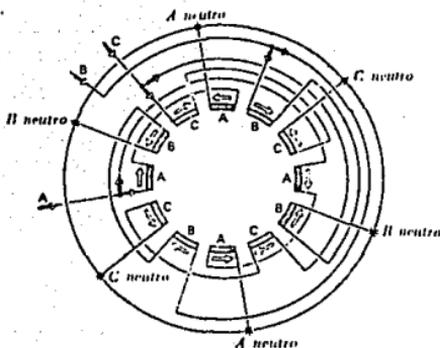


Figura 44

## IV.3.8.2.7.- Pruebas del nuevo embobinado.

Una vez colocado y conectado el nuevo embobinado del estator, se procederá a realizarle determinadas pruebas para detectar la presencia de posibles defectos. Hacemos notar que las conexiones no han sido soldadas pues en el caso de que no pasen algunas pruebas se puedan corregir los defectos fácilmente.

Dichos defectos pueden ser: contactos a masa, interrupciones, corto circuitos e inversiones de polaridad.

## IV.3.8.2.7.1.- Contactos a masa.

Para su detección se utiliza una lámpara de prueba de la manera indicada en la figura 45.

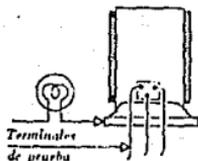


Figura 45

La lámpara de prueba está alimentada por una fuente de tensión de 127 volts, la cual se encenderá al circular corriente a través de ella.

Se conecta una terminal de la lámpara de prueba a la carcasa del motor, y la otra terminal de prueba a uno de los bornes de alimentación del mismo. Si la lámpara se enciende nos indica que una de las fases del motor está en contacto a masa; para su verificación se repite la operación anterior en los bornes restantes.

Para localizar el defecto del contacto a masa se siguen los siguientes pasos:

- a) Se desunen las fases y se analizan cada una por separado hasta determinar cual de ellas contiene el defecto. Las figuras 46 y 47 nos muestran los casos de conexión en delta y en estrella.

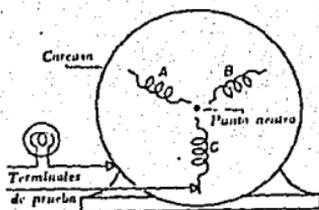


Figura 46

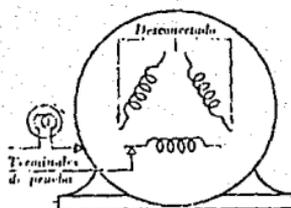


Figura 47

- b) Una vez conocida la fase defectuosa, será preciso localizar el grupo de bobinas donde reside la avería, por lo que se empieza a desempalmar las conexiones entre los grupos de la fase defectuosa, tal como se indica en la figura 48.

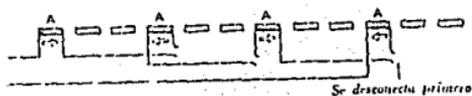


Figura 48

Y continuando a analizar todos los grupos hasta localizar cual es el defectuoso para su posterior reemplazo por un grupo nuevo, o bien se aislará convenientemente; reemplazando también el aislamiento de la ranura correspondiente.

Una causa frecuente de contacto a masa la constituye el desplazamiento eventual de una laminación del núcleo, que al sobresalir de la ranura presiona sobre el devanado y corta el recubrimiento del mismo con su agudo canto. Esto se remedia ha

ciendo retroceder dicha laminación hasta que vuelva a ocupar su posición correcta. Otras veces es el propio aislamiento de la ranura el que presenta algún defecto o, por haberse deslizado, deja las laminaciones de la ranura al descubierto. Otra causa puede ser la de una colocación errónea de varias espiras entre el fondo de la ranura y el aislamiento de la misma.

#### IV.3.8.2.7.2.- Interrupciones.

Pueden ser causadas por la rotura del alambre o por una conexión floja entre grupos. Para su detección se utiliza la misma lámpara de prueba.

Para localizar la interrupción se siguen los siguientes pasos:

- a) Se desnuden las terminales de cada fase y se examinan cada una de ellas para determinar cual presenta la falla. La lámpara deberá encenderse cuando la fase esté correcta, cuando no encienda indica la presencia de la interrupción de la fase. Las figuras 49 y 50 indican las conexiones de la lámpara para delta y estrella;

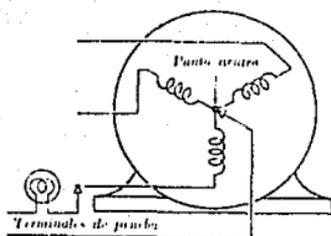


Figura 49

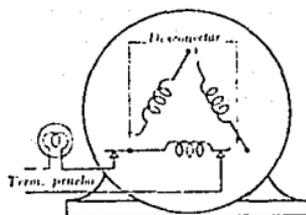


Figura 50

116

- b) Una vez conocida la fase defectuosa, resulta muy sencillo localizar el punto de interrupción. Basta unir una terminal de la lámpara de prueba al principio de la fase defectuosa y con la otra terminal ir tocando sucesivamente las conexiones entre sus grupos, tal como se muestra en la figura 51.

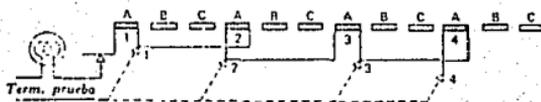


Figura 51

Cuando el defecto es la rotura del alambre, se unen de nuevo los alambres rotos con soldadura; y si se trata de una conexión floja entre grupos, se desunen y se vuelven a empalmar conectándose sólidamente.

Cuando se trata de circuitos con ramas en paralelo, se procede idénticamente para cada rama.

#### IV.3.8.2.7.3.- Cortocircuitos

Se deben principalmente a la poca pericia del operario

al devanar el estator, el cual, al alojar las bobinas en sus respectivas ranuras fuerza excesivamente el aislamiento del alambre y lo deteriora.

El método consiste en desplazar una bobina de prueba por el interior del estator (como se muestra en la figura 52), e ir observando una delgada cinta metálica u hoja de segueta situada sobre el otro extremo de la bobina o del grupo de bobinas explorado.

En caso de estar en corto circuito la bobina, la lámina se pone en rápida vibración.



Figura 52

Hay que tener presente que este método no funciona cuando hay varias ramas conectadas en paralelo; en tal caso, es preciso desempalmar todas las derivaciones antes de aplicar la bobina de prueba al estator.

#### IV.3.8.2.7.4.- Inversiones de polaridad.

Son debidas a conexiones erróneas de grupos de bobinas o fases, causados por el descuido del embobinador.

### a) Inversiones de grupos

Se supondrá primero que el motor está conectado en estrella. Para identificar grupos con la polaridad invertida, se aplicará una terminal de una fuente de corriente continua, por ejemplo una batería, al centro de la estrella y el otro al extremo de cada fase, por orden sucesivo. Seguidamente se mueve una brújula por el interior del estator, y se observa la indicación de la aguja cuando pasa frente a cada grupo. Si la aguja magnética se invierte cuando se pasa de un grupo al siguiente de la misma fase, ello indica que dichos grupos están conectados correctamente entre sí, en caso contrario, se ha detectado que éste último grupo está invertido en su conexión.

Cuando el motor está conectado en delta se abre el circuito en los puntos de unión entre fases y a cada una de ellas se le hace circular corriente directa. Procediéndose de igual manera que la conexión en estrella.

### b) Inversiones de fase.

Un error que se comete muy a menudo al conectar las fases de un motor es invertir la polaridad de la fase intermedia. El procedimiento es similar al de inversión de grupos, con la diferencia de que si la aguja magnética indica la misma dirección durante el recorrido de tres grupos consecutivos, luego la dirección se invierte durante los siguientes 3 grupos, es señal que la fase intermedia está mal conectada, es decir, tiene su polaridad invertida. Se corrige este defecto invirtiendo



#### IV.3.8.2.9.- Secado del estator.

Habiendo concluido lo anterior, se levanta el estator con la grúa, quitándole los restos de barniz, y se deposita sobre una plataforma móvil del horno, continuándose con la introducción del estator en el horno eléctrico a base de una batería de lámparas infrarrojas, a una temperatura de 80°C aproximadamente durante 10 horas. Cumplido este tiempo, se apaga el horno y se deja enfriar durante el resto del día.

#### IV.3.9.- Ensamble de las partes del motor.

Teniendo todas las partes del motor preparadas, se procederá a su ensamblado con la siguiente secuencia:

- a) Se levanta el rotor con ayuda de la grúa móvil, y se deposita sobre la parte inferior del motor, teniendo colocados previamente su placa de fijación y su cojinete inferior. Se acoplan el rotor y la parte inferior por medio de tornillos.
- b) El estator se saca del horno, (ya frío), se le colocan los tornillos con orejas que sirven para poder levantarlo con la grúa móvil. Una vez arriba, se le quitan todas las gotas secas de barniz que se escurrieron durante el secado.
- c) Se baja el estator embonándolo con el rotor hasta su acoplamiento con la parte inferior, para después colocar sus tornillos de fijación.

- d) Después, se coloca la parte superior del motor con la grúa y se fija al estator con tornillos.
- e) A continuación se colocan las partes internas de la sección superior del motor, bajo los siguientes pasos:
- e.1) Se coloca el cojinete de carga junto con su eje en el rotor, y se fija con tornillos a la sección superior, utilizándose únicamente las manos.
  - e.2) Se coloca la tuerca de ajuste del rotor y se ajusta el rotor para que tenga un movimiento libre.
  - e.3) Se coloca el trinquete y se fija con tornillos.
  - e.4) Se coloca el anillo con balines y se atornilla.
  - e.5) Se embona la pieza acopladora con la flecha motriz de la bomba.
  - e.6) Se coloca la tapa superior a presión.
- f) Se llena el depósito de aceite lubricante.

El motor, ya terminado su mantenimiento, se envía al laboratorio para su prueba final de rutina, y posteriormente hacia su pintado, y después hacia el almacén temporal de salida.

#### IV.4.- Prueba de rutina para motores en el laboratorio.

Teniendo el motor ya ensamblado se procederá a reali--

zar la prueba de funcionamiento nominal, o sea, a tensión y frecuencia nominales en vacío. El objetivo primordial será buscar posibles fallos en el acoplamiento mecánico de las partes del motor, por ejemplo: roce del rotor con estator, vibraciones, ruidos extraños y calentamiento excesivo, teniendo en cuenta que ya se realizaron pruebas referentes a la búsqueda de fallas dentro del bobinado del estator.

El procedimiento a seguir es el siguiente: se alimentará el motor a tensión reducida por medio de un variac, incrementando su tensión lentamente hasta llegar a su tensión nominal, haciendo posible que el motor alcance su velocidad nominal de placa confirmándose por medio de un tacómetro; la figura 55 muestra la conexión.

Nota: Existen otros tipos de prueba para motores, las cuales se mencionarán en el apéndice

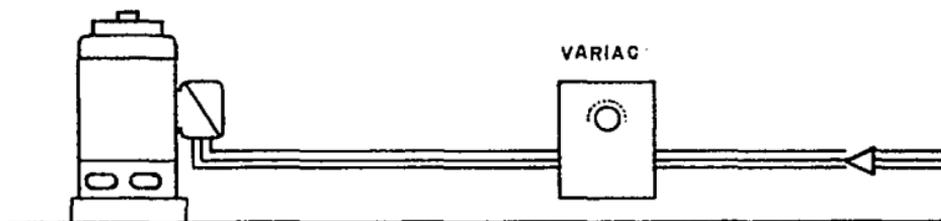


Figura 55

#### IV.5.- Manera de identificar las conexiones.

Antes de proceder a la extracción del devanado de un motor trifásico es preciso identificar el tipo de conexión del mismo. Esta cuestión es de suma importancia y requiere un conocimiento previo de los diferentes casos que pueden presentarse. Solo si el operario encargado de la reconstrucción tiene en mente las diversas formas de conexión, podrá llegar con relativa facilidad al objetivo propuesto, partiendo de unos pocos datos de observación.

Cuando el motor está previsto para trabajar a dos tensiones de servicio, salen generalmente al exterior nueve terminales que son las que permiten unir los grupos de cada fase en serie o en paralelo, tanto si la conexión entre fases es en estrella o en delta.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se empieza por considerar una de las líneas de alimentación y determinar cuantos grupos de bobinas están unidas a ella. Si no hay más que un sólo grupo, estamos en presencia de una conexión en estrella/serie, puesto que, es la única conexión trifásica que cumple tal requisito. En la figura 56, se muestra lo anterior en un motor trifásico tetrapolar:

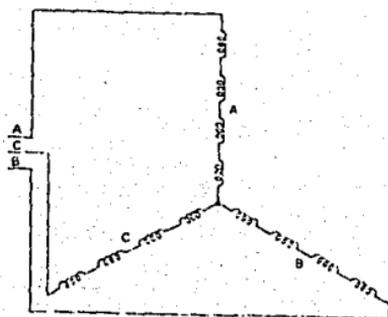


Figura 56

Cuando son dos los grupos conectados a la línea de alimentación, tenemos que pueden ser dos casos: una conexión delta/serie o una conexión estrella/doble paralelo. Para determinar cual es de las dos se busca el centro de estrella, si este existe estamos ante la conexión estrella/doble paralelo, por tanto si no existe será la conexión delta/serie.

Los casos anteriores se muestran en las figuras 57 y -

58.

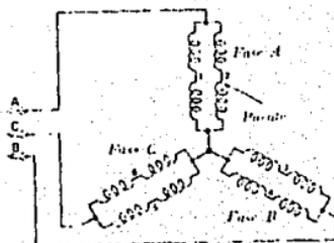


Figura 57

estrella/doble paralelo

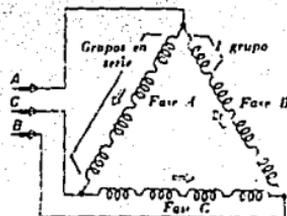


Figura 58

delta/serie.

Cuando son cuatro los grupos unidos a cada línea de alimentación, existen dos posibilidades: La conexión en triángulo (delta) /doble paralelo, o bien en estrella/cuadruple paralelo. Se tratará de la segunda conexión si se encuentra un punto-común al cual estén unidos doce grupos y de la primera si no se encuentra dicho punto. Lo anterior se muestra en las figuras - 59 y 60.



Figura 59

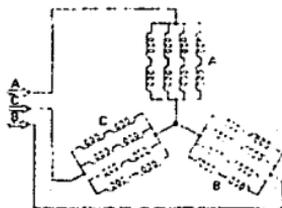


Figura 60

#### IV.5.1.- Motores trifásicos para doble tensión de servicio.

Casi todos los motores trifásicos están previstos para funcionar con doble tensión de servicio por lo que llevan nueve terminales exteriores, que se identifican con las designaciones normalizadas T1 hasta T9. La figura 61 reproduce estas designaciones aplicadas al caso de motores conectados en estrella:

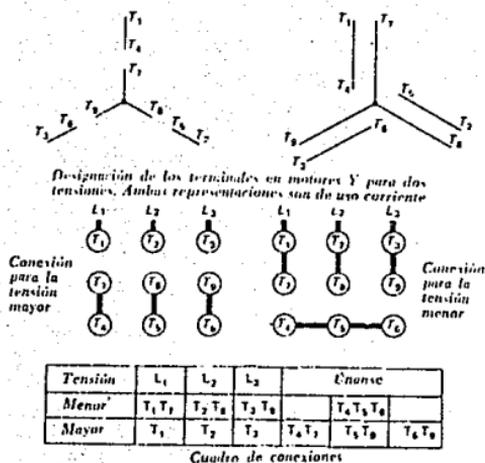


Figura 61

En la figura 62 se muestra las conexiones de los grupos para que el motor quede dispuesto a trabajar a la tensión - mayor:

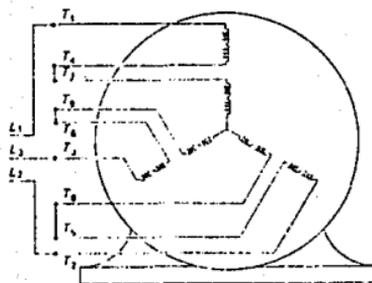


Figura 62

Como se observa, primero se empalman las terminales T6 con T9, T4 con T7, y finalmente T5 con T8. Una vez hecho esto se conectan las terminales restantes T1, T2 y T3.

En la figura 63, se muestra el caso de la conexión para que el motor esté dispuesto a trabajar a la tensión menor:

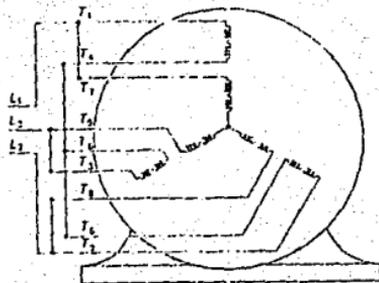


Figura 63

Primero se unen las terminales T1 con T7 y esta a la línea de alimentación L1, la terminal T2 con T8 y se unen a la línea L2, finalmente se unen las terminales T3 con T9 y se conectan a la línea L3. Se empalman las terminales T4, T5 y T6 para formar un centro de estrella exterior.

Ahora se analizará el caso de la conexión en delta con sus designaciones respectivas como se muestra en la figura 64.

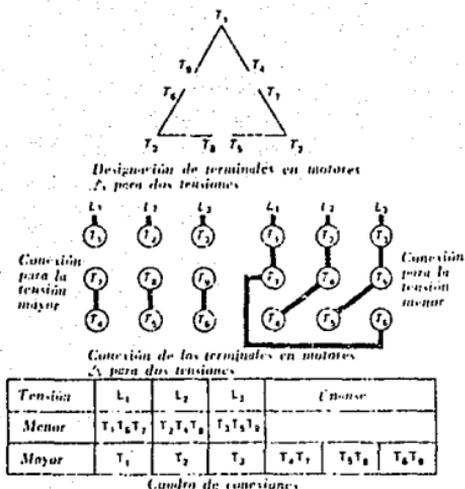


Figura 64

Para alimentar el motor a la tensión mayor, es preciso unir las terminales T4 con T7, T5 con T8, y T6 con T9; luego se conectan las terminales T1, T2 y T3 a las respectivas líneas - L1, L2 y L3 de la red. Como se muestra en la figura 65.

