

24: 108

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**MONTAJE DE UNA SUBESTACION RECTIFICADORA
A BASE DE TIRISTORES DE POTENCIA PARA
ALIMENTAR DOS MOTORES C.C. DE 1600 KW
CADA UNO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

ADOLFO REYNOSO CARMONA
CRISOGONO NICOLAS ALVARADO
J. GABRIEL VALDEZ ALBARRAN
SAUL RUBIO ANDRADE



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

C O N T E N I D O

C A P I T U L O I

INTRODUCCION.

- a) .- LOCALIZACION DE LA EMPRESA TUBOS DE ACERO DE MEXICO,
S.A.
- b) .- RECEPCION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.
- c) .- DISTRIBUCION FISICA DEL EQUIPO CONSTITUTIVO DE LA
SUBESTACION RECTIFICADORA.
- d) .- DESCRIPCION DEL DIAGRAMA UNIFILAR.

C A P I T U L O II

INTRODUCCION.

- a) .- TABLERO DE DISTRIBUCION DE 15 KV.
 - a.1) .- Generalidades
 - a.2) .- Sección I

a.3).- Sección II

a.4).- Sección III

b).- TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 3000 KVA.

b.1).- Características.

b.2).- Accesorios.

c).- INTERRUPTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

d).- SUBESTACION UNITARIA AUXILIAR DE C.A.

d.1).- Generalidades.

d.2).- Tablero de distribución de 15 KV.

d.2.1).- Sección I

d.2.2).- Sección II

d.2.3).- Sección III

d.2.4).- Sección IV

d.3).- Transformador de potencia de 1500 KVA.

d.4).- Tablero de 440 Volts.

d.5).- Transformador de 112.5 KVA.

d.6).- Tablero de Alumbrado.

C A P I T U L O I I I

INTRODUCCION.

- a) .- PUNTES RECTIFICADORES CON TIRISTORES.

- b) .- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CONVERTIDORES CON TIRISTORES.

- c) .- CAPACIDADES NOMINALES DE LOS CONVERTIDORES.

- d) .- EL CONVERTIDOR M4CH.
 - d.1) .- Generalidades.
 - d.2) .- Gabinete del Convertidor.
 - d.2.1) .- Gabinete Entrada - Salida.
 - d.2.2) .- Gabinete de los Puentes con Tiristores.
 - d.2.3) .- Gabinete de Regulación y Control.
 - d.2.3.1) .- Regulador Básico
 - d.2.3.2) .- Regulador Variable.

- e) .- FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR TIPO M4CH.
 - e. 1) .- Generador de Pulsos.

- e. 2).- Sincronizador de Disparo.
- e. 3).- Amplificador del Tren de Pulsos.
- e. 4).- Disparador de Tiristores.
- e. 5).- Sensor de Voltaje.
- e. 6).- Sensor de Corriente.
- e. 7).- Controlador de Referencia de Voltaje.
- e. 8).- Generador de Función Rampa.
- e. 9).- Protección de Suministro de Energía y Se-
cuencia.
- e.10).- Tarjeta Atenuadora de Voltaje.
- e.11).- Controlador de Voltaje.

f).- TABLA COMPARATIVA ENTRE EL CONVERTIDOR DE TIRISTORES
Y EL RECTIFICADOR DE MERCURIO.

C A P I T U L O I V

a).- DESCRIPCION DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA DE 1600
KW.

- a.1).- Características Generales.
- a.2).- Ventilación.
- a.3).- Lubricación.
- a.4).- Calefacción

a.5).- Excitación.

a.6).- Tablero de Regulación de Velocidad.

a.6.1).- Sección 1

a.6.2).- Sección 2

b).- TABLERO DE DISTRIBUCION DE 750 V.C.C.

b.1).- Características Generales.

b.2).- Equipo constitutivo del tablero de distribución.

c).- TABLERO PARA EL ARRANQUE DEL MOTOR DE C.C.

c.1).- Características Generales.

c.2).- Equipo constitutivo del tablero de arranque.

d).- CONSOLA DEL OPERADOR.

d.1).- Características Generales y Localización.

d.2).- Equipo constitutivo de la consola de operación.