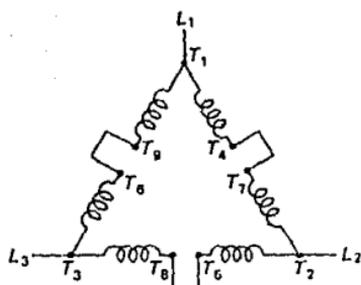


Figura 65

Para alimentar el motor a la tensión menor se procede según el diagrama de la figura 66; basta conectar T1, T7, T6 a la línea 1, las terminales T2, T4 y T8 a la línea 2, y las terminales T5, T7 y T9 a la línea 3.

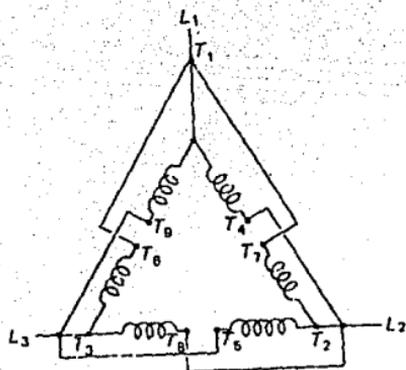


Figura 66

V.- MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA LA RECONSTRUCCION DE TRANS--  
FORMADORES Y MOTORES.

V.1.- Materia prima utilizada para la reconstrucción de trans--  
formadores.

V.1.1.- Conductores

V.1.1.1.- Conductor de cobre desnudo.

Alambre magneto "FORMA -C-ON", esmaltado con una pelí-  
cula de "POLIVINIL FORMAL" en doble capa. Resistente a la abra-  
sión y alta resistencia al ataque de aceites.

Fabricado por "Conductores Monterrey S.A.", con el cum-  
plimiento de las normas NEMA MW-105°C y CCONNIE 10.4-1.

La cantidad de alambre de cobre por fase (en Kg.) en -  
función de la capacidad del transformador, se explica en la si-  
guiente tabla.

<u>Devanado de alta tensión.</u>		
<u>KVA</u>	<u>Kg.</u>	<u>Alambre #</u>
75	22.5	17
112.5	33.5	15
150	46	14

Devanado de baja tensión.

KVA	Kg.	Alambre #
75	15	3 del # 8
112.5	22	5 del # 8
150	30	6 del # 8

Otros conductores substitutos podrían ser:

"FORMADURE 720-1" Fabricado por: Conelec, S.A.

"FORMANEL 105" Fabricado por: Condumex, S.A.

V.1.1.2.- Solera de cobre desnudo.

Solera de cobre suave, esmaltada "POLIVINIL FORMAL", - clase 105°C, resistente a la abrasión y a la acción química del aceite, con las esquinas redondeadas, similar a soleras "Formanel" de "Condumex, S.A.", 6 "Formadure" de "Conelec, S.A.".

Teniendo en cuenta que existen una gran variedad de - dimensiones de las soleras, solo se buscará el área transversal equivalente del alambre redondo al que corresponde al devanado de baja tensión.

En caso de tener que utilizar varias soleras, se procura que sean del mismo espesor todas y así mantener un espesor - uniforme a lo largo del arrollamiento.

### V.1.1.3.- Conductor de cobre con aislamiento termo - plástico.

Se utiliza para las conexiones del devanado de alta tensión hacia el cambiador de derivaciones y para la conexión entre fases.

Cómpuesto termoplástico de resina de POLIVINILO. Resistente a altas temperaturas.

Fabricado por "Conductores Monterrey, S.A.", con el cumplimiento de las normas NEMA MW-105°C y CCONNIE 10.4-1.

### V.1.2.- Aislamientos

V.1.2.1.- Cartón dieléctrico Press-Board, llamado, también cartón prensado. Se usa como aislamiento entre el núcleo y el devanado de B.T.; entre el devanado de A.T. y B.T.; tacos y cuellos aislantes.

Las características del cartón son las siguientes:

Resistencia dieléctrica	- 9 KV/milésima de pulg.
Porcentaje de humedad	- 9% máximo
Densidad	- 1 a 1.3 gr/cm <sup>3</sup>
Tipo	- Duro

La cantidad de cartón prensado, por fase, (en kg.), en función de la capacidad del transformador, se explica en la tabla siguiente.

KVA	Kg
75	0.68
112.5	0.80
150	0.92

V.1.2.2.- Papel dieléctrico manila, utilizado para el aislamiento entre las capas de conductores de los devanados de A.T. y B.T.

Es altamente flexible y tiene buena impregnación con el aceite.

Se utiliza en espesores de 5 a 14 milésimas de pulgada (0.005, 0.0075, 0.010, 0.014 de pulg.).

Sus características son:

Resistencia dieléctrica - 7.5 KV/milésima de pulg.

Porcentaje de humedad - 5% máximo

Densidad - 0.85 gr/cm<sup>3</sup>

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de papel-manila, por fase, en  $\xi$ g., en función de la capacidad del transformador.

KVA	Kg.
75	0.60
112.5	0.65
150	0.70

Otros papeles que se podrían utilizar, son los siguientes:

Papel crepé o corrugado; papel mylar; papel riegel; papel kraft; papel termofraguante con diamante epóxico.

V.1.2.3.- Tela machimbre, se utiliza para dar el acabado final de el devanado de baja tensión, y se adhiere al devanado con una capa de barniz fresco procurando que no queden arrugas ni aire atrapado.

Se utilizan 100 gr. aproximadamente, en cada fase, para todas las capacidades de los transformadores a reconstruir.

V.1.2.4.- El espagueti es utilizado como aislante en las conexiones de las terminales de los devanados de A.T.

Está hecho de fibra de vidrio recubierto de vinilo. - Sus características son:

Resistencia dieléctrica - 4 KV/milésima de pulg.  
Clase E (130°C).

Se utilizan aproximadamente 100 gr. por las tres fases y es independiente de la capacidad del transformador.

### V.1.3.- Barnices

V.1.3.1.- Barniz aislante rojo, llamado también "primer" utilizado para pintar la parte interior del tanque.

Sus características son:

SV - 400

Clase E (130°C)

Seca al contacto de 20 a 40 minutos y endurece en 20 - horas. Puede hornearse durante 10 horas a una temperatura de - 180°C.

Fabricado por Devoe, S.A.

La cantidad que utiliza en función de la capacidad del transformador, se muestra en la siguiente tabla:

<u>KVA</u>	<u>Lts.</u>
75	0.45
112.5	0.50
150	0.55

Existen otros barnices que se pueden emplear:

- Basa 35, de "Barnices Aislantes", S.A.
- 1201 , de "Conductores Monterrey", S.A.

V.1.3.2.- Barniz aislante claro, utilizado para la impregnación en las capas de conductores de los devanados.

Sus características son:

ISONEL SV-31  
Clase F (155°C)

Puede hornearse 10 horas a 80°C.

Resistencia dieléctrica en seco - 4.88 KV/milésima de pulg.

Fabricado por Devoe, S.A.

La cantidad promedio de barniz por fase, se explica en la siguiente tabla:

<u>KVA</u>	<u>Lts.</u>
75	0.40
112.5	0.43
150	0.46

En el mercado existen otros substitutos de éste barniz, por ejemplo:

- Basa 7 m, de "Barnices Aislantes, S.A."
- Condubar 105, de "Condumex, S.A."

#### V.1.4.- Empaques.

Se utiliza para sellar la tapa de registro, tapa del tanque, y boquillas de A.T. y B.T.

Se tienen dos tipos de material, el corcho natural o caucho y el neupreno o caucho artificial. El corcho natural es usado extensamente por sus buenas propiedades físicas y sello efectivo al comprimirse. La desventaja es que al quedar comprimido por algún tiempo no adquiere nuevamente su espesor original siendo necesario cambiarlo, otra desventaja es que no resiste la acción de los hidrocarburos y va perdiendo sus propiedades químicas.

El neupreno es muy usado debido a que es un producto de gran durabilidad y resistente a los hidrocarburos de acciones químicas.

La siguiente tabla muestra sus características:

Resistencia al aceite	-	buena
Termo envejecimiento	-	regular
Resistencia dieléctrica	-	400-700 Volts/milésima de pulg.

La cantidad que se usa en función de la capacidad del transformador, se muestra en la siguiente tabla.

KVA	M <sup>2</sup>
75	0.96
112.5	1.80
150	2.60

V.1.5.- Cintas de fijación en los devanados.

V.1.5.1.- Cinta eléctrica de fibra de vidrio de 3/4" de ancho, utilizada para fijar las tiras de papel aislante durante el devanado de alta-tensión y baja tensión.

Sus características son:

Scotch # 27

Clase E (130°C)

Resistencia de aislamiento - 100 mohms.

Rigidez dieléctrica - 1.5 KV/0.17 milésimas de pulg.

V.1.5.2.- Cinta de limo, se utiliza en la fijación del cartón dieléctrico, el acabado del devanado de baja tensión, el acabado de las "donas" - del devanado de alta tensión y en el acabado de los aislamientos de las terminales del devanado.

Se utilizan aproximadamente 40 metros, por fase, no im portando la capacidad de los transformadores.

#### V.1.6.- Soldadura

Soldadura con contenido de plata, para soldar solera o alambre de cobre en sus conexiones.

Se debe soldar efectivamente sin agrietarse al doblar ligaramente la parte soldada.

Se emplea también pasta para soldar exenta de ácidos y a base de resinas no-corrosivas.

#### V.2.- Materia prima utilizada para la reconstrucción de motores.

##### V.2.1.- Conductor

##### V.2.1.1.- Conductor de cobre desnudo.

Alambre magneto "FORMA-C-ON", esmaltado con una película de "POLIVINIL FORMAL" en doble capa. Resistente a la abrasión y resistencia al ataque de aceites.

Fabricado por "Conductores Monterrey, S.A.", con el cumplimiento de las normas NEMA MW-105°C y CCONNIE 10.4-1.

##### V.2.1.2.- Conductor de cobre con forro aislante.

Cable Termaflex, utilizado en las terminales que salen al exterior del estator, centro de estrella y conexiones en paralelo.

Resiste hasta 600 V y tiene flexibilidad y resistencia en altas temperaturas.

Su clase es de 105°C y los calibres utilizados son: - 0 y 00.

Las especificaciones que rigen las normas de construcción son las siguientes:

Underwriters Laboratories; Condumex # 202.4, ASTM-B-174, CCONNIE, 10.4-1.

#### V.2.2.- Aislamientos

V.2.2.1.- Papel dieléctrico manila, utilizado en el aislamiento de las ranuras estáticas, entre grupos de bobinas entre capas de bobinas.

Es altamente flexible y tiene buena impregnación con el aceite.

Se utiliza en espesores de 5 a 14 milésimas de pulgada (0.005, 0.0075, 0.010, 0.014).

Sus características son:

Resistencia eléctrica	- 7.5 KV/mm. de pulg.
Porcentaje de humedad	- 5% máx.
Densidad	- 0.85 gr/cm <sup>3</sup>

V.2.2.2.- Barniz dieléctrico rojo, llamado también - "primer", utilizado para barnizar y aislar - el nuevo arrollamiento del estator.

Sus características son:

SV-400, Clase E (130°C). Seca al contacto de 20 a 40 minutos, y endurece en 20 horas. Puede hornearse de 10 horas a una temperatura de 80°C.

Fabricado por "Devoe, S.A."

V.2.2.3.- Cuña de fijación, utilizada en el estator - para fijar o evitar que las bobinas salgan - de su ranura.

Está fabricado de algodón altamente refinado o maderatada para asegurar una máxima pureza química aislante y resistencia física.

Sus características son:

Resistencia dieléctrica - 10 KV/mm de pulg.

Densidad - 1.8 gr/cm<sup>3</sup>

Porcentaje de humedad - 5%

V.2.3.- Soldadura

Soldadura con contenido de plata, para soldar alambre-

o cable de cobre en sus conexiones.

Se debe soldar efectivamente sin agrietarse al doblar ligeramente la parte soldada.

Se emplea también pasta para soldar exenta de ácidos y a base de resinas no corrosivas.

## VI.- INSTALACION ELECTRICA E ILUMINACION

Esta etapa la hemos dividido en cuatro secciones:

- a) Alumbrado
- b) Contactos y cableado de hornos
- c) Circuito de fuerza del laboratorio.
- d) Distribución de carga y protección de los circuitos.

### VI.1.- Alumbrado

Un punto de importancia que debe ser considerado en instalaciones de éste tipo es lo referente al sistema de alumbrado. Con un nivel de iluminación adecuado, sobre todo en aquellas zonas del taller en que por el trabajo a realizar requieran de mayor iluminación, nos permitirá asegurar un ambiente confortable que garantice el correcto desempeño de las tareas laborales.

Se utilizará el método de índices de reflexión y el espaciamiento entre luminarias, para el cálculo de la cantidad de luminarias.

Se empleará un sistema de iluminación directa, con 2 lámparas empotradas con rejilla difusora de plástico de 45°. Las lámparas tienen las siguientes características:



Lámpara .....	fluorescente
Lámparas por luminaria.....	2
Lúmens por lámpara.....	16000
Watts por lámpara.....	215 W
Tensión.....	220 V
Longitud del tubo.....	2.44 mts
Vida promedio.....	7500-9000 Hrs.

Para el cálculo del número de lámparas, dividiremos en áreas más pequeñas, la superficie total de construcción del taller, las cuales se listan a continuación:

Area	Zona
1	Laboratorio de pruebas
2	Desensamble, ensamble y almacenes de motores
3	Pasillo del taller de motores
4	Barnizado y pintado del estator
5	Mesas móviles de trabajo, elaboración de grupos de bobinas, de motores.
6	Sanitarios (cada uno)
7	Oficina
8	Almacén de material, herramientas y equipo
9	Mesa de sierra, taladro y esmeril
10	Mesas de trabajo, aparatos de embobinación, - soporte de carretes, núcleo para embobinar, - ensamble del núcleo magnético y conexiones <u>in</u> ternas, mesa de trabajo, de transformadores.

- |    |  |
|----|--|
| 11 | Almacenamiento de tanques por ensamblar y entrada del horno, de transformadores. |
| 12 | Barnizado y pintado del tanque   |
| 13 | Almacén de núcleos magnéticos limpios  |
| 14 | Desensamble, ensamble y almacenes de transformadores.                            |

**Nota:**

En las áreas se tienen una altura de 3.5 mts a excepción - de las áreas 1, 2 y 14, que tienen una altura de 5 mts. Siendo éstas medidas del piso al plafón, teniendo 0.30 mts. del plafón al techo de asbesto-cemento.

**VI.1.1.- Cálculos para obtener el número de lámparas - de las áreas.**

**Area 1**

Sus características dimensionales son:

Longitud (L).....	7 mts.
Ancho (a).....	6 mts.
Arca (S).....	42 mts <sup>2</sup>
Altura (H).....	5 mts.
Altura de montaje (Hm).....	4 mts.
Altura de trabajo (Hr).....	1 m.

Sus características de reflexión son:

Reflexión en el techo.....	80%
Reflexión en las paredes.....	50%

Para el cálculo del número de lámparas se hace por medio de la siguiente expresión:

$$\text{No. de Lámparas} = \frac{(NI) \cdot (S)}{(CU) \cdot (FM) \cdot (Lum/Lamp)}$$

Los parámetros de dicha expresión son explicados a continuación:

NI = Nivel de iluminación

El nivel de iluminación mínimo que aconseja el ROIE (Reglamento de obras e instalaciones eléctricas).

Un NI = 300 luxes, y el nivel de iluminación que utilizaremos será de NI = 600 luxes, que es el que recomienda el NEC (National Electrical Code)

$$S = \text{superficie} = 42 \text{ m}^2$$

CU = Coeficiente de utilización, obtenida en las tablas de iluminación de los manuales de Westinghouse, con la ayuda del índice del cuarto y los porcentajes de reflexión de techo y paredes.

$$IC = \text{Índice del cuarto} = \frac{(L) (a)}{H_m (L+a)} = \frac{(7) (6)}{(4) (7+6)} = 0.50$$

$$HM = \text{Altura de montaje} = H - H_t = 5 - 1 = 4 \text{ mts.}$$

De acuerdo al valor obtenido, tenemos que el índice de cuarto corresponde a la letra "I".

A continuación se muestra la tabla del índice del cuarto:

J : Menos de 0.7	E: 1.75 - 2.25
I : 0.7 - 0.9	D: 2.25 - 2.75
H : 0.9 - 1.12	C: 2.75 - 3.5
G: 1.12 - 1.38	B: 3.5 - 4.5
F : 1.38 - 1.75	A: más de 4.5

Una vez conocidos los valores de reflexión y de índice del cuarto, se obtiene el valor del coeficiente de utilización:

$$CU = 0.30$$

FM = Factor de mantenimiento, lo consideraremos bueno, por lo que su valor es de:

$$FM = 0.7$$

Cuando se conocen todos los parámetros, se sustituyen en la expresión del número de Lámparas:

$$\text{No. Lámp.} = \frac{(600)(42)}{(0.3)(0.7)(16,000)} = 7.5$$

El valor del cálculo se debe tomar el valor entero, persiguiendo:

No. Lámparas = 8

No. Lum = Número de luminarias =

$$\text{No. Lum} = \frac{\text{No. de Lámp.}}{\text{Lámpara por luminaria}} = \frac{8}{2} = 4$$

E máx = Espaciamiento máximo entre luminarias =  $1 \times H_m$

$$E \text{ máx} = 1 \times 4 = 4 \text{ mts.}$$

E = Espaciamiento entre luminarias

$$E = \frac{L}{\text{No. Lum. a lo ancho del área}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ mts.}$$

EP = Espaciamiento entre la luminaria y la pared

$$E_p = \frac{E}{2} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ mts.}$$

Las luminarias pertenecientes a las áreas restantes se calcularán con el mismo procedimiento que el descrito para el área 1, por lo que se eliminarán las operaciones y solo daremos el resultado de ellas. Se tomarán en cuenta criterios de simetría de las luminarias, zona de trabajo, espaciamento, etc.