C A P I T U L O V .

INTRODUCCION.

a) .- SISTEMA ELECTRICO DE FUERZA.

a.1) .- Definición de Sistema Eléctrico de Fuerza.

a.2) .- Descripción del Sistema Eléctrico de Fuerza.

b) .- SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL.

b.1) .- Definición de Sistema Eléctrico de Control.

b.2) .- Diagramas de control.

b.3) .- Operación del Control.

b.4) .- Arranque del convertidor de tiristores.

C A P I T U L O V I .

INTRODUCCION.

a) .- RED DE TIERRAS.

a.1) .- Objetivos.

a.2) .- Investigación de las características del terreno.

- a.3).- Corriente máxima de falla a tierra.
- a.4).- Diseño preliminar de la malla.
- a.5).- Cálculo de la resistencia de la Red.
- a.6).- Cálculo del máximo aumento de Potencial a la Malla.
- a.7).- Cálculo del potencial de paso en la Malla.
- a.8).- Cálculo del número de varillas de Tierra en la Red.
- a.9).- Cálculo de tensiones tolerables.
- a.10).- Comprobación de las condiciones de Seguridad.

b).- SISTEMA DE ALUMBRADO.

- b.1).- Generalidades.
- b.2).- Clasificación de los Sistemas de Alumbrado.
- b.3).- Métodos de Iluminación.
- b.4).- Selección de tipos de Lámparas.
- b.5).- Cálculo de Número de Lámparas.
- b.6).- Análisis de Cargas.
- b.7).- Cálculo de Número de Circuitos.
- b.8).- Cuadro de Cargas.

c).- SISTEMA DE VENTILACION.

- c.1).- Introduccion.
- c.2).- Tipos de instalacion de Ventilacion.

- c.3).- Datos Técnicos.
- c.4).- Cálculo de volumen de Aire.
- c.5).- Proyecto de Ductos.
- c.6).- Selección de Equipo.

CONCLUSIONES.

APENDICE.

BIBLIOGRAFIA.

GENERALIDADES.

En el empleo de la energía eléctrica, ya sea para fines industriales, comerciales o residenciales, tiene una gran importancia la selección adecuada del equipo y su debida interconexión, aspecto que tratará de cubrirse en esta Tesis con el estudio del montaje e instalación de una Subestación Rectificadora con Tiristores para la alimentación de dos motores de 1600 KW., de Corriente Continua.

Por dos razones queremos hacer mención que lo que se expondrá en esta Tesis, se ha basado en la instalación de la Subestación antes mencionada, en la empresa TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A. La primera para hacer patente nuestro agradecimiento a dicha empresa por las facilidades otorgadas para la consecución del pretendido objetivo, y la segunda, para enfatizar la importancia de la ingeniería en la solución de problemas prácticos dentro de la industria, dado que todo el material conjuntado se extrajo directamente del campo de trabajo donde se realizó la obra antes mencionada.

Esta subestación Rectificadora con Tiristores, como su nombre lo indica, convertirá la energía eléctrica en forma de corriente alterna a corriente continua, utilizándose esta última para alimentar dos motores de C.C., cuyo uso

queda fuera del alcance de la presente Tesis. Baste decir que la fuerza mecánica de estos motores, será utilizada para mover los molinos denominados Peregrino y Alargadora, donde se lleva a cabo la parte más importante del proceso de la fabricación de tubos de acero sin costura, característica ésta última, que convierte a TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A., en una de las fábricas de tubos de mayor importancia en nuestro país.