A continuación se nombran los parámetros que permanecen constantes durante el cálculo en todas las áreas:

Lúmens por lámpara .....	16,000 Lumens
Reflexión en el techo.....	80%
Reflexión en las paredes.....	50%

Nivel de Iluminación..... 600 Luxes

Factor de mantenimiento..... 0.70

Altura de trabajo..... 1 m.

Area 2		Area 3		Area 4	
L	7 mts	L	14 mts	L	4 mts
a	6.5 mts	a	2.5 mts	a	3 mts
S	45.5 mts <sup>2</sup>	S	35 mts <sup>2</sup>	S	12 mts <sup>2</sup>
H	5 mts	H	3.5 mts	H	3.5 mts
Hm	4 mts	Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts
IC	0.84	IC	0.84	IC	0.68
CU	0.30	CU	0.30	CU	0.24
No. Lámp.	8	No. Lámp	8	No. Lámp	2
No. Lum.	4	No. Lum.	4	No. Lum.	1
E máx	4 mts	E máx.	2.5 mts	E máx.	2.5 mts
E	3.25 mts	E	mts	E	mts
Ep	1.625 mts	Ep	1.25 mts	Ep	1.5 mts

Area 5		Area 6		Area 7	
L	11 mts	L	3 mts	L	7 mts
a	4 mts	a	2 mts	a	3 mts
S	44 mts <sup>2</sup>	S	6 mts <sup>2</sup>	S	21 mts <sup>2</sup>
H	3.5 mts	H	3.5 mts	H	3.5 mts
Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts
IC	1.17	IC	0.48	IC	0.84
CU	0.38	CU	0.24	CU	0.30
No. Lámp.	10	No. Lámp.	2	No. Lámp.	4
No. Lum.	5	No. Lum.	1	No. Lum.	2
E máx:	2.5 mts	E máx	2.5 mts	E máx	2.5 mts
E	2.2 mts	E	mts	E	mts
Ep	1.1 mts	Ep	1 mts	Ep	1.5 mts

Area 8		Area 9		Area 10	
L	18.5 mts	L	5.5 mts	L	11 mts
a	4 mts	a	2 mts	a	7 mts
S	74 mts <sup>2</sup>	S	11 mts <sup>2</sup>	S	77 mts <sup>2</sup>
H	3.5 mts	H	3.5 mts	H	3.5 mts
Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts
IC	1.31 ∴ G	IC	0.58 ∴ J	IC	1.71 ∴ F
CU	0.38	CU	0.24	CU	0.41
No. Lámp.	14	No. Lámp.	4	No. Lámp.	16
No. Lum.	7	No. Lum.	2	No. Lum.	8
E. máx.	2.5 mts	E. máx.	2.5 mts	E. máx.	2.5 mts
E	2.5 mts	E	mts	E	2.5 mts
Ep	1.75 mts	Ep	1 mts	Ep	1.75 mts

Area 11		Area 12	
L	7.5 mts	L	4 mts
a	3 mts	a	3 mts
S	22.5 mts <sup>2</sup>	S	12 mts <sup>2</sup>
H	3.5 mts	H	3.5 mts
Hm	2.5 mts	Hm	2.5 mts
IC	0.85 ∴ I	IC	0.68 ∴ J
CU	0.30	CU	0.24
No. Lámp.	6	No. Lámp.	2
No. Lum.	3	No. Lum.	1
E. máx.	2.5 mts	E. máx.	2.5 mts
E	2.5 mts	E	mts
Ep	1.25 mts	Ep	1.25 mts

Area 13		Area 14	
L	4.5 mts	L	9 mts
a	4 mts	a	7 mts
S	18 mts <sup>2</sup>	S	63 mts <sup>2</sup>
H	3.5 mts	H	5 mts
Hm	2.5 mts	Hm	4 mts
IC	0.84 I	IC	0.98 H
CU	0.30	CU	0.34
No. Lámp.	4	No. Lámp.	12
No. Lum.	2	No. Lum.	6
E máx.	2.5 mts	E máx.	4 mts
E	2.25 mts	E	3 mts
Ep	1.125 mts	Ep	1.5 mts

#### VI.1.2.- Circuitos de alumbrado

Los circuitos de alumbrado son independientes entre sí, debido a que por norma se permite 2600 W. por cada circuito como máximo, o sea, que no deberemos tener más de 6 luminarias en un solo circuito ya que cada una de éstas consumo 430W, por lo tanto, seis consumen 258W.

A continuación se listan los circuitos con sus zonas que controlan, número de luminarias y potencia que consumen.

Circuito	Zona	Número de Luminarias	Potencia consumida
C-1	Laboratorio de Pruebas	4	1,720 W
C-2	Ensamble, Desensamble y almacén de motores	4	1,720 W
C-3	Pasillo del taller de - motores	4	1,720 W
C-4	Barnizado y pintado del estator	1	430 W
C-5	Mesas móviles de trabajo, elaboración de grupos de bobinas de motores.	5	2,150 W
C-6	Sanitario, lado de moto-- res	1	430 W
C-7	Oficina	2	860 W
C-8	Almacén de material, he-- rramientas y equipo, lado motores	3	1,290 W
C-9	Ensamble, Desensamble y - almacén de Transformadores	6	2,580 W
C-10	Almacén de núcleos magné-- ticos limpios	2	860 W
C-11	Barnizado y pintado del - tanque	1	430 W
C-12	Almacén de tanques por - ensamblar, entrada del - horno y conexiones inter-- nas del transformador	5	2,150 W

Circuito	Zona	Número de Luminarias	Potencia Consumida
C-13	Aparatos de embobinación núcleos por embobinar, - soportes.	6	2,580 W
C-14	Almacén de material, herramienta y equipo, lado de transformadores.	4	1,720 W
C-15	Mesa de esmeril, taladro y sierra.	2	860 W
C-16	Sanitario, lado transformadores.	1	430 W
Total		51	21,930 W

### VI.1.3.- Cálculo de calibre de los conductores de alumbrado.

El valor del calibre del conductor de alumbrado se puede calcular por dos métodos:

- a) Diseño por caída de tensión.
- b) Diseño por capacidad de corriente.

En nuestro caso, desarrollaremos el método de caída de tensión por ser más directo y rápido.

La expresión a utilizar para obtener la sección transversal del conductor en un circuito monofásico, es la siguiente:

$$S = \frac{2 I D}{57 V \frac{V_c}{100}} \cos \phi$$

donde:

S = Sección transversal del conductor

I = Corriente del circuito

D = Distancia o longitud a la carga más lejana

V<sub>i</sub> = Tensión de alimentación

V<sub>c</sub> = Porcentaje máximo de caída de tensión para circuitos de alumbrado, regida por el ROIE.

cos  $\phi$  = Factor de potencia para alumbrado.

Para calcular la corriente, se hace a partir de la potencia máxima permisible por circuito, o sea, 2600 W.

$$I = \frac{P}{W} = \frac{2600}{220} = 12 \text{ Amp.} \quad V_i = 220 \text{ V}$$

$$D = 60 \text{ mts.} \quad V_c = 3\%$$

$$\cos \phi = 0.85$$

Sustituyendo los valores en la expresión.

$$S = \frac{(2) (12) (60) (0.85)}{(57) (220) \left(\frac{3}{100}\right)} = 3.25 \text{ mm}^2$$

Una vez conocida el área de sección transversal, se obtiene el valor del calibre del conductor en las tablas de conductores con forro de hule AWG:

Calibre AWG del conductor : No. 12  
 Corriente permitida a 60°C : 20 Amp.  
 Sección Transversal : 3.309 mm<sup>2</sup>

Empleando conductores con forro TW sus características son:

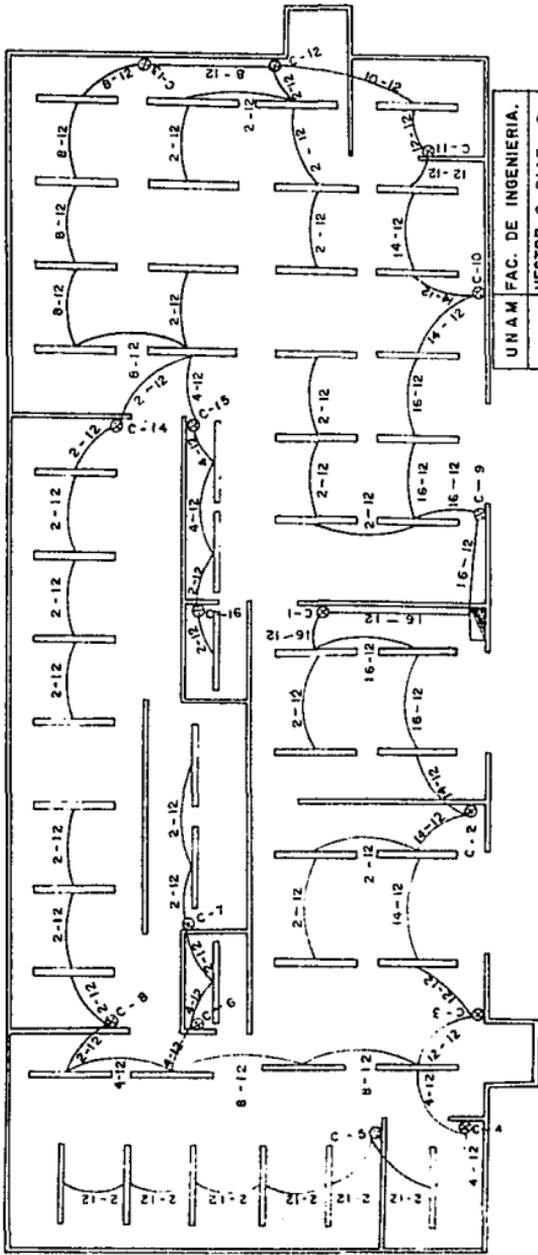
Calibre AWG : 12  
 Diámetro aprox. : 3.76 mm  
 Area aprox. : 11.101 mm<sup>2</sup>

Como tenemos dos tuberías con 8 circuitos y cada uno con dos conductores, hallamos que el área que ocupan los 16 conductores es de:

$$16 (11.101) = 177.61 \text{ mm}^2$$

#### VI.1.4.- Cálculo del medio de canalización.

Para la canalización se utilizará tubería conduit Jupiter, y se obtendrá el valor en la tabla de factor de relleno, - tomando en cuenta que es una instalación nueva, se utilizará el 40% del área de la sección transversal de la tubería conduit - con los conductores. A continuación se muestran las caracterís-



UNAM	FAC. DE INGENIERIA.
TESIS	HECTOR S. DIAZ C.
PROFES	ALDO B. RIVERA R.
	ROBERTO BORGO F.
	PLANO 2
	CIRCS. DE ALUMBRADO.
ESCALA	1:100 1980

ticas de la tubería conduit:

Diámetro nominal	Diámetro interior	Sección interior	40% de la sección promedio
25 mm	28.2 mm	624.5 mm <sup>2</sup>	223

Nota:

La tubería conduit se ha utilizado a lo largo de todos los circuitos con el mismo diámetro del tubo, para prevenir futuras ampliaciones en la instalación.

#### VI.2.- Contactos y cableado de hornos.

Se instalarán 54 contactos considerando una carga máxima de 400 watts por cada uno de ellos. Además se tendrá el cableado de los 2 hornos eléctricos que se encuentran localizados: uno en el área de motores y otro en el área de transformadores, cada uno de los cuales consume una carga de 7.5 KW (20 - lámparas infrarrojas de 375 W c/u).

Carga instalada:

$$54 \times 400 = 21,600 \text{ watts a } 127 \text{ V}$$

$$2 \times 7500 = \underline{15,000 \text{ watts}} \text{ a } 127 \text{ V}$$

$$\text{Total } 36,600 \text{ watts}$$

### VI.2.1.- Cálculos para la obtención del calibre de los conductores empleados.

Al igual que para alumbrado, ésta instalación se dividió en 16 circuitos individuales considerando que no se puede tener más de 2600 watts aproximadamente por circuito. También, para unificar el calibre de los conductores, se tomó el contacto más alejado del centro de carga.

Considerando de nuevo la fórmula para un circuito monofásico hallamos:

$$S = \frac{2 \times I \times D}{57 \times V \times \frac{V_c}{100}} \times \cos \phi$$

Donde: los valores de los parámetros son:

$$I = 2600/127 = 21 \text{ Ámps.}$$

$$V = 127 \text{ volts.}$$

$$D = 60 \text{ mts.}$$

Para contactos se tiene que:

$$\cos \phi = 1$$

$$V_c = 3\%$$

Sustituyendo valores en la expresión anterior.

$$S = \frac{2 \times 21 \times 60}{57 \times 127 \times 0.3} \times 1 = 11.6 \text{ mm}^2$$

De tablas encontramos:

Calibre AWG del conductor = No. 6

Corriente permitida clase 60°C = 55 Amps. basada a temperatura ambiente de 30°C

Sección transversal = 13.3 mm<sup>2</sup>

Para el neutro utilizaremos un conductor calibre AWG - del No. 4 para mayor seguridad de la instalación en caso de falla.

Se emplearán conductores con forro TW de las siguientes características:

Calibre	Diámetro aprox.	Sección aprox.
AWG	mm	mm <sup>2</sup>
6	8.20	52.81
4	9.54	70.138

Capacidad permisible de los conductores.

C.P. = (Ipermisible) (Factor de corrección de Cond. - en el tubo) x (Factor de corrección de temp.).

En base al Nec; se tiene el siguiente valor:

Factor de corrección de 7 a 24 conductores en el tubo  
= 0.7

Además

Ipermisible = 55 Amps.

Factor de corrección de temp. a 30°C = 1.

Sustituyendo valores en la expresión anterior:

$$C.P. = (55) (.7) (1) = 38.5 \text{ Amp.}$$

En virtud de que los circuitos están en más de 3 horas de operación, se debe considerar un máximo de 85% de la corriente permisible sin que exceda éste valor.

$$85\% \text{ C.P.} = (0.85) (38.5) = 32.72 \text{ Amps.}$$

32.72 Amp 21 Amp. = corriente del circuito de carga-  
máxima.

por lo que se encuentra dentro del límite mencionado.

#### VI.2.2.- Circuitos de contactos y cableado de Hornos.

Los circuitos para contactos son independientes entre sí, debido a que por norma se permite aproximadamente 2600 - watts por cada circuito como máximo, o sea, que no deberemos te

ner 7 contactos en un solo circuito, ya que cada uno de estos - puede llegar a consumir 400 watts, por lo tanto, siete consumi- rían en caso extremo 2800 watts. Unicamente se tomaron circui- tos con un máximo de 6 contactos.

A continuación se listan los circuitos, las zonas en - que se localizan, el número de contactos que comprenden y la po- tencia que consumen.

Circuito	Zona	No. de contactos	Potencia consumida
C-1	Ensamble, desensamble y almacen de salida de transformadores; barni- zado del tanque; mesa - de ensamble del núcleo- y conexiones internas.	6	2,400 W
C-2	Máquinas embobinadoras	6	2,400 W
C-3	Máquinas embobinadoras, sierra, taladro	6	2,400 W
C-4	Esmaril, sanitario	3	1,200 W
C-5	Cableado de horno eléc- trico para transformado- res	-	2,500 W
C-6	Cableado de horno eléc- trico para transformado- res	-	2,500 W

Circuito	Zona	No. de contactos	Potencia consumida
C-7	Cableado de horno eléctrico para transformadores	-	2,500 W
C-8	Laboratorio de pruebas, desensamble, ensamble y almacén de salida para motores	6	2,400 W
C-9	Barnizado del estator, mesas móviles de trabajo	6	2,400 W
C-10	Mesas móviles de trabajo, elaboración de grupos de bobinas	6	2,400 W
C-11	Almacén de materiales y herramientas para motores y transformadores y sanitario y oficina general	6	2,400 W
C-12	Oficina general	3	1,200 W
C-13	Almacén de materiales y herramientas para motores y transformadores	6	2,400 W
C-14	Cableado de horno eléctrico para motores	-	2,500 W
C-15	Cableado de horno eléctrico para motores	-	2,500 W
C-16	Cableado de horno eléctrico para motores	-	2,500 W
Total		54	36,600 W

## VI.2.3.- Cálculo del medio de canalización.

Para la canalización se empleará tubería conduit Jupiter y se calcula en base a las siguientes secciones consideradas por ser las de mayor área:

$$\begin{aligned}
 9 \text{ de No. } 6 &= 9 \times 52.81 = 475.29 \\
 9 \text{ de No. } 4 &= 9 \times 70.138 = \underline{631.24} \\
 1\text{a. sección} &= 1106.53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Correspondiente al circuito C-8

$$\begin{aligned}
 5 \text{ de No. } 6 &= 5 \times 52.81 = 264.05 \\
 5 \text{ de No. } 4 &= 5 \times 70.138 = \underline{350.69} \\
 2\text{a. sección} &= 614.74 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Correspondiente al circuito C-9

$$\begin{aligned}
 7 \text{ de No. } 6 &= 7 \times 52.81 = 369.67 \\
 7 \text{ de No. } 4 &= 7 \times 70.138 = \underline{490.96} \\
 3\text{a. sección} &= 860.63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

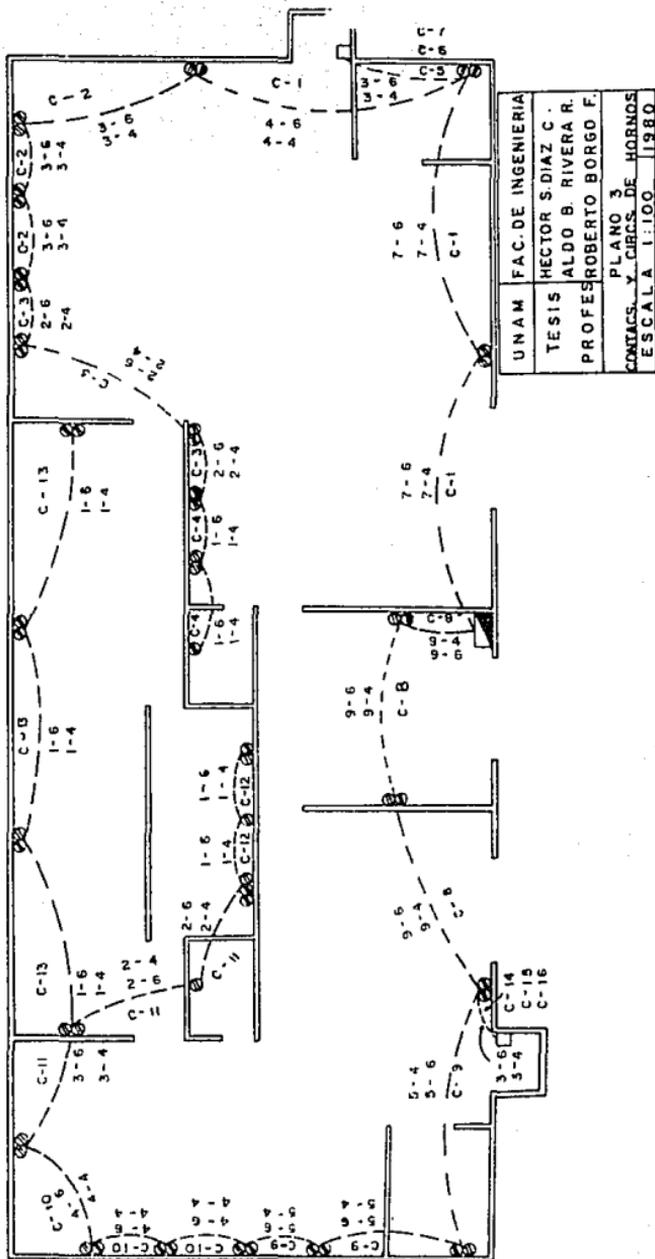
Correspondiente al circuito C-1

$$\begin{aligned}
 4 \text{ de No. } 6 &= 4 \times 52.81 = 211.24 \\
 4 \text{ de No. } 4 &= 4 \times 70.138 = \underline{280.55} \\
 4\text{a. sección} &= 491.792 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Correspondiente al resto de los circuitos.