Para mejor comprensión de los temas que se expondrán, se ha adoptado la siguiente secuencia de los distintos capítulos:

Capítulo I.- Comprenderá una breve descripción sobre la localización de la empresa TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A., la ubicación de la subestación en estudio dentro de la empresa, la distribución física de los componentes de esta subestación y su correspondiente diagrama unifilar.

Capítulo II.- Corresponde a este capítulo la descripción de la subestación rectificadora, principalmente en lo que se refiere a todos los elementos que intervienen en el manejo, control y distribución de la corriente alterna, tales como: Tableros de distribución, transformadores, subestación unitaria auxiliar, etc., ya que la etapa de rectificación propiamente dicha, por constituir el tema cen-

tral de la presente Tesis, se aborda de una manera más detallada en el capítulo siguiente.

Se juzga necesario hacer notar que, para los fines que se persiguen, adquiere una gran importancia la descripción del equipo, principalmente para los estudiantes de ingeniería que no están familiarizados con la nomenclatura comercial de éstos, con los datos mínimos que deben proporcionarse al fabricante para la identificación plena de dichos equipos y finalmente, con los valores más usuales que se encuentran en el mercado.

Capítulo III.- Es en este capítulo en el que se pretende dar una descripción lo más completa posible del rectificador, iniciando con el estudio de la rectificación de la corriente mediante los dos tipos más usuales de tiristores y posteriormente, dando las características principales del rectificador montado en TAMSА, describiendo mediante un diagrama de bloques, el funcionamiento del mismo.

Concluye el capítulo con una tabla comparativa entre el rectificador de arco de Mercurio y un rectificador con Tiristores, donde se podrá observar las grandes ventajas de este último sobre el primero, mismas que justifican la preferencia que actualmente se tiene por un rectificador con tiristores.

Capítulo IV.- En este capítulo se dan las características de los motores de 1600 KW de C.C. y se describen los equipos auxiliares empleados para la operación de los mismos, como son: el tablero de distribución de 750 V.C.C., el tablero de arranque de los motores y la consola del operador.

Capítulo V.- Este capítulo puede denominarse "puesta en marcha de la subestación", ya que en él se integran todos los equipos estudiados en los capítulos precedentes y se aborda el estudio de los sistemas de fuerza y de control para la alimentación de los motores de C.C., estableciéndose las condiciones que se deben cumplir para la puesta en marcha del grupo convertidor con tiristores.

Capítulo VI.- Dadas las características tan particulares de la subestación en estudio, es necesario contar con una correcta ventilación, una adecuada iluminación y como en todas las subestaciones, con una red de tierras perfectamente calculada. Estos tres sistemas se exponen en este capítulo partiendo, en cada caso, de un breve análisis teórico y particularizando posteriormente los cálculos para la subestación rectificadora.

Para finalizar este trabajo, se incluye un apéndice que trata del estudio del principio físico de funcionamiento del tiristor, considerado como un elemento aislado y finalmente, las conclusiones.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

Con el objeto de establecer los límites que se pretenden obtener en este trabajo, es conveniente tener una clara imagen de todos los elementos indispensables que intervienen como parte principal o secundaria, de un sistema eléctrico. Es por esta razón que en el presente capítulo, se describirá en forma simplificada la ubicación de la Empresa TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A., el sistema de recepción y distribución de energía eléctrica y en una forma más clara la localización física y eléctrica de cada uno de los elementos que integran la Subestación Rectificadora.

Una vez que el lector se haya familiarizado con el equipo que forma la subestación en estudio, en capítulos posteriores se analizará en forma detallada la razón de ser de cada uno de estos elementos.

a).- LOCALIZACION DE LA EMPRESA TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A.

La empresa TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S.A., se localiza en el Estado de Veracruz, en el Municipio de Tejería, en el

Kilómetro 433.7 de la carretera México-Jalapa-Veracruz, cumpliendo con los requisitos necesarios de una correcta ubicación, con las suficientes vías de comunicación para el abastecimiento de materias primas y para el envío sin demora de sus productos a los principales centros de consumo.