Sus características son:

No. Sección	Cant. Tubería mts.	Diámetro Nominal mm	Diámetro Interior mm	sección interior mm <sup>2</sup>	40% sección promedio mm <sup>2</sup>
1a.	15	63	66.16	3437.5	1310.5
2a.	16	51.00	54.34	2319.1	872.74
3a.	18	51	54.34	2319.1	872.74
4a.	84	36	42.60	1425	498



UNAM	FAC. DE INGENIERIA
TESIS	HECTOR S. DIAZ C.
PROFESOR	ALDO B. RIVERA R.
	ROBERTO BORGIO F.
	PLANO 3
	CONTACTOS Y CIRCUITOS DE HORNO
	ESCALA 1:100 1980

### VI.3.- Instalación de fuerza del laboratorio de pruebas.

En esta zona se cuenta con el siguiente equipo eléctrico:

- 1 transformador de 150 KVA, 3  $\phi$ , 220/440 volts. para alimentar al motor que irá a ser probado una vez que se le halla dado servicio.
- 1 motor para la bomba del filtro-prensa de 3 H.P., - 3  $\phi$ , 220 volts.
- 1 motor para la bomba de vacio de 1 H.P., 3  $\phi$ , 220 - volts.

#### VI.3.1.- Cálculos para la obtención del calibre de los conductores empleados.

Se emplearán conductores con aislamiento clase 60°C y una temperatura ambiente de 30°C.

Por regla general se tiene que por cada 1 H.P. se consideran 3 Amps por fase, esto para circuitos trifásicos de 220-volts.

La caída de tensión en los conductores es despreciable para los motores de las bombas tenemos:

$$CPNC = \frac{I_{cc}}{F_{cc1} \times F_{cc2}}$$

donde:

CPNC = corriente permisible necesaria en el conductor

$F_{cc_1}$  = factor de corrección de corriente por temperatura.

$F_{cc_2}$  = factor de corrección de conductores en un tubo

$I_{cc}$  = corriente conectada.

Los valores de las anteriores variables para nuestro caso son:

- Para el motor de la bomba del filtro-prensa:

$$I_{cc} = 9 \text{ Amps.}$$

$$F_{cc_1} = 1 \text{ (Debido a que la temp. amb. es } 30^{\circ}\text{C)}$$

$$F_{cc_2} = .8 \text{ (Según N.E.C. de 4 a 6 cond. } F_{cc_2} = 0.8)$$

$$CPNC = \frac{9}{1 \times .8} = 11.25 \text{ Amps.}$$

con el anterior valor y de tablas hallamos conductor calibre -  
AWG No. 12

Corriente permisible clase  $60^{\circ}\text{C} = 20 \text{ Amps.}$

Nota:

Se empleará calibre del No. 12 por ser el mínimo permitido para circuitos de fuerza.

- Para el motor de la bomba de vacío:

$$I_{cc} = 3 \text{ Amps.}$$

$$F_{cc_1} = 1 \text{ (Debido a que la temp. amb. es } 30^\circ\text{C)}$$

$$F_{cc_2} = 1 \text{ (Según N.E.C. para 3 cond. o menos } F_{cc} = 1)$$

2

Sustituyendo valores

$$CPNC = \frac{3}{1 \times 1} = 3.00 \text{ Amps.}$$

con el anterior valor y de tablas hallamos:

Conductor calibre AWG no. 12.

Corriente permisible clase  $60^\circ\text{C} = 20 \text{ Amps.}$

Para el cálculo del calibre del conductor alimentador del motor que está siendo probado se tomaron los siguientes criterios:

- El motor a prueba se trabajará en vacío pero posteriormente, en caso de requerirlo, se trabajará con carga de ahí que el cálculo se haga considerando al motor con carga.
- La caída de voltaje es despreciable.

Aplicando la fórmula:

$$CPNC = \frac{I_c}{F_{cc_1} \times F_{cc_2}}$$

$$I_c = 180 \text{ Amps.}$$

$$Fcc_1 = 1 \text{ (Debido a que la Temp. amb. es de } 30^\circ\text{C)}$$

$$Fcc_2 = 1 \text{ (Según N.E.C. para 3 cond. o menos } Fcc_2 = 1)$$

$$CPNC = \frac{180}{1 \times 1} = 180 \text{ Amps.}$$

con el anterior valor y de tablas:

Conductor calibre AWG No. 4/0

Corriente permisible clase 60°C = 195 Amps.

En todos los casos se utilizará conductores con forro TW de las siguientes características:

Calibre	Diámetro aprox.	Sección aprox.
AWG	mm	mm <sup>2</sup>
12	3.76	11.104
4/0	17.91	251.93

### VI.3.2.- Cálculo del medio de canalización.

Para la canalización se empleará tubería conduit Jupiter cuyas dimensiones se calcularon en base a las siguientes secciones:

$$1a. \text{ sección} = 6 \times 11.104 = 66.62 \text{ mm}^2$$

$$2a. \text{ sección} = 3 \times 251.93 = 755.79 \text{ mm}^2$$

La tubería así encontrada fue:

No. Sección	Cant. Tubería mts	Diámetro Nominal mm	Diámetro Interior mm	Sección Interior mm <sup>2</sup>	40% sección promedio mm <sup>2</sup>
1a	6	13	17.45	239.15	75
2a	6	63	66.16	3437.5	1310.5

La conexión del laboratorio queda como se muestra en la Fig. 67.

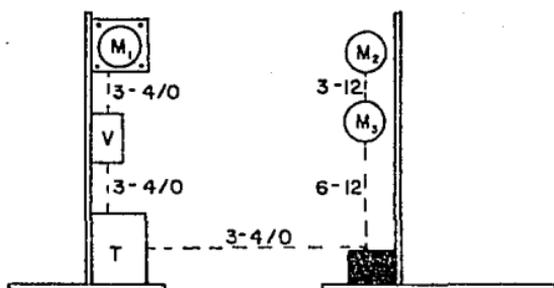


Figura 67

Donde:

- V = Variac
- M<sub>1</sub> = Motor que esta siendo probado
- M<sub>2</sub> = Motor de la bomba de vacío
- M<sub>3</sub> = Motor de la bomba del filtro prensa
- T = Transformador 220/440 volts.

#### VI.4.- Distribución de la carga y protección de los circuitos.

##### VI.4.1.- Distribución de la carga.

En el diagrama siguiente se muestra la distribución de la carga en donde podemos observar que cada fase proporciona 506 amperes, distribuidos de la siguiente forma:

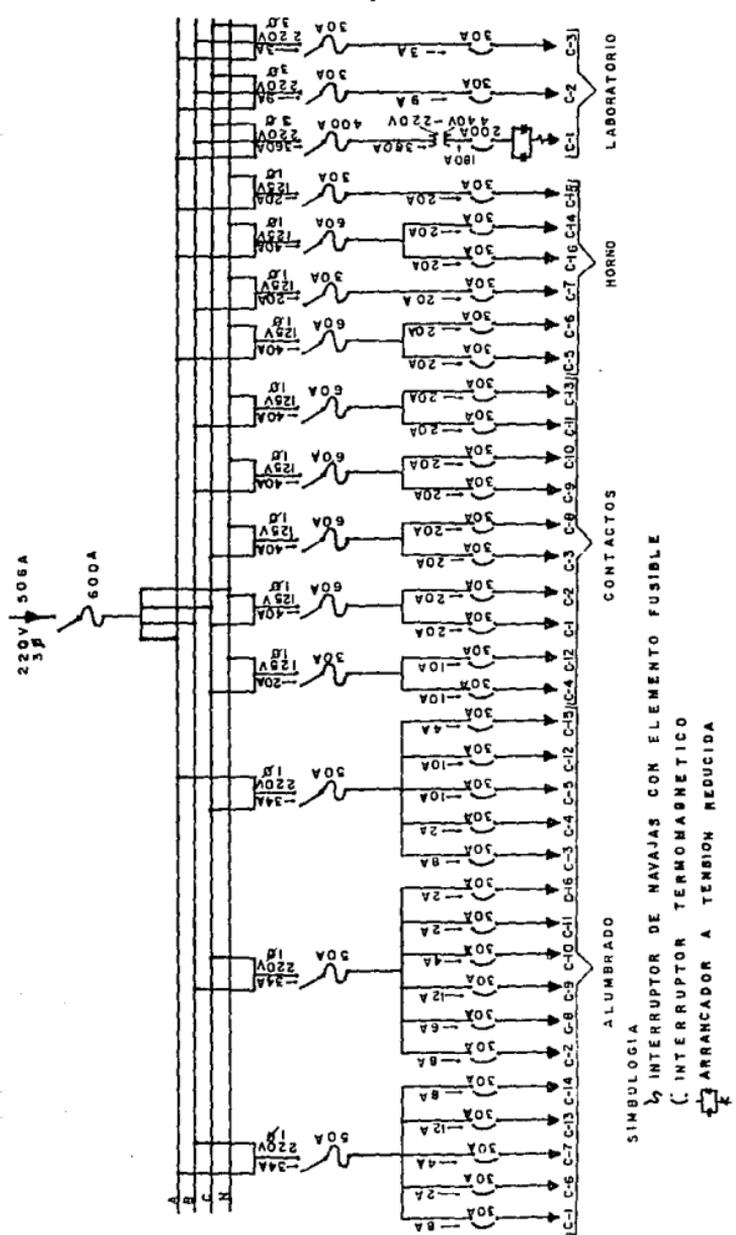
- 34 amperes para los circuitos de alumbrado.
- 100 amperes para los circuitos de contactos y hornos; en particular la fase A proporciona 100 amperes para los hornos, la fase B proporciona 80 amperes para los contactos y 20 amperes para los hornos, finalmente la fase C proporciona 100 amperes para los circuitos de contactos.
- 372 amperes para los circuitos de fuerza del laboratorio.

Por lo anterior, podemos concluir que las fases se encuentran balanceadas al 100% cuando tengamos la carga total con sumiéndose.

##### VI.4.2.- Protección de los circuitos.

Se tienen dos tipos de protecciones para los circuitos:

- Interruptores termomagnéticos, para casos de falla de corto circuitos, ya que éstos operan de forma



practicamente instantánea.

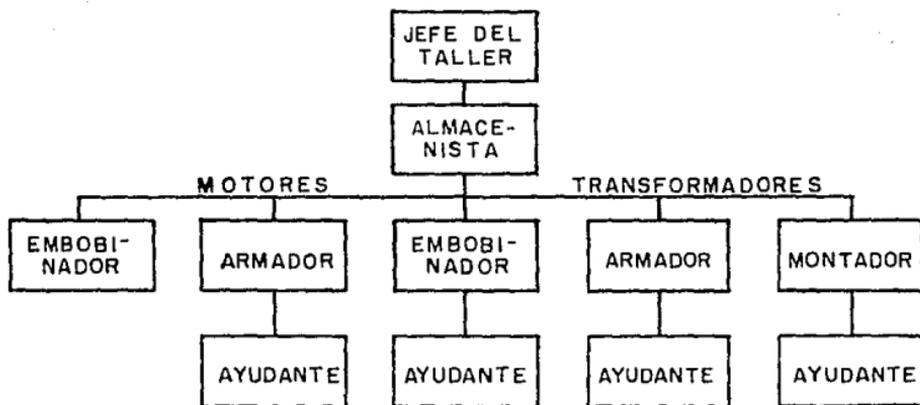
- Interruptores de navaja con cartucho fusible para casos de falla por sobrecargas, ya que estos operan de forma lenta.

El criterio que se ha tomado para la selección de las protecciones, es para que estas operen al 150% de la corriente nominal; excepto para el circuito que alimentará al motor que se someterá a prueba en el laboratorio, pues estas protecciones operarán al 110% de la corriente nominal, pero es preciso recordar que dicho motor funcionará generalmente en vacío y solamente en muy contadas ocasiones trabajará a plena carga que es cuando consumirá la corriente que se ha descrito. Para la navaja-fusible principal, hemos seleccionado su operación para el 120% de la corriente nominal total. Además, nos hemos adecuado a los productos existentes en el mercado.

## VII.- ORGANIZACION DEL TALLER Y TIEMPO EMPLEADO EN LOS PASOS DE LOS PROCESOS DEL MANTENIMIENTO.

### VII.1.- Organización del taller.

La organización del taller trata de la jerarquía y responsabilidad de los integrantes del taller. En el siguiente diagrama se muestra el organigrama respectivo.



A continuación se explicarán las actividades y conocimientos de cada uno de ellos en sus respectivas áreas de trabajo.

Nombre del puesto: Jefe del Taller

Desarrolla las funciones del área técnica tanto de transformadores como de Motores.

**Actividades:**

- Realiza todas las pruebas de rutina a transformadores y motores.
- Plantea y controla las operaciones de mantenimiento
- Inspecciona y clasifica las averías
- Rediseña los transformadores y motores
- Mantenimiento de maquinaria y equipo
- Programas de capacitación.

**Conocimientos:**

- Operación y mantenimiento de equipo mecánico, de medición, de pruebas, etc. existentes en el taller para transformadores y motores; conocimientos amplios de electricidad.

Nombre del puesto: Almacenista

Su función es tanto para transformadores como para motores.

**Actividades:**

- Recibe y entrega cada unidad que entra al taller
- Entrega equipos, herramientas, materiales, etc. para el mantenimiento de la unidad, con su respectiva boleta de remisión.
- Control de inventario de refacciones y materiales.

**a) Mantenimiento de transformadores**

Nombre del puesto: Embobinador

**Actividades:**

- Selección y verificación de los materiales utilizados para la reconstrucción de las bobinas.
- Selección del molde para la manufactura de bobinas.
- Corte y conformación de los materiales aislantes para las bobinas.
- Devanado de alta y baja tensión
- Selección de barnices aislantes
- Compactación de bobinas

**Conocimientos:**

- Interpretación de planos eléctricos
- Conocer clasificación de materiales aislantes, barnices y conductores.
- Medición de calibre de aislantes y conductores.
- Técnicas de corte y doblado de materiales aislantes.
- Devanado de bobinas y soldar con cautín
- Conocimientos elementales de electricidad.

Nombre del puesto: Armador

**Actividades:**

- Desarmado del conjunto núcleo-bobinas
- Separar bobinas quemadas del núcleo.

- Limpieza del núcleo, laminaciones y su preparación
- Llenado de forma para toma de datos de las bobinas.
- Colocación de los devanados, ensamble de laminaciones y herraje del núcleo.
- Efectúa las conexiones de los devanados del transformador.
- Lleva conjunto núcleo-bobinas al horno.

**Conocimientos:**

- Interpretación de planos
- Soldar con cautín, oxiacetileno y eléctrica
- Identificar polaridad del transformador
- Conocer diferentes tipos de arreglo interno en los transformadores.
- Conocer conexiones (Delta, estrella y combinaciones)
- Identificar diferentes tipos de bobinas.

**Nombre del puesto:** Montador

**Actividades:**

- Transporte de transformadores
- Auxilia al jefe de taller a efectuar las pruebas.
- Destapado del tanque y desconexión de las terminales.
- Extracción del aceite del tanque.
- Extracción del núcleo-bobinas del tanque
- Limpieza y barnizado del tanque.
- Llenado de aceite y filtrado.

- Ensamble del núcleo-bobinas en el tanque, conexión de las terminales y ensamble final del transformador y sus accesorios.
- Colocación de los empaques y accesorios del transformador.
- Pintado y rotulado del tanque.