Su situación le permite exportar a lugares como: Europa, América del Sur, Estados Unidos de Norteamérica, etc., a la vez que cuenta con la posibilidad de adquirir por vía Aérea, Terrestre y Marítima, las herramientas de trabajo y las refacciones necesarias para su operación.

TAMSA, como todas las industrias de transformación, conjunta la materia prima, los energéticos y los recursos humanos, de manera tal que se pueda obtener el producto terminado dentro de las especificaciones que las necesidades del cliente le exijan.

Precisamente la energía eléctrica, es uno de los elementos más importantes que intervienen directamente en la producción del tubo de acero sin costura y en las barras especiales del mismo material que actualmente fabrica.

b).- RECEPCION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.

La energía eléctrica es suministrada por Comisión Federal

de Electricidad y recibida por una subestación receptora formada por cuatro transformadores de potencia nominal de 27 MVA cada uno, dando una capacidad instalada de 108 MVA. En esta subestación receptora, la energía eléctrica se recibe a un nivel de voltaje de 110 KV., transfiriéndose a 13.8 KV al interior de la planta. Con este voltaje de 13.8 KV., se alimentan las distintas subestaciones de las diferentes áreas de producción y otros departamentos anejos; de este conjunto de subestaciones forma parte la subestación rectificadora a base de tiristores de potencia que cubre la sustitución de los rectificadores de mercurio, que hasta fechas recientes, llevaban a cabo dicha función. Este cambio obedece, entre otras razones, principalmente a la falta de refacciones para el equipo antiguo, al mejor aprovechamiento de espacio, a las disminuciones de labores de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, y en general, a las grandes ventajas inherentes al uso de equipos modernos, específicamente de equipos de estado sólido.

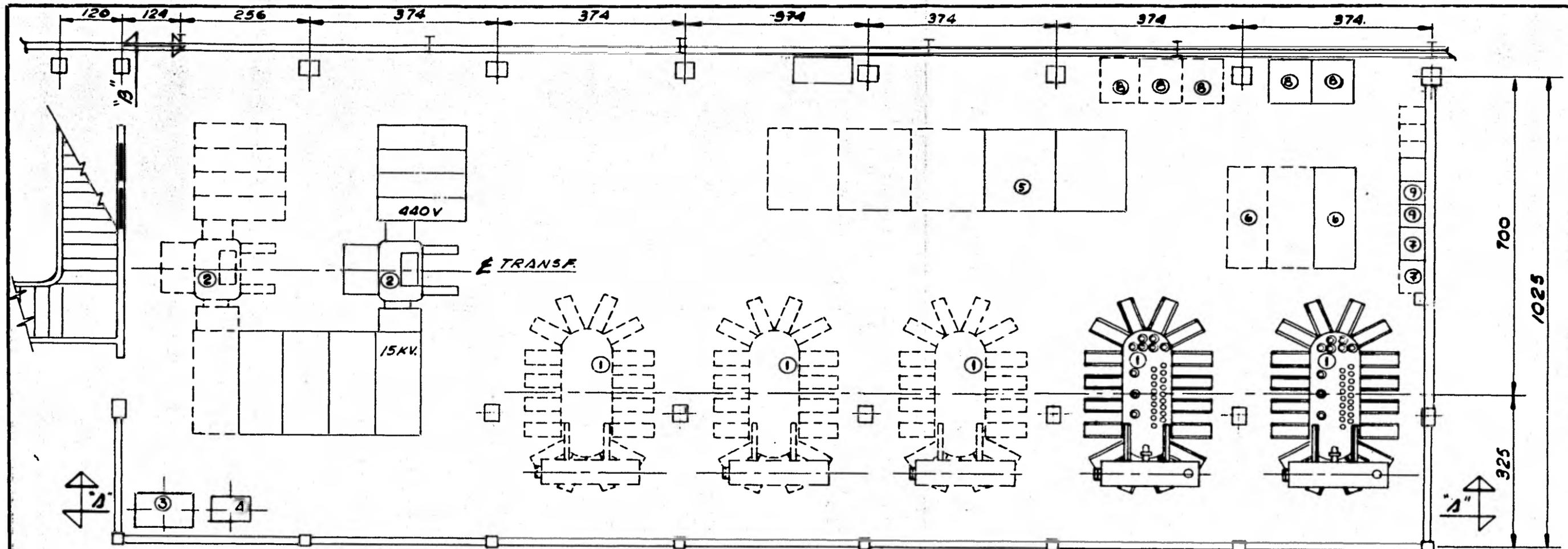
c).- DISTRIBUCION FISICA DEL EQUIPO CONSTITUTIVO DE
LA SUBESTACION RECTIFICADORA.