Conocimientos:

- Operar eficientemente la grúa
- Uso e identificación de juego de llaves, dados, etc.
- Operación del filtro prensa.
- Conocimientos de soldadura.
- Operación del equipo de limpieza y pintado.
- Selección y preparación de pinturas.

Nombre del puesto: Ayudante.

Existirá un ayudante para el Armador, montador y paracada embobinador. Su función será auxiliar en las actividades a cada uno de los anteriores, por tanto sus conocimientos serán los elementales correspondientes a ellos.

## b) Mantenimiento de motores:

Nombre del puesto: Embobinador

## Actividades:

- Selección y verificación de los materiales utilizados para la reconstrucción del embobinado
- Operación de la máquina embobinadora
- Corte y conformación de los materiales aislantes para las ranuras estáticas.
- Selección de barnices aislantes y cuñas.
- Colocación y compactación de bobinas
- Conexiones y pruebas del embobinado estático.

## Conocimientos:

- Interpretación de planos eléctricos
- Conocer clasificación de materiales aislantes, barnices, cuñas, conductores, etc.
- Medición de calibres de conductores aislantes, etc.
- Devanado de bobinas y soldar con cautín
- Conocer conexiones (Delta, estrella, serie o paralelo y combinaciones entre ellas)
- Conocimientos de electricidad.

Nombre del puesto: Armador

## Actividades:

- Transporte de motores

- Desensamble de las partes del motor
- Extraer bobinas quemadas del estator
- Llenado de forma para toma de datos de las bobinas
- Ensamble de las partes del motor
- Auxiliar del jefe del taller para la prueba final.

**Conocimientos:**

- Operar eficientemente la grúa
- Uso e identificación de juegos de llaves, dados, etc.
- Identificar diversas conexiones (Delta, estrella, serie o paralelo y combinaciones de ellas)
- Conocimientos elementales de electricidad.

Nombre del puesto: Ayudante

**Actividades:**

- Destruir el aislamiento del embobinado antiguo
- Vaciado de aceite lubricante y llenado
- Lavado de las partes del motor
- Barnizado y pintado
- Auxiliar en las actividades del armador

**Conocimientos:**

- Operación del equipo de limpieza, barnizado o pintado
- Selección y preparación de pinturas
- Conocimientos elementales de los correspondientes al armador.

VII.2.- Tiempo empleado en los pasos de los procesos del mantenimiento.

VII.2.1.- Estudio del personal utilizado y el tiempo empleado para cada paso del proceso en el mantenimiento de motores. Los números de los procesos corresponden a los del diagrama de flujo.

Proceso	Personal	Tiempo aprox. (Horas)
1	Almacenista	0.25
2	Armador y Ayudante	0.25
3	Ayudante	0.25
4	Armador y Ayudante	1.0
5	Jefe del taller	0.5
6	Armador y Ayudante	1.5
7	Ayudante	0.5
8	Ayudante	6.0
9	Armador y Ayudante	1.0
10	Ayudante	1.0
11	Embobinador	1.5
12	Embobinador	4.0
13	Embobinador	2.0
14	Embobinador	0.5
15	Ayudante	0.25
16	Ayudante	10.0
17	Armador y Ayudante	1.0
18	Jefe de taller y Ayudante	0.5
19	Ayudante	0.25
20	Armador y Ayudante	0.25
Total de tiempo teórico		32.50

El tiempo teórico en que un motor estará terminado es de 32.50 hrs., cabe observar que dicho tiempo se reduce en la práctica debido a que hay procesos que se pueden realizar simultáneamente. Obteniéndose, en base a lo anterior, que un motor estará concluido en 3 días de trabajo, aproximadamente.

VII.2.2.- Estudio del personal utilizado y el tiempo empleado para cada paso del proceso en el mantenimiento de transformadores. Los números de los procesos corresponden a los del diagrama de flujo.

Proceso	Personal	tiempo aprox. (Horas)
1	Almacenista	0.25
2	Montador y Ayudante	0.25
3	Montador y ayudante	0.50
4	Jefe del taller	1.0
5	Montador y Ayudante	1.5
6	Montador y Ayudante	0.5
7	Montador y Ayudante	0.5
8	Montador y Ayudante	0.5
9	Montador y Ayudante	0.5
10	Armador y Ayudante	0.5
11	Montador y Ayudante	1.0
12	Armador y Ayudante	1.0
13	Embobinador y ayudante	10.0

Proceso	Personal	Tiempo aprox. (Horas)
14	Armador y Ayudante	10.0
15	Armador y Ayudante	2.5
16	Armador y Ayudante	4.0
17	Montador y Ayudante	0.5
18	Montador y Ayudante	0.5
19	Jefe de taller y Montador	2.5
20	Montador y Ayudante	0.5
21	Jefe del taller y Montador	0.25
22	Jefe del taller y Montador	4.0
23	Montador y Ayudante	0.25
24	Montador y Ayudante	1.0
25	Montador y Ayudante	1.0
Total del tiempo teórico		45.0

El tiempo teórico en que un transformador estará terminado es de 45.0 hrs, cabe observar que dicho tiempo se reduce - en la práctica debido a que hay procesos que se pueden realizar simultáneamente. Obteniendo, en base a lo anterior, que un - transformador estará concluido en 4 días, aproximadamente.

## VIII.- ANALISIS ECONOMICO DEL TALLER

El análisis económico del taller lo hemos dividido en tres secciones:

- 1.- Costos de operación anual
- 2.- Monto de recuperación anual
- 3.- Utilidad anual

## VIII.1.- Costos de operación anual

## VIII.1.1.- Costo de mano de obra.

Como se dijo en el capítulo VII, tendremos un jefe de taller y un almacenista para todo el taller, además, para el mantenimiento de transformadores y motores se contará con un personal independiente. Para la determinación del sueldo diario de todo el personal, se ha tomado en cuenta que superen el sueldo mínimo que impera en el estado de Baja California Norte.

## ANALISIS ECONOMICO DEL TALLER

a) Personal común del taller			Costo total	
Personal	sueldo/p/d	Cantidad	Diario	Anual
Jefe de taller	N\$ 55.00	1	N\$ 55.00	N\$ 20,075.00
Almacenista	N\$ 35.00	1	N\$ 35.00	N\$ 12,775.00
b) Personal del mantenimiento de transformadores.				
Embobinador	N\$ 45.00	4	N\$ 100.00	N\$ 65,700.00
Armador	N\$ 40.00	1	N\$ 40.00	N\$ 14,600.00
Montador	N\$ 40.00	1	N\$ 40.00	N\$ 14,600.00
Ayudante	N\$ 25.00	6	N\$ 150.00	N\$ 54,750.00
c) Personal del mantenimiento de motores				
Embobinador	N\$ 45.00	4	N\$ 180.00	N\$ 65,700.00
Armador	N\$ 40.00	2	N\$ 80.00	N\$ 29,200.00
Ayudante	N\$ 25.00	2	N\$ 50.00	N\$ 18,250.00
Total General :		22	N\$ 810.00	N\$ 295,650.00

### VIII.1.2.- Costo de Refacciones y Materiales

Estos costos están basados en las unidades a las que se le darán mantenimiento durante un año, las cuales según las estadísticas de la - S.A.R.H., son aproximadamente 72 transformadores y 42 motores.

Para el caso de los materiales, por ejemplo en el alambre magneto, se han considerado todos los calibres a utilizar y el costo unitario está basado en el valor promedio de todos ellos, así mismo se ha utilizado un promedio de los kilogramos a utilizar por cada tipo de unidad. Criterios similares se han empleado para el resto de los materiales.

Para el caso de las refacciones, según las estadísticas de la - S.A.R.H., se reemplazan aproximadamente el 93.5% de las boquillas de alta tensión, el 15.6% de las válvulas, el 9.26% de los cambiadores, en motores el 25% de los cojinetes, etc.

a) Costo aproximado de las refacciones y los materiales para el mantenimiento de 72 transformadores al año.

Materiales	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Importe
Alambre magneto	kg.	24.50	7,480	183,260.00
Papel manila	kg.	20.00	396	7,920.00
Cartón press-board	kg.	98.00	107	10,486.00
Cinta de lino	mts.	.65	16,104	10,467.00
Cinta de vidrio	mts.	.45	269	118.80
Cordel de algodón	mts.	1.20	59 900	11,880.00
Espaguetti de vinilo	mts.	1.45	123	178.35
Barniz claro	lts.	16.00	198	3,168.00
Barniz rosa	lts.	19.00	44	836.00
Soldadura	kg.	12.00	36	432.00
Neopreno	m <sup>2</sup>	17.00	120	2,040.00
Boquillas de A.T.	Pz.	90.00	202	18,180.00
Boquillas de B.T.	Pz.	55.00	151	8,305.00
Válvulas de globo (1" de ø)	Pz.	35.00	21	735.00
Cambiadores de derivación	Pz.	585.00	20	11,700.00
Aceite dieléctrico	lts.	4.00	29 000	116,000.00
Papel filtro	kg.	13.00	60	780.00
Pintura	lts.	18.00	72	1,296.00
Solvente, lija, papel metal, estopa, etc.	Lote			2,500.00
Costo Total				390,282.75

b) Costo aproximado de refacciones y los materiales para el mantenimiento de 42 motores al año.

Material	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Importe
Alambre magneto	kg	24.50	300	7,350.00
Cable termoplástico	mts.	16.00	90	1,440.00
Papel manila	kg.	20.00	45	900.00
Corde1 de algodón	mts.	.20	108	21.60
Cuña de madera	mts.	2.00	540	1,080.00
Barniz rojo	lts.	19.00	40	760.00
Cojinete superior	pza.	5.00	25	125.00
Cojinete inferior	pza.	5.00	25	125.00
Solvente, lija p/metal, estopa, cepillo alambre	Lote			2,500.00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>14,301.60</b>

### VIII.1.3.- Costo de energía eléctrica.

El costo de energía eléctrica en un año, es muy difícil evaluarlo en forma exacta, por lo que trataremos de determinar un costo aproximado.

El criterio utilizado está en base al tiempo de operación de cada equipo eléctrico al día, y a su vez durante los días hábiles del año en ejercicio.

A continuación se muestra una tabla con las áreas de trabajo, su cantidad de KWH al año, su costo por KWH según la tarifa de servicio general en baja tensión y su costo total anual.

## VIII.1.3.- Costo de energía eléctrica

Area	Cantidad de KWH	Costo por KWH	
Transformadores	16 710	N\$ 0.12819	N\$ 2,142.05
Motores	10 590		1,357.53
Laboratorio	6 300		807.39
Almacén y oficinas	4 230		542.24
TOTAL	37 830 KWH		N\$ 4,849.41

## VIII.1.4.- Gastos diversos

La cantidad asignada para estos gastos es de

N\$ 3,000.00.

## VIII.1.5.- Costo de Terreno y Obra Civil.

El terreno estará ubicado en el ejido Lázaro Cárdenas, en el valle de Mexicali, puesto que su posición geográfica respecto al valle es favorable para la pronta movilización de las unidades averiadas de la zona de operación en el campo al taller.

La superficie necesaria a utilizar es de 1000 metros cuadrados, y el precio por metro cuadrado es de \$ 310.00, por lo tanto, el costo del terreno será de N\$ 310,000.00

La obra civil estará dividida en 3 áreas, en donde indicarán las zonas del taller con su superficie correspondiente y los materiales de que está construida.

$$\text{Area 1} = 353.5 \text{ m}^2 = (7.5 \times 14) + (28.5 \times 7) + (7 \times 7)$$

Corresponde a:

Area de mantenimiento de motores y transformadores, almacén de material y herramienta, oficina y sanitarios.

El material empleado será:

Estructura de fierro, muros de ladrillo, piso de concreto, techo de lámina de asbesto-cemento (altura de 3.80 mts), plafón de hojas de polietileno de 1" de espesor (altura de 3.50 mts.).

El costo del metro cuadrado construido es aproximadamente de 750.00, por lo tanto, el costo del área 1 es de N\$ 265,125.00.

$$\begin{aligned} \text{Area 2} &= 150.5 \text{ m}^2 = (21.5 \times 7) \\ &= \text{N\$ } 101,587.50 \end{aligned}$$

Corresponde a:

Areas de ensamble y desensamble de motores y transformadores, laboratorio, almacenes temporales de entrada y salida.

El material empleado será:

Estructura de fierro, muros de lámina de hojalata, techo de lámina de asbesto-cemento (altura de 5.30 mts.), plafón de hojas de poliestireno de 1" de espesor (altura de 5 mts.), muros exteriores de ladrillo.

El costo del metro cuadrado construido es aproximadamente de N\$ 675.00, por lo que el costo del área 2 es de N\$ 101,587.50.

$$\begin{aligned} \text{Area 3} &= (1.5 \times 2) + (1.5 \times 2) = 6 \text{ m}^2 \\ &= 6 \text{ m}^2 \times \text{N\$ } 300.00 \\ &= \text{N\$ } 1,800.00 \end{aligned}$$

Corresponde a:

Area de hornos eléctricos de motores y transformadores.

El material empleado será:

Ladrillo refractario, puertas de metal.

El costo del metro cuadrado construido es aproximadamente de N\$ 300.00, por lo tanto el costo del Area 3 es de N\$ 1,800.00

Haciendo un resumen de los costos de las áreas nos queda:

Area 1 = N\$ 265,125.00

Area 2 = N\$ 101,587.50

Area 3 = N\$ 1,800.00

N\$ 368,512.50

Costo obra civil

N\$ 310,000.00

Terreno

N\$ 678,512.50

Costo del terreno  
y obra civil

Considerando un financiamiento a 10 años con una tasa de interés de 25% anual.

Año	Intereses	Amortización	Pago anual	Saldo insoluto
0				678 512.50
1	169 628.12	67 851.25	237 479.37	610 661.25
2	152 665.31	67 851.25	220 516.56	542 810.00
3	135 702.50	67 851.25	203 553.75	474 958.75
4	118 739.68	67 851.25	186 590.93	407 107.50
5	101 776.87	67 851.25	169 628.12	339 256.25
6	84 814.06	67 851.25	152 665.31	271 405.00
7	67 851.25	67 851.25	135 702.50	203 553.75
8	50 888.43	67 851.25	118 739.68	135 702.50
9	33 925.62	67 851.25	101 776.87	67 851.25
10	16 962.81	67 851.25	84 814.06	- ----
Pago Anual Promedio			N\$ 161 146.71	

VIII.1.6.- Costos del equipo y herramientas del área transformadores, motores y laboratorio.

Además del costo del equipo y herramienta se indica la cantidad necesaria y el número del proceso del diagrama de flujo en que se utiliza.

a) Transformadores

Proceso	Equipo y herramienta	Cantidad	Importe
1, 2	Grúa viajera de 2 ton.	1	N\$ 18 000.00
9, 10	Cable de acero, 3/4" $\phi$ x 3 m	1	990.00
17, 23	con gancho en los extremos		
3, 5	Juego de llaves españolas	1	332.60
6, 8	Juego de llaves de caja	1	950.00
10, 15	Juego de llaves de estrías	1	435.00
16, 17	Juego de desarmadores	1	54.50
18	Llave tipo perico # 15	1	245.00
	Plataforma móvil de 1 x 1 m <sup>2</sup> utilizada durante todo el proceso	8	15 840.00
5, 10	Martillo grande	1	110.00
15, 12			
9	Barros de madera 4" x 4" y 1.20 m. de long.	2	80.00
10	Trozador de alambre y solera	1	833.00
	Espátula de acero	1	18.00
	Pinzas	1	51.00
12	Cinzel de 3/4" de ancho	1	49.00
	Lima plana de 1" de ancho	1	80.00

Proceso	Equipo y herramienta	Cantidad	Importe
11, 12	Motocompresor de 1/3 HP	1	N\$ 1 663.00
	Manguera para aire (5 m)	1	39.00
	Pistola aerosol	1	380.00
	Brochas de 2" de ancho	2	18.00
13, 16	Guillotina	1	1 382.00
	Flexómetro	4	293.00
	Pinzas de punta	5	400.00
	Pincas de electricista	5	450.00
	Tijeras	5	217.00
	Martillos de pasta	4	190.00
	Espátulas de plástico	3	54.00
	Cuchillas	5	80.00
	Cautín de 350 W	5	1 237.00
	Marro de mano	1	110.00
	Brocha de 2" de ancho	8	75.00
	Sierra circular eléctrica	1	521.00
	Sierra de segueta eléctrica	1	552.00
	Esmeril doble eléctrico	1	1 382.00
	Taladro manual eléctrico	1	360.00
	Prensa	1	122.00
	Máquina embobinadora	4	11 088.00
	Soporte para carretes	4	1 584.00
Recipiente para el barniz	8	47.00	
Moldes de las bobinas	36	28 511.00	
5, 16	Equipo de autógena	1	6 138.00
14	Horno eléctrico de 7.5 KW	1	2 160.00
COSTO TOTAL			N\$ 97 121.10

## b) Motores

Proceso	Equipo y herramienta	Cantidad	Importe
1, 2, 4, 9 16, 17, 18 20	Grúa móvil de 2 ton.	1	Se utiliza tanto en motores como en transformadores, - por tanto su precio ya está en transf.
	Juego de llaves españolas	1	N\$ 332.70
3, 4	Juego de llaves de caja	1	950.40
6, 17	Juego de llaves de estrías	1	435.60
	Juego de desarmadores	1	54.00
	Llave tipo perico # 15	1	245.60
	Llave tipo stillson # 24	1	350.50
	Martillo	1	110.50
6	Punzón largo	1	45.60
	Extractor	1	443.60
	Motocompresor de 1/3 HP	1	1 663.20
7, 10	Manguera para aire (5 m)	1	36.00
15, 9	Pistola aerosol	1	380.20
	Brochas de 2" de ancho	2	19.00
	Trozador de alambre y solera	1	833.40
9	Pinzas de electricista	1	110.90
	Arco y seguetas	1	93.10
Utilizadas en todo el proceso	Mesas móviles de trabajo de 1 m x 1 m.	4	15 840.00

Proceso	Equipo y herramienta	Cantidad	Importe
	Cepillo de alambre	1	N\$ 32.00
10	Lija para metal	1	6.00
	Horno eléctrico 7.5 KW	1	2 160.00
16	Plataformas móviles 1 x 1 m.	2	3 960.00
	Cautines	4	990.00
	Pinzas de electricista	4	443.50
	Pinzas de punta	4	452.90
	Navajas "0" cuchillas	4	56.90
11, 12	Martillos de pasta	4	190.00
13	Compactadores	4	165.60
	Guillotina	1	1 252.80
	Embobinadora (máquina)	1	1 980.00
	Flexómetro	1	73.00
	Soporte para carretes	1	396.00
	Lámpara de prueba	1	53.30
14	Bobina de prueba	1	345.60
	Brújula	1	54.00
	Batería	1	28.80
	<b>COSTO TOTAL</b>		<b>N\$ 34 584.70</b>

## c) Laboratorio

Nota: Para determinar los números del proceso, favor referirse al capítulo III.4

Proceso	Equipo y herramienta	Cantidad	Importe
1	Megger de 1000 V	1	N\$ 50 000.00
2	Puente de Wheatstone	1	60 000.00
3	Equipo de TTR	1	42 000.00
4	Motor trifásico de inducción de 1/4 HP	1	777.60
	Variacc. 0-4440 3 φ	1	900.00
	Mesa móvil de 1 x 0.75 m.	1	500.00
	Transformador de potencial (1:1000)	1	6 480.00
	Accesorios y conexiones	1	1 000.00
	Multímetro	2	2 448.00
5	Probador de rigidez dieléctrica	1	120 000.00
5.1	Filtro-prensa, con bomba de 3 HP	1	110 000.00
	Mangueras de conexión	2	150.00
	Bomba de vacío (3 φ, 220) 1 HP	1	7 776.00
6	Botella de nitrógeno con regulador de presión, manómetro y mangueras	1	1 548.00
	Prueba de tacómetro	1	432.00
	Motores, multímetro	1	1 224.00
	<b>COSTO TOTAL</b>		<b>N\$ 405 235.60</b>

### Depreciación de los equipos y herramientas.

La depreciación anual que sufren todos los equipos y herramientas es debido a su uso en el trabajo principalmente, teniendo un valor de salvamento del 10% del valor inicial y una vida útil estimada de 10 años:

La expresión que se utiliza para calcular la depreciación es la siguiente:

$$D = \frac{Vp - Vs}{N}$$

Donde:

D = Depreciación

Vp = Valor presente

Vs = Valor de salvamento

N = Número de años de vida útil.

Este cálculo será hecho para el equipo y herramientas de: Motores, transformadores y laboratorio.

Los costos presentes fueron: Transformadores

Transformadores = N\$ 90,004.43

Motores = N\$ 34,584.70

Laboratorio = N\$ 405,235.00

Sustituyendo los valores en la expresión, tenemos:

$$\text{Depreciación de transformadores} = \frac{90,004.43 - 9000.44}{10} = 8\ 100.39$$

Depreciación de =  $\frac{34\ 584.70 - 3\ 458.47}{10}$  = N\$ 3 112.62  
 motores

Depreciación del =  $\frac{405\ 235.60 - 40\ 523.56}{10}$  = N\$ 36 471.20  
 laboratorio

#### VIII.1.7.- Costo de la instalación eléctrica.

El costo de la instalación eléctrica está dividido en tres secciones: Alumbrado, contactos y hornos y circuitos de fuerza del laboratorio.

#### Alumbrado

Material	Unidad	Cantidad	costo unitario	Importe
Cable # 12 a.n.g.	mts.	1 800	N\$ 1.15	N\$ 2 070.00
Lámpara fluorescente 2.40 m., 2.15 W	pza.	102	67.00	6 834.00
Luminaria para dos lámparas	pza.	51	121.50	6 196.50
Balasta para 2 x 215 W	pza.	51	48.00	2 448.00
Tubería conduit 32 mm ø	mts.	180	6.00	1 080.00
Caja de conexión	pza.	38	2.00	76.00
Interruptores 2 polos 220 v, 30 a	pza	16	7.50	120.00
Interruptores termo- magnéticos, 220 v, 1 ø 30 A, 2 polos		16	75.00	1 200.00

COSTO TOTAL

N\$ 17 548.50

## Contactos y Hornos

Material	Unidad	Cantidad	costo unitario	Importe
Contactos 127 V, 25 A	pza.	54	N\$ 8.00	N\$ 432.00
Tubería conduit 63 mm $\phi$	mts.	15	49.00	735.00
Tubería conduit 51 mm $\phi$	mts.	34	23.00	782.00
Tubería conduit 36 mm $\phi$	mts.	84	17.00	1 428.00
Alambre # 6 A.W.G.	mts.	510	6.00	3 060.00
Alambre # 4 A.W.G.	mts.	510	9.00	4 390.00
Caja de conexión	pza.	30	3.00	90.00
Interruptores, termo- magnéticos 127 V 30 A, 1 $\phi$	pza.	16	35.00	560.00
COSTO TOTAL				N\$ 11 677.00

## Circuito de fuerza del laboratorio

Material	Unidad	Cantidad	costo unitario	Importe
Transformador 3 $\phi$ , 150 KVA, 220 V - 440 V	pza.	1	25 000.00	25,000.00
Cable # 12	mts.	30	1.20	36.00
Cable # 4/0	mts.	17	18.00	306.00
Tubo conduit 13 mm $\phi$	mts.	6	3.25	19.50
Tubo conduit 63 mm $\phi$	mts.	6	43.00	258.00
Interruptor termomag- nético 440 V, 3 $\phi$ 200 A,	pza.	1	355.00	355.00
Interruptor termomag- nético 220 V, 3 $\phi$ 30 A	pza.	2	187.50	375.00
Interruptor de palanca con cartucho fusible de 220 V, 1 $\phi$ 60 A	pza.	3	107.00	321.00
Interruptor de palanca con cartucho de 125 V 1 $\phi$ 20 A	pza.	3	27.00	81.00
Interruptor de palanca con cartucho fusible 125 V 1 $\phi$ 60 A	pza.	6	107.00	642.00

Material	Unidad	Cantidad	costo unitario	Importe
Interruptor de palanca con cartucho fusible de 220 V 3 $\phi$ 30 A	pza.	2	35.00	70.00
Interruptor de palanca con cartucho fusible de 220 V, 3 $\phi$ , 400 A	pza.	1	504.55	504.55
Interruptor de palanca con cartucho fusible de 220 V, 3 $\phi$ , 600 A	pza.	1	5 526.00	5 526.00.
Gabinete para interruptores termomagnéticos				
8 locales	pza	3	70.70	212.10
2 locales	pza	7	21.50	150.50
1 local	pza.	5	18.75	93.75
COSTO TOTAL				N\$ 33 950.40

El costo total de la instalación eléctrica e iluminación, será la suma de los tres totales anteriores:

$$\text{Costo total} = 17\,548.50 + 11\,677 + 33\,950.40$$

$$\text{Costo total} = 63\,175.9$$

Considerando que recibiremos un financiamiento a 10 años con el 25% de interés anual:

Año	Intereses	Amortización	Pago anual	Saldo insoluto
0				63 175.90
1	15 793.97	6 317.59	22 111.56	56 858.31
2	14 214.57	6 317.59	20 532.16	50 540.72
3	12 635.18	6 317.59	18 952.77	44 223.13
4	11 055.78	6 317.59	17 373.37	37 905.54
5	9 476.38	6 317.59	15 793.97	31 587.95
6	7 896.98	6 317.59	14 214.57	25 270.36
7	6 317.59	6 317.59	12 635.18	18 952.77
8	4 731.44	6 317.59	11 049.63	12 635.18
9	3 158.79	6 317.59	9 476.38	6 317.59
10	1 579.39	6 317.59	7 896.98	0

Pago anual promedio: N\$ 15,003.65. .

## VIII.1.8 Resumen de los costos de operación anual del taller.

Los costos de operación anual del taller es un resumen de todos los costos que se involucran para que opere el taller durante un año. A continuación se muestra dicho resumen.

1.- Mano de obra	N\$ 295 650.00
2.- Refacciones y materiales de:	
Transformadores	390 282.75
Motores	14 301.60
3.- Energía eléctrica del taller	4 849.41
4.- Gastos diversos	3 000.00
Inversiones:	
5.- Terreno y obra civil	678 512.50
6.- Equipo y herramienta de:	
Transformadores	97 121.10
Motores	34 584.70
Laboratorio	405 235.60
7.- Instalación eléctrica	63 175.90
	<hr/>
COSTO DE OPERACION ANUAL	N\$ 1,986,713.56

Una vez conocidos los valores de porcentaje, se procederá a calcular el costo de cada servicio.

Transformador nuevo = N\$ 25 000.00

Transformador reconstruido = 0.7 transformador nuevo

= (0.7) (25 000.00)

= N\$ 17 500.00

Transformador reparado = 0.4 transformador nuevo

= (0.4) (25 000.00)

= N\$ 10 000.00

Motor nuevo = N\$ 45 000.00

Motor reconstruido = 0.6 motor nuevo

= (0.6) (45 000.00)

= N\$ 27,000.00

Motor reparado = 0.3 motor nuevo

= (0.3) (45 000.00)

= N\$ 13,500.00

Ahora, con los valores de los costos de servicios, se calcularán los costos de las unidades de motores y transformadores que se le darán mantenimiento durante un año en base a los resultados del estudio de mercado.

Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Transformador reconstruido	44	N\$ 17 500.00	N\$ 770,000.00
Transformador reparado	28	N\$ 10 000.00	N\$ 280,000.00
Motor reconstruido	30	N\$ 27 000.00	N\$ 810,000.00
Motor reparado	12	N\$ 13 500.00	N\$ 162,000.00
COSTO TOTAL ANUAL			N\$ 2,022 000.00

### VIII.3.- Utilidad Anual

La utilidad anual es la diferencia entre el monto de recuperación anual y los costos de operación anual. En seguida se muestra este cálculo.

Utilidad Anual = Monto de recuperación anual - Costo de operación anual

Utilidad Anual = 2 022 000.00 - 1 986 713.56

Utilidad Anual = N\$ 35,285.44

La utilidad anual sería el 1.77% de los costos de operación anual.

## IX.- APRENDICE DE PRUEBAS

En este Apéndice se describen los otros métodos que existen para realizar las pruebas básicas de los transformadores; también se tratan las pruebas complementarias de transformadores y motores, las cuales algunas de ellas son exclusivas para realizarse en la fábrica y necesitan de un equipo especial, pero que se podrían hacer en el taller cuando este se encuentre en expansión y de esta forma mejorar la calidad de su servicio.

## IX.1.- Apéndice de pruebas de transformadores.

## IX.1.1.- Medición de la resistencia óhmica

## Método de la caída de potencial

Este método generalmente es más conveniente que el del puente, para mediciones hechas en el campo. Tendrá únicamente la limitación de que solo podrá emplearse cuando la corriente nominal del embobinado del transformador es de 1 ampere o más.

El equipo empleado para esta prueba es: Una fuente de C. Directa, un Amperometro, un Voltmetro. El diagrama de conexiones se muestra en la figura 68.

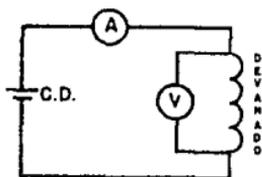


Figura 68

Donde la resistencia del emobinado se calculará por medio de la ley de Ohm:  $R = \frac{V}{A}$

Con objeto de disminuir los errores de observación a un mínimo, los instrumentos de medición deben ser de escala tal que las lecturas se obtengan en el 2o tercio. El voltmetro debe conectarse directamente a las terminales del devanado a medir, esto es con el propósito de no incluir en la lectura las resistencias de las líneas de corriente y sus resistencias de contacto.

Es conveniente realizar cuando menos unas cuatro mediciones de tensión y corriente; el promedio del cociente debe tomarse como la resistencia del devanado.

Para proteger al voltmetro de sobretensiones se debe desconectar del circuito antes de conectar o desconectar la corriente.

## IX.1.2.- Relación de transformación.

## IX.1.2.1.- Método del voltmetro.

El diagrama de conexiones de este método es el de la -  
figura 69.

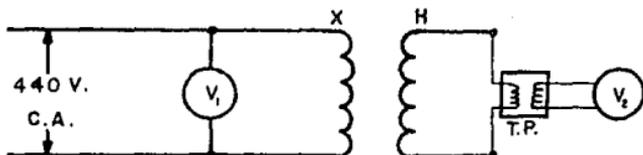


Figura 69

En esta prueba se utilizan dos voltmetros, uno en alta tensión con ayuda de un transformador de potencial y el otro en baja tensión. Ambos voltmetros deben leerse simultáneamente.

Para compensar los errores de los instrumentos, se debe tomar una segunda serie de lecturas con los voltmetros intercambiados. La relación de transformación será el promedio de las lecturas.

Como medida de precaución del operador se recomienda -desenergizar el transformador en prueba para el intercambio de voltmetros y para cada cambio de posición de los cambiadores de derivación.

### IX.1.2.2.- Método del transformador patrón.

Este método consiste en la comparación del transformador por probar con un transformador de relación de transformación standard.

El transformador en prueba se excitará en paralelo con un transformador standard, de la misma relación de transformación nominal; conectando los secundarios en paralelo, con un voltmetro en la conexión entre dos de las terminales de similar polaridad. Este método es más preciso ya que el voltmetro indicará la diferencia de voltaje.

El esquema de conexiones es el de la figura 70

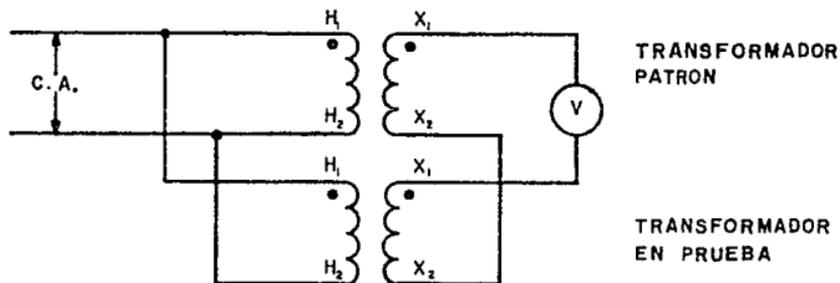


Figura 70

## IX.1.2.3.- Método de la resistencia variable.

Con una resistencia variable teniendo un rango adecuado y graduado de preferencia en porcentaje a su valor total, - puede ser determinada la relación de transformación utilizando el diagrama de conexiones mostrado en la figura 71.

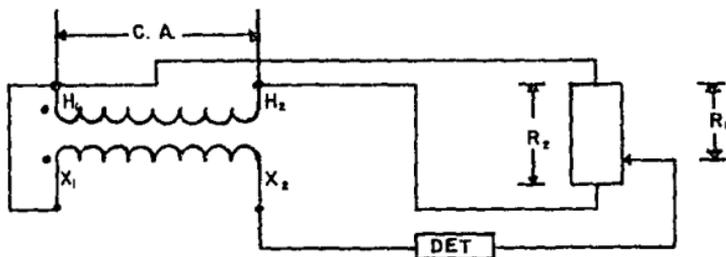


Figura 71

El contacto móvil se desliza a lo largo de la resistencia variable, hasta que el detector (DET) o galvanómetro indique cero. Entonces la relación de las resistencias del reostato,  $R_2/R_1$ , es igual a la relación de transformación.

## IX.1.3.- Prueba de polaridad.

## IX.1.3.1.- Método de la tensión alterna

Se cortocircuitan dos terminales adyacentes de alta - y baja tensión y en las otras dos terminales adyacentes se conecta un Voltmetro (V2) entre ellas, como se indica en la figura 72.

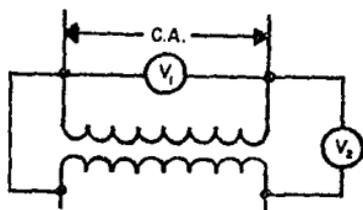


Figura .22

Además se conectará un voltmetro ( $V_1$ ) en el lado de alta tensión en donde se aplicará una tensión de C. Alterna y se tomarán las lecturas de los voltmetros.

Si el voltaje  $V_2$ , es menor que el voltaje de alimentación  $V_1$ , se tendrá una polaridad substractiva.

Si el voltaje  $V_2$  es mayor que  $V_1$  la polaridad será aditiva.

- Como en nuestro caso se tratan de transformadores trifásicos, se determina la polaridad de cada fase como se ha descrito para transformadores monofásicos.

#### IX.1.3.2.- Método del transformador Patrón.

Por comparación con un transformador patrón se puede conocer la polaridad de un transformador bajo prueba, de manera similar a la prueba de relación de transformación por el método del transformador patrón, cuyo diagrama se reproduce a continúg

ción en la figura 73

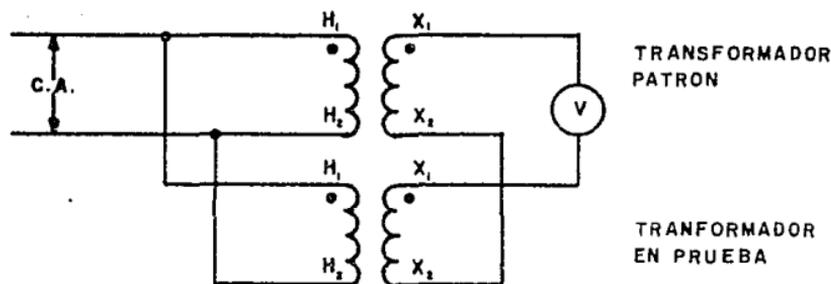


Figura 73

Si las polaridades de ambos transformadores son iguales, el voltmetro indicará la diferencia de las dos tensiones secundarias; si las polaridades son diferentes, el voltmetro indicará la suma de las mismas. Un valor en el voltmetro de cero o muy reducido indicará que las polaridades son iguales.