El montaje del equipo de la subestación se encuentra localizado en un edificio de dos plantas, el cual se encuentra

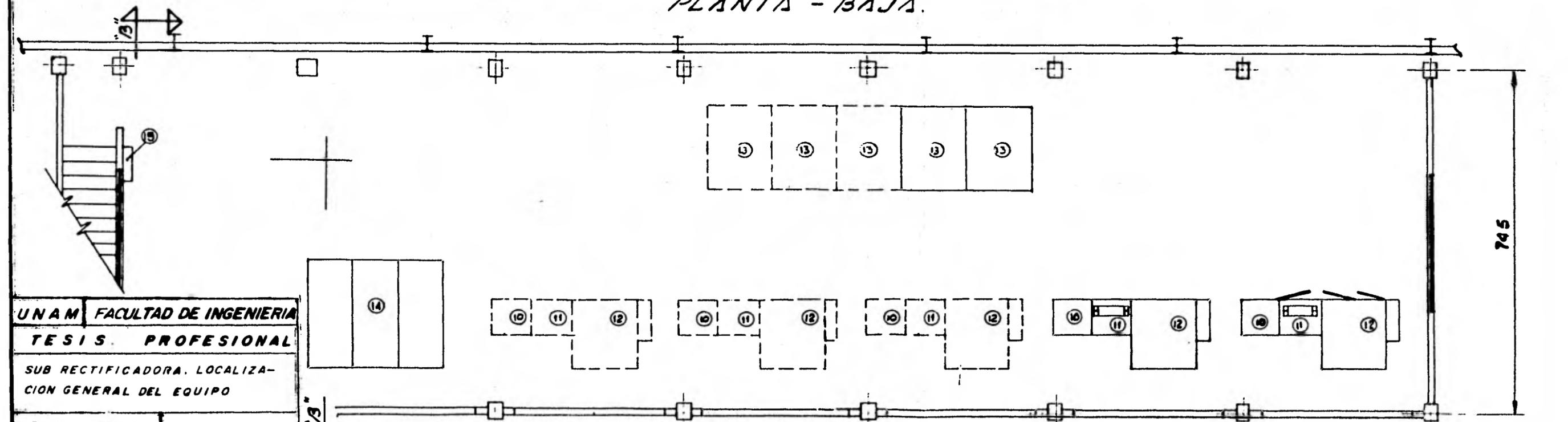
ubicado cerca del centro de cargas cumpliendo con los requisitos básicos sobre diseño de subestaciones eléctricas. En la planta baja del edificio, se instaló el equipo pesado, como son: transformadores, interruptores, grupo motor generador, etc., y en la planta alta se tienen instalados equipos relativamente más ligeros comparados con los de la planta baja como son: tableros de distribución de C.A. y C.C., gabinetes de tiristores, etc.

El criterio tomado para la instalación y distribución del equipo, se obtuvo en base a la experiencia lograda a través de los años del personal que labora en la diferentes subestaciones de la planta y cuyos principales obstáculos a los que se han enfrentado son: el difícil acceso a los equipos para su respectivo mantenimiento y la economía en cuanto al sistema de canalización de la instalación y por otro lado, a las condiciones específicas de funcionamiento de los diferentes dispositivos empleados dentro de este tipo de subestaciones, como son: temperatura, iluminación a los equipos de medición en general, etc.

La posición física de cada uno de los elementos de la subestación, se encuentra indicada en los Dibujos I.1 y I.2, figuras correspondientes a la planta baja y alta, y de acuerdo a estos dibujos los enlistaremos a continuación:

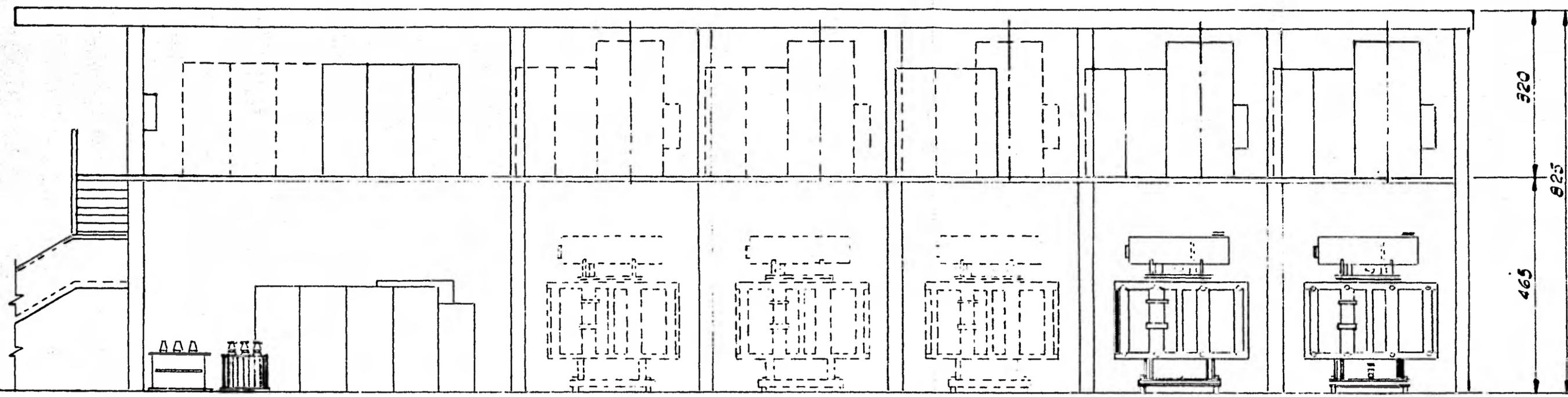


PLANTA - BAJA.