#### IX.i.3.3.- Método de la descarga inductiva.

Se hará circular corriente directa a través del bobinado de alta tensión conectando en sus terminales de salida un voltmetro, de manera que se tenga una deflexión positiva en la aguja del aparato.

Posteriormente se transferirán las terminales del voltmetro al lado de baja tensión, sin desconectar la fuente de C.-

D., teniendo cuidado de conservar a la izquierda la terminal - que estaba en esta posición en alta tensión y a la derecha - igualmente.

Se desconecta rápidamente la fuente de C.D., del devanado de alta tensión y se observa la deflexión del voltmetro - causada por la carga inductiva.

Si la aguja se deflexiona en la misma dirección que en el devanado de alta tensión la polaridad es aditiva, si gira en sentido contrario la polaridad es substractiva.

#### IX.1.4.- Pérdidas magnéticas y corriente de excitación.

Esta prueba es útil para determinar la calidad de los materiales y la mano de obra utilizada en el núcleo del transformador. Esto se puede observar ya que valores altos de pérdidas y de corriente de excitación puede significar que el aislamiento se encuentre dañado o mal ensamblada la laminación.

Las pérdidas magnéticas o de excitación consisten en - las pérdidas en el núcleo originadas principalmente por el efecto de histéresis que está en función de la densidad de flujo máximo la cual depende de la magnitud, frecuencia y forma de onda del voltaje de alimentación.

Recordando el circuito equivalente de un transformador,

mostrado a continuación en la figura 74.

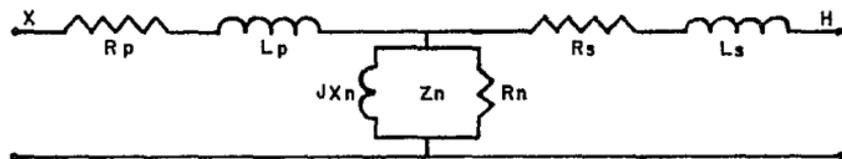


Figura 74

Donde observamos que alimentando por B.T. necesitamos dejar en "vacío" (abierto) el lado de A.T. para trabajar con el núcleo.

El procedimiento para realizar ésta prueba es:

- Alimentar por baja tensión permaneciendo el transformador en vacío.
- Se ajustará la tensión aplicada al transformador hasta igualarla a la nominal de placa.
- La frecuencia utilizada deberá ser la de placa.
- Se empleará un voltmetro promedio ( $V_p$ ) para medir el voltaje.
- Para ajustar el voltaje se hará uso de un regulador de inducción. Si el promedio de la tensión se ajusta para que sea igual al de una onda senoidal del voltaje deseado, y se mantiene en su propio valor, la medición será correcta.
- El diagrama de conexiones es el de la figura 75.

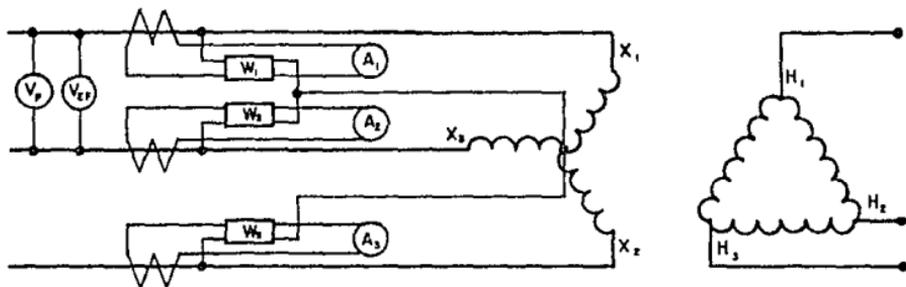


Figura 75

El vóltmetro promedio es un aparato del tipo de D'Arsonval con un rectificador de onda completa y calibrado para medir en valores equivalentes, valores de un vóltmetro efectivo para la onda senoidal.

Los cálculos a realizar son:  $K_1$ : Cte. T.C.

$P_{magnéticas} = (W_1 + W_2 + W_3) K_1 \cdot K_2$   $K_2$ : Cte. W

$I_{excitación} = \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \cdot K_1}{3}$

Se observará que las pérdidas por fase no son iguales debido a la construcción del núcleo del transformador en forma de columnas donde el flujo, estando éste en vacío, no se distribuye parejo. Si se trata de un banco trifásico, las pérdidas por fase sí serán iguales, pues en este caso los núcleos son independientes.

## IX.1.5.- Pérdidas eléctricas y valor de la impedancia.

Se trata de hacer circular en el primario y en el secundario la corriente nominal. Al contrario de la prueba anterior, el primario en este caso es el de Alta Tensión, y el secundario la Baja Tensión. En base al circuito equivalente del transformador, podemos observar que es necesario cortocircuitar las terminales del secundario (Baja Tensión) y para hacer circular la  $I$  nominal se aplica en A.T. un voltaje de corto circuito,  $V_{cc}$ , aproximadamente entre el 1% y 15% del  $V$  nominal. Como se observa en la fig. 76.

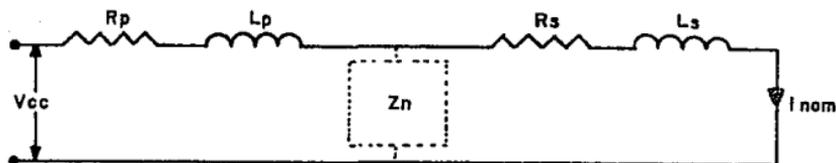


Figura 76

El diagrama de conexiones es el de la figura 77.

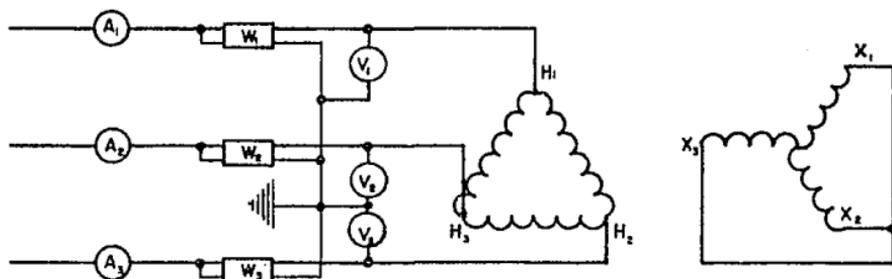


Figura 77

$V_{cc}$  = Voltaje reducido (1% a 15%) V nom.

En donde:

P eléctricas =  $(W1 + W2 + W3)$  Cte. Wattmetro

I nominal  $\doteq A1 \doteq A2 \doteq A3$

$\% Z = \frac{V1 + V2 + V3}{3 V_{nom.}} \times 100$  (% Z: es el % de la caída de voltaje debido a la Imped. del transf.).

P eléctricas =  $I^2 R$  + Pérd. por corrientes parásitas

A continuación se muestra una tabla relacionando ambos elementos:

Corriente (Amperes)

0 - 20	P totales = 1.06 $I^2 R$
21 - 100	P totales = 1.08 $I^2 R$
101 - 500	P totales = 1.10 $I^2 R$
501 - 1000	P totales = 1.15 $I^2 R$
1001 - 2000	P totales = 1.20 $I^2 R$
2001	P totales = 1.25 $I^2 R$

Donde por diferencias, se calculan las Pérd. Parásitas

- Corrección por Temperatura:

Según marcan las Normas ASA se requiere extrapolar el valor de tales pérdidas a 75°C, lo que se efectúa de la siguiente

te forma:

$$\frac{(I^2R)_2}{(I^2R)_1} = \frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + T_{amb.}}$$

y para las pérdidas parásitas:

$$\frac{(\text{Pérd. Parásitas})_2}{(\text{Pérd. Parásitas})_1} = \frac{234.5 + T_{amb.}}{234.5 + 75}$$

Para el porcentaje de Impedancia:

$$\% Z_2^2 = \% Z_1^2 - \% I R_1^2 + \% I R_2^2 \quad \text{donde:}$$

$$\% Z_2 = \text{Porcentaje de impedancia a } 75^\circ$$

$$\% Z_1 = \text{ " " " a } T_{amb.}$$

$$\% R_1^2 = \left( \frac{\text{Watts totales a } T_{amb.} \times 100}{\text{KVA} \times 1000} \right)^2$$

$$\% R_2^2 = \left( \frac{\text{Watts totales a Temp. } 75^\circ \times 100}{\text{KVA} \times 1000} \right)^2$$

$$I = I \text{ nominal}$$

#### IX.1.6.- Eficiencia.

La eficiencia de un transformador ( $\eta$ ) se calcula por medio de las pérdidas de la siguiente manera:

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Entrada}} \times 100 = \frac{P_{\text{sal.}}}{P_{\text{entr.}}} \times 100$$

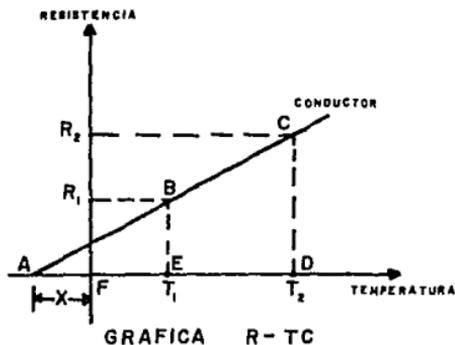
$$\% \eta = \frac{\text{Pentr.} - \text{Pérdidas}}{P_{\text{entr.}}} \times 100$$

$$\% \eta = \left( 1 - \frac{\text{Pérdidas}}{P_{\text{entrada}}} \right) \times 100$$

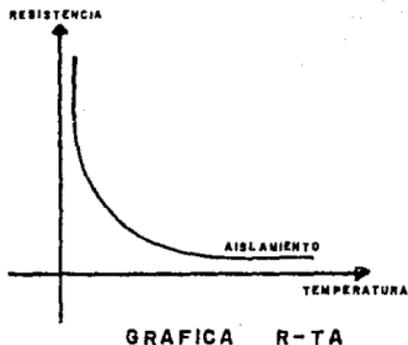
en donde: Pérdidas = Perds. electrcs. a 75° + Pérds. Magnts.

#### IX.1.7.- Prueba de Temperatura.

La finalidad de ésta prueba es determinar la curva de temperatura, para verificar si el transformador bajo prueba está funcionando a su capacidad de diseño. Dicha capacidad está limitada por la temperatura de los aislamientos. Esto se puede ver en las gráficas de Resistencia-Temperatura de un conductor, comparandola con la gráfica de Resistencia-Temperatura de un aislamiento, mostradas en las gráficas 6 y 7.



Gráfica 6



Gráfica 7

De la gráfica R-TC, por triángulos semejantes:

$$\frac{CD}{BE} = \frac{AD}{AE} = \frac{AF + FD}{AF + FE}$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{X + T_2}{X + T_1} \quad \text{De aquí se obtiene } T_2$$

El valor de X es:

X =

234.5°C (Cobre, Cu)

180°C (Hierro, Fe)

236°C (Aluminio, Al)

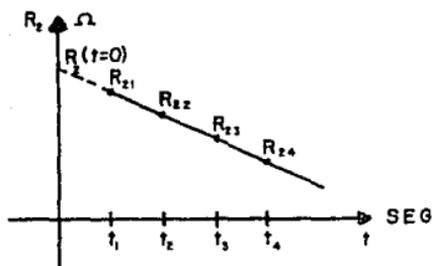
243°C (Plata, Ag)

El procedimiento es el siguiente:

1.- Se miden las resistencias de los embobinados ( $R_1$ ) y la temperatura ambiente ( $T_1$ ) de la máquina antes de funcionar.

2.- Se alimenta el transformador a voltaje y corriente nominales, tomando lecturas de temperatura cada intervalo de tiempo establecido (se han colocado termómetros y termopares en diferentes partes de transformador, los intervalos de tiempo pueden ser de 1/2 o 1 hora)

3.- Cuando la temperatura de las diferentes partes en que se colocaron los termómetros y termopares se halla estabilizado, medimos  $R_2$ . Como para medir  $R_2$  se tiene que parar la máquina, entonces se enfría un poco en el lapso de desalambrar. Entonces con un puente de Wheatstone se mide la resistencia a intervalos de tiempo más o menos regular, estos valores se llevan a una gráfica y se prolonga la línea hasta encontrar  $R_2$  en  $t = 0$  segs. Esto se muestra en la gráfica 8

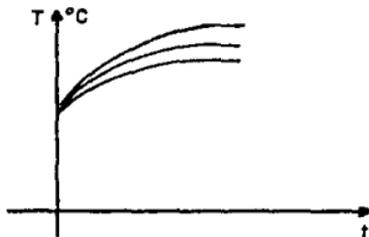


Gráfica 8

4.- Se calcula  $T_2$  por la ecuación establecida al principio:

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (x + T_1) - X$$

Si la elevación de la temperatura al terminar la prueba es mayor que la de placa implica que el transformador está defectuoso y no puede desarrollar su potencia nominal. La forma de la curva temperatura-tiempo será como la de la gráfica 9.



Gráfica 9

### IX.1.8.- Pruebas Dieléctricas:

#### IX.1.8.1.- Tensión Aplicada.

Esta es una prueba de tipo "destrutivo" ya que somete a los aislamientos a esfuerzos muy severos debido al empleo de alta tensión.

Debido a su categoría de prueba destructiva se debe hacer únicamente en la fábrica al 100% del Voltaje de prueba, en control de calidad al 75% del Volt. prueba y si se trata de un transformador semi nuevo se hace el 65% del voltaje de prueba, - si se trata de un transformador viejo no se debe hacer ésta - prueba; esto es debido a que en cada prueba los aislamientos - pueden sufrir envejecimiento.

Esta prueba nos determina el estado de los aislamientos ya que estos pueden contener humedad, partículas metálicas y verificar que el aislamiento entre partes vivas y tierra se encuentre en buenas condiciones.

La prueba de tensión aplicada consiste en aplicar una tensión más o menos alta a los devanados del transformador, para ello se conecta un devanado (en este caso de baja) a tierra y el otro (en este caso de alta) a un dispositivo que produzca la alta tensión. Generalmente entre ellos se conecta en paralelo un voltmetro de esferas o explosores, que consiste en dos esferas conductoras con un entre-hierro calibrado para que salte

un arco al 10% más del voltaje de prueba y sirva de esta forma para proteger al dispositivo a probar de una tensión más alta.

La tensión que se debe aplicar depende de la clase del transformador según lo especifican las normas NEMA, ASA, etc.

Una regla común es:

<u>Tipo o Clase Voltaje</u>	<u>Tensión aplicada Volt. de prueba</u>	<u>T 6 C V</u>	<u>T.A.<sup>o</sup> V prueba</u>
0.6 KV	4 KV	34.5 KV	70 KV
1.2 KV	10 KV	46 KV	95 KV
2.5 "	15 "	69 "	140 "
5 "	19 "	92 "	185 "
8.7 "	26 "	125 "	230 "
15 "	34 "	138 "	275 "
25 "	50 "	161 "	375 "
		230 "	460 "
		290 "	575 "
		345 "	690 "
		500 "	750 "

El diagrama de conexiones es el de la figura 78.

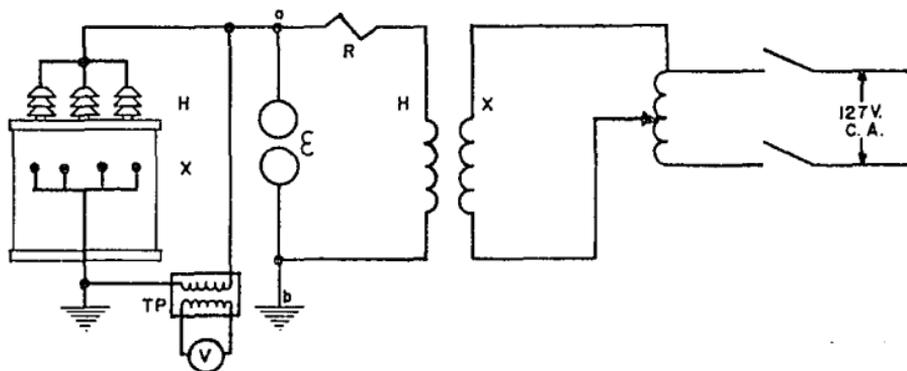


Figura 78

La aplicación de la tensión de prueba, debe iniciarse aplicando un cuarto (o menos) del voltaje total e ir aumentando gradualmente hasta alcanzar el voltaje total de prueba en un lapso no mayor de 15 segundos. Llegando al voltaje total de prueba debe mantenerse un minuto y después reducir paulatinamente la tensión, en un lapso no mayor de 5 segundos, hasta un cuarto (o menos) del valor máximo, antes de abrir el circuito.

La forma como actúan los explosores es la siguiente: - al saltar el arco, circula una corriente en la malla I o sea la formada por el embobinado H, la resistencia R y las esferas; - se origina una caída de potencial en R por lo tanto entre "a" y "b" baja el voltaje y de esta forma se protege el transformador a probar de una tensión más alta.

## IX.1.8.2.- Tensión Inducida

Esta prueba verifica que el aislamiento entre capas se encuentre en buenas condiciones. Para lograr esto se incrementan los Volts por vuelta del transformador, por lo que se debe inducir en los devanados del transformador una tensión del 200% de la tensión nominal de operación.

Generalmente todo transformador está diseñado para trabajar cerca de la zona de saturación y la tensión inducida sigue a la tensión aplicada según la ley de Lenz, por lo tanto se aplica el 200% de la tensión nominal a la frecuencia nominal. - En este caso el transformador se comportaría prácticamente como un conductor en corto circuito lo que haría circular una corriente muy alta y lo llevaría a saturación completa.

Por lo tanto para corregir dicha situación referimos la siguiente expresión para la tensión inducida:

$$E = 4.44 \cdot f \cdot NBA$$

donde,  $f$  = frecuencia                       $B$  = Densidad de flujo  
 $N$  = Número de vueltas                   $A$  = Área del núcleo.

de donde vemos que la tensión inducida solo puede aumentar con la frecuencia, sin saturar el núcleo, por lo tanto "f" debe ser como mínimo el doble de la nominal. Al aumentar la frecuencia aumenta la reactancia inductiva ( $X = \omega L$ ) entonces aumenta la impedancia lo que nos baja la corriente y se evita la saturación.

El diagrama de conexiones es el de la figura 79.

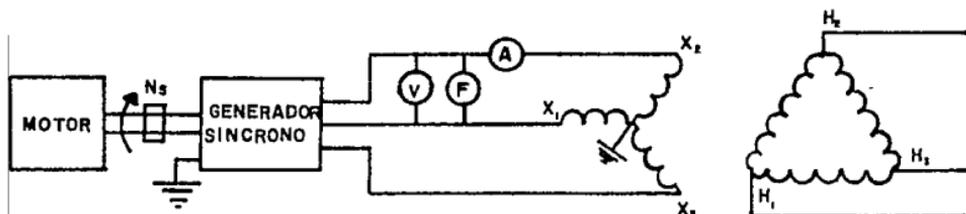


Figura 79

Para variar la frecuencia del generador, nos referimos a la siguiente fórmula:

$$f = \frac{P N_s}{120}$$

P = No de polos

N<sub>s</sub> = revoluciones por minuto R.P.M.

de donde concluimos que aumentando las R.P.M. aumentaremos la frecuencia.

Como el aislamiento entre capas sufre cada vez que la frecuencia cambia, el límite de frecuencia establecido es de 7,200 HZ.

El tiempo de duración de la prueba se determina de la siguiente forma:

$$t = \frac{\text{Límite de la Frecuencia}}{\text{HZ de prueba}} = \frac{7,200}{\text{HZ de Pba.}}$$

Por ejemplo: Si los HZ nominales son 60, los HZ de prueba serán 120 y el tiempo de prueba será:

$$t = \frac{7,200}{120} = 60 \text{ segs.}$$

Debido a que la prueba es bastante rígida, no se recomienda dar toda la tensión de golpe; por ejemplo si el tiempo de prueba son 60 seg., se usarán 15 segs. Para llegar a la tensión nominal, se mantendrá la alimentación 30 segs. y los 15 segs. restantes para disminuir la tensión y desconectar.

A continuación se muestran algunos valores típicos de frecuencias y tiempos de prueba:

HZ Pba.	T pba. (Segs)
120	60
180	40
240	30
360	20
400	18

El humo, en forma de burbujas gaseosas que se desprendan del seno del líquido aislante del transformador es evidencia definitiva de falla.

Las burbujas de gas producidas por el aire atrapado en el aparato pueden o no ser evidencia de falla, si repitiendo la

prueba se vuelven a observar, si existe falla. Cualquier ruido-extraño que se perciba dentro del transformador debe investigarse.

#### IX.1.8.3.- Prueba de Impulso.

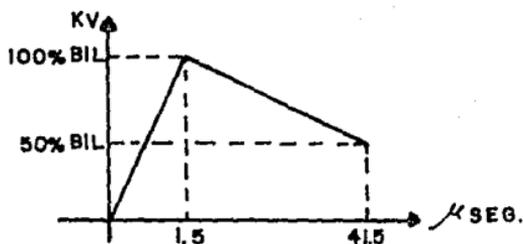
Esta prueba consiste en someter al transformador al efecto de una onda de muy alto voltaje que simule el efecto de una descarga atmosférica.

Si un rayo cae sobre las líneas de transmisión, se originan ondas voltajes viajeras (duran de 50 a 100  $\mu$ seg) que llegaran hasta el transformador y el aislamiento de este debe soportar estas ondas. Aún si el rayo no cae sobre las líneas, pero si muy cerca de estas, también se forman estas ondas viajeras por inducción, solo que de menor voltaje.

Para tal efecto se ha establecido una onda patrón de valor  $1.5 \times 40 \mu$ seg. (lo cual significa que en  $1.5 \mu$ seg. llega a su valor máximo y requiere  $40 \mu$ seg. para decrecer a la mitad de su valor). El valor máximo es el que se conoce como "Nivel Básico de Aislamiento" (B.I.L.).

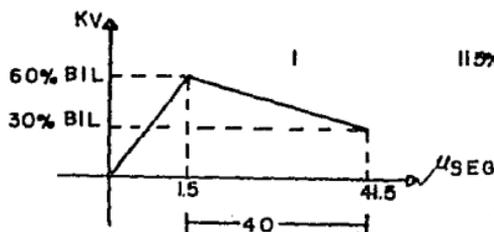
En la gráfica 10 se muestra la forma de onda y el B.I.L. que corresponde según el tipo de transformador:

<u>Tipo 6 clase</u>	<u>B.I.L.</u>	<u>Tipo 6 clase</u>	<u>B.I.L.</u>
23 KV	150 KV	161 KV	700 KV
34.5 KV	200 "	196 "	900 "
46 "	250 "	230 "	1050 "
69 "	350 "	287 "	1300 "
92 "	450 "	345 "	1550 "
115 "	550 "	360 "	1610 "
138 "	650 "		

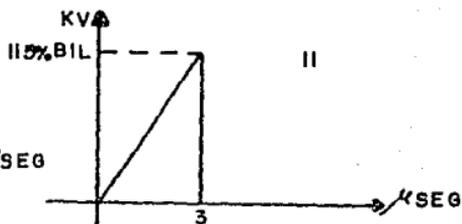


Gráfica 10

En la práctica para la realización de la prueba se aplican 3 tipos de onda detalladas en las gráficas 11 y 12.



Gráfica 11



Gráfica 12

- La onda I es una onda de prueba que se aplica solamente una vez para buscar la forma adecuada y el tiempo.
  
- La onda II es una onda recortada de un 15% más del 100% B.L. L. sirve para simular rayos intensos o sea ondas viajeras de alta tensión. El aislamiento debe resistir la onda durante - 3 seg. y después el voltaje cae súbitamente. Se aplica 2 veces.
  
- La onda III es la onda patrón mostrada anteriormente y se aplica solamente una vez.

## IX.2.- Apéndice de pruebas de motores.

### IX.2.1.- Curvas de saturación en vacío.

Con esta prueba obtendremos el grado de saturación del circuito magnético y además nos proporcionará la forma aproximada las pérdidas que por fricción y ventilación (Pérdidas mecánicas) posee el motor.

El diagrama de conexiones es el de la figura 80.

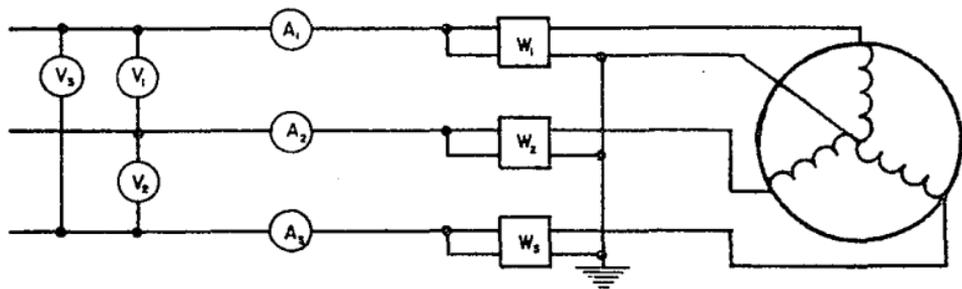
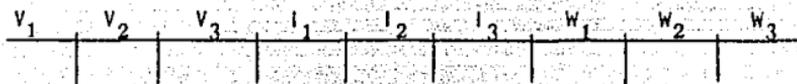


Figura 80

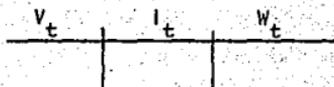
La prueba consiste en hacer correr el motor sin carga, aplicando pequeñas tensiones hasta conseguir que arranque, a este valor de tensión se le denominará "Tensión mínima de arranque". Se continuará aplicando valores escalonados y espaciados lo más uniformemente posible, tomando las lecturas correspondientes: tensión aplicada entre fases, amperes de línea, y potencia consumida; según indica la siguiente tabla.



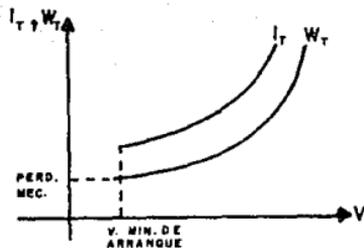
Los valores que se utilizarán para la tensión y corriente serán el promedio de sus tres lecturas, y para el caso de la potencia consumida será la suma de sus lecturas.

$$V_t = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}, \quad I_t = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad W_t = W_1 + W_2 + W_3$$

los cuales serán ordenados en la siguiente tabla.



Con los datos obtenidos, se referirán a ejes coordenados colocando en el eje de las abscisas el voltaje entre fases y en el eje de las ordenadas quedarán la intensidad de corriente y potencia consumida; en forma similar a la gráfica 13.



Gráfica 13

De la curva potencia contra tensión se pueden obtener las pérdidas mecánicas, prolongando la parte baja de la curva hasta donde esta línea corta al eje de las ordenadas.

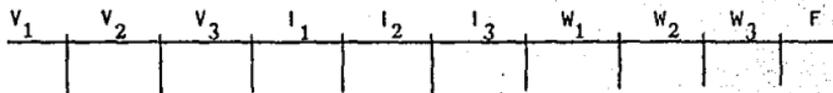
## IX.2.2.- Curva con rotor bloqueado.

El objetivo de esta prueba es el de determinar la intensidad de corriente, el par y el factor de potencia en el arranque, para su realización se utilizará el mismo diagrama de la prueba de saturación en vacío con la diferencia de que el rotor estará bloqueado con una palanca cuyo extremo libre descansará sobre una báscula.

Los devanados se calentarán intensamente en esta prueba debido a que su rotor está frenado; por esto no es recomendable hacerlo a tensión nominal sino a un 40% de su tensión nominal, disminuyendo paulatinamente hasta la mínima. Los valores complementarios hasta el 100% del V nom. se obtendrán por extrapolación cuyas fórmulas son:

Corr. de arranque	Par de arranque	Pot. consumida en el
$I_n = \frac{V_n}{V_1} (I_1)$	$T_n = \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2 (T_1)$	Pot. <sup>arranque</sup> consumida en el
		$W_n = \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2 (W_1)$

Las lecturas que se obtendrán durante la realización de la prueba serán tensión entre fases, corriente de línea, potencia consumida y fuerza; midiendo la longitud del brazo de palanca y la tara de la báscula, como se indica en la siguiente tabla:



Los valores a calcular para su próxima graficación serán:

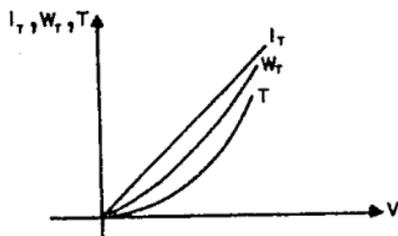
$$V_t = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}, \quad I_t = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad W_t = W_1 + W_2 + W_3$$

$$T = (F - F \text{ tara}) d$$

Los cuales serán ordenados como en la siguiente tabla:



Con los datos obtenidos se referirán a ejes coordenados colocando en las abscisas el voltaje y en el de las ordenadas la corriente, potencia y el par; en forma similar a la gráfica 14.



Gráfica 14

IX.2.3.- Obtención de la curva par-velocidad, par máximo y potencia útil a plena carga.

El diagrama de acoplamiento y conexiones es el de la - figura 81.

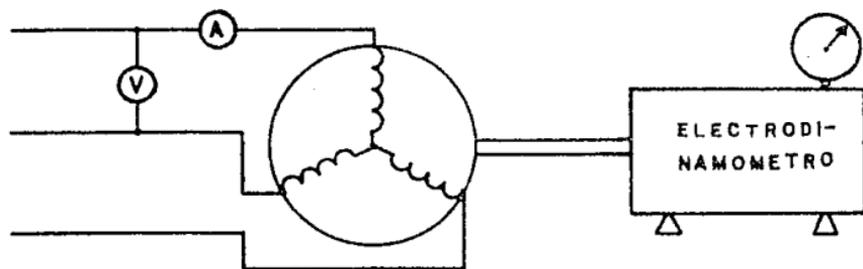


Figura 81

El motor en prueba, acoplado a un electrodinamómetro, - se arranca sin carga a tensión y frecuencia nominal. Se inicia suministrándole carga paulatinamente tomando lecturas de la - fuerza en el electrodinamómetro, las r.p.m. del motor con un ta

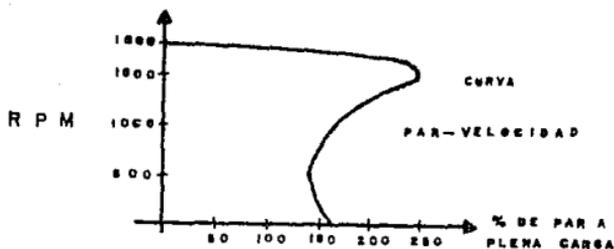
cómetro y la corriente de línea del motor; como se indica en la siguiente tabla:

V	I	F	R.P.M.

Al llegar el incremento de la carga al 100% tendremos la velocidad nominal; con el tacómetro se comprobará, obteniéndose en el ampérmetro la corriente nominal del motor. Este valor de R.P.M. y el de la fuerza son necesarios para el cálculo de la potencia útil que posteriormente se analizará.

En el momento en que el par medido corresponda al 90% del par máximo supuesto, debe incrementarse hasta donde sea posible el número de lecturas hasta que la velocidad decrece súbitamente, correspondiendo la última lectura del par al par máximo.

Habiendo finalizado la prueba se procederá a graficar los datos obtenidos, llegando a una curva similar a la mostrada en la gráfica 15.



Gráfica 15

A continuación se muestra el cálculo de la potencia útil del motor con la siguiente fórmula:

$$P_u = \frac{T_{nom.} \times N_{nom.}}{K}, \quad T_{nom.} = F_{nom.} \times d$$

$T_{nom.}$  = Par a plena carga medido en Kg.-m

$N$  = Velocidad nominal medida en R.P.M.

$K$  = Constante de conversión igual a 4500

$d$  = brazo de palanca del electrodinamómetro

$F$  = Fuerza a plena carga Kg.

$P_u$  = Potencia útil en H.P.

## CONCLUSIONES

- 1.- A través del presente trabajo, quisimos exponer los puntos principales que deben tomarse en cuenta para establecer un taller de mantenimiento de este tipo.
- 2.- Una vez puesto en marcha el taller, será necesario considerar otros factores: reglamento de trabajo, todo lo concerniente en general al personal de la empresa, etc.; Puntos que no se trataron aquí por considerarlos fuera del campo principal a tratar en este trabajo y que trató principalmente alrededor de cuestiones de carácter técnico.
- 3.- Aunque este estudio está encaminado hacia una empresa para-estatal, como lo es S.A.R.H., las utilidades que puede arrojar el taller, como se vió en páginas anteriores, se manifiestan como un ahorro para dicha empresa para-estatal, ya que de lo contrario sería una cantidad más que tendría que pagar en el mantenimiento de sus equipos en otros talleres ajenos a ella, por lo tanto, la instalación y funcionamiento del taller de mantenimiento es económicamente rentable. Lo anterior nos permite suponer que es viable el establecer el taller a nivel particular, si no a toda la capacidad que involucra una inversión fuerte, sí a menor escala con lo que se lograrían utilidades, que sin serlo como en el proyecto original, en una medida que sea atractiva para él o los inversionistas.

- 4.- Como el servicio que prestará el taller es de mantenimiento, es necesario conocer las especificaciones y requerimientos de las unidades a mantener en función de sus capacidades, por lo que adoptamos las normas del N.O.M. (Norma Oficial Mexicana), lo mismo en lo que respecta a las pruebas eléctricas a las que se someterán las unidades. Estas pruebas eléctricas son básicas para determinar si los materiales usados en el mantenimiento son los adecuados y de esta manera garantizar una vida media mayor de la operación de la unidad.
  
- 5.- En base a la experiencia del funcionamiento del taller se determinarán los criterios óptimos para el mantenimiento de las unidades, logrando así el mejoramiento del proceso así como la selección de los materiales utilizados.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Conversión de Energía Electromecánica  
Vembo Gourishankar  
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. 1975.
- 2.- Electrical Machines  
Charles S. Siskind  
International Student Edition. 1972.
- 3.- Diseño de Aparatos Eléctricos.  
John. H. Kuhlman  
Editorial C.E.C.S.A. 1973.
- 4.- Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas  
Leander W. Matsch.  
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. 1974.
- 5.- Reparación de Motores eléctricos  
Robert Rosenberg  
Editorial Gustavo Gili, S.A. 1976.
- 6.- Transformadores eléctricos industriales  
Reparación, diseño y construcción  
Pedro Camarena M.  
Editorial CECSA 1974.

- 7.- Norma para transformadores de distribución (NOM)
- 8.- Métodos de prueba para transformadores de distribución y potencia (NOM).
- 9.- Norma de calidad y funcionamiento para motores eléctricos verticales (NOM).
- 10.- Norma de calidad, funcionamiento y métodos de prueba para motores de inducción de corriente alterna, del tipo rotor en circuito corto o ja la de ardilla (NOM).
- 11.- Instructivos de laboratorio de conversión de Energía Electromecánica I, II y III.  
Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1979.
- 12.- Norma Oficial Mexicana, Diario Oficial 10-Oct-1994.
- 13.- National Electric Code  
Editorial Mc Graw-Hill, 1978.
- 14.- Apuntes de instalaciones eléctricas e iluminación. Ing. González C.
- 15.- Planos y Diagramas de instalaciones eléctricas industriales. Editorial Diana. 1972.
- 16.- Manual de Iluminación. Westinghouse. 1974.