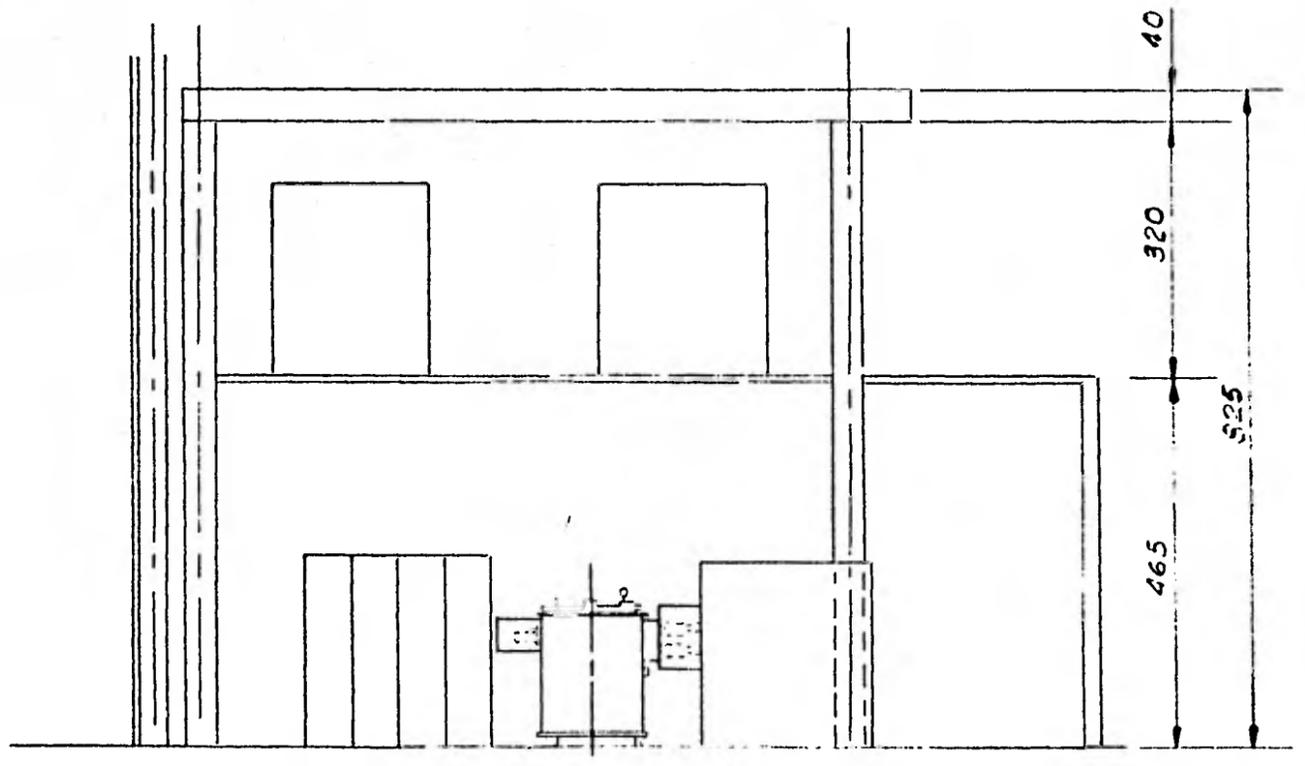


PLANTA - ALTA

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
SUB RECTIFICADORA. LOCALIZACION GENERAL DEL EQUIPO	
FECHA: 1980	PLANO N° I.1
ACOT.: CM.	



VISTA "A-A"



VISTA "B-B"

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
SUBESTACION RECTIFICADORA	
LOCALIZACION GENERAL DEL EQUIPO	
FECHA: 1980	PLANO N° I.2
ACOT.: cm.	

Relación del equipo instalado en planta baja:

- 1.- Transformadores de 3000 KVA, 13800-750 V., C/A., con secundario hexafásico.
- 2.- Subestación unitaria auxiliar 1500 KVA, 13800-440 V.
- 3.- Transformador trifásico de 112.5 KVA., 13800-220/127 V.
- 4.- Transformador trifásico de 25 KVA., 13800-220 V.
- 5.- Interruptor de corriente continua.
- 6.- Grupo Motor-Generador, 50 KW., 220 V.C.C.
- 7.- Arrancador a voltaje reducido del grupo motor-generador.
- 8.- Reóstato de campo de los motores de 1 600 KW., C.C.
- 9.- Tablero de control de velocidad de los motores de 1 600 KW.

Relación del equipo montado en planta alta:

- 10.- Tablero de arranque de los motores de 1 600 KW.,- C.C.
- 11.- Gabinete de regulación y control de los tiristores.
- 12.- Gabinete de tiristores.
- 13.- Tablero de distribución de 750 V. C.C.
- 14.- Tablero de distribución de 15 KV C.A.
- 15.- Tablero de alumbrado.

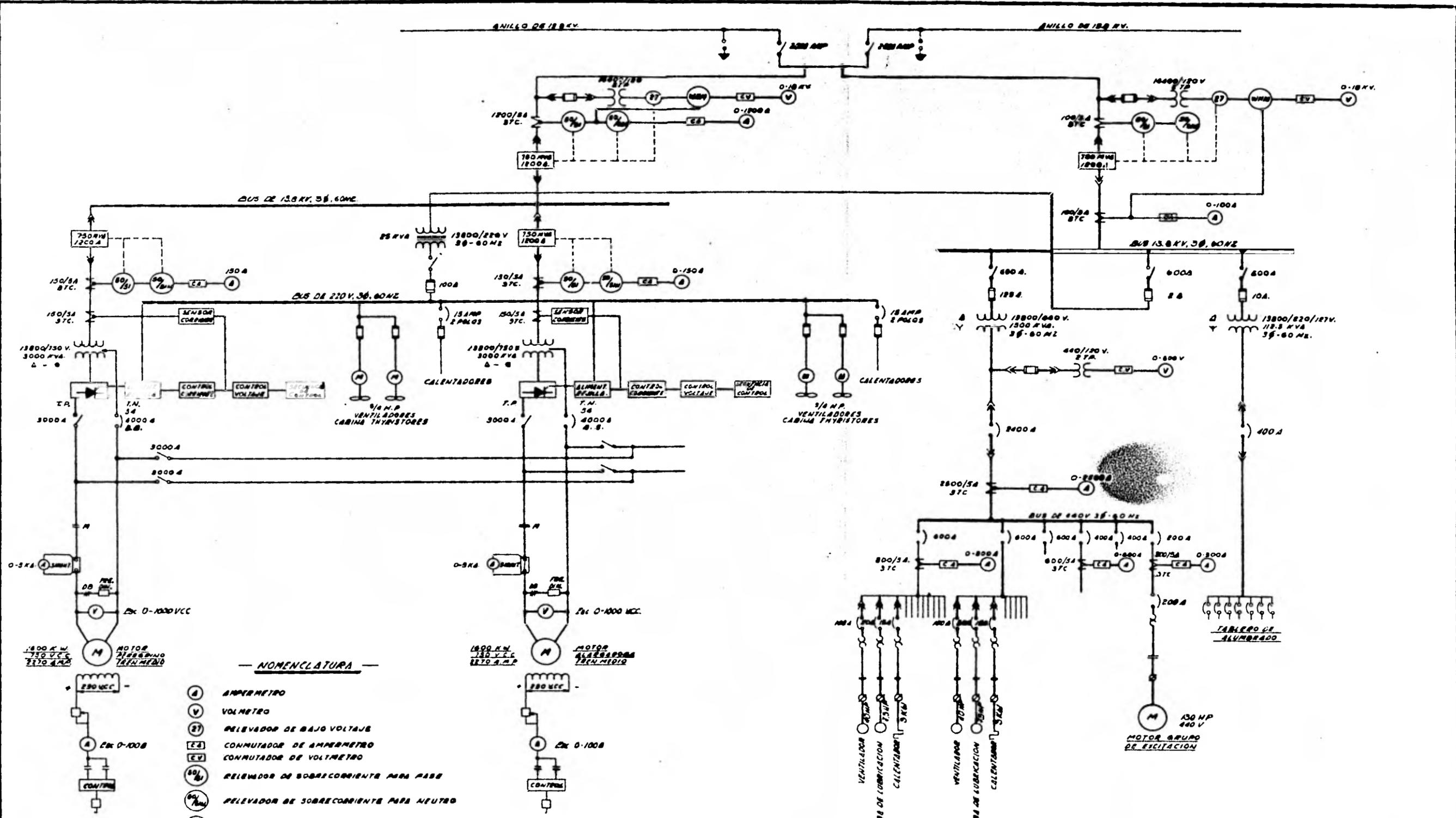
En las figuras I.1 y I.2., se puede observar que algunos equipos se encuentran dibujados con línea discontinua. La razón es que originalmente, la subestación rectificadora está diseñada para una capacidad instalada de 10,000 KW.; es decir, que estará compuesta por cinco unidades rectificadoras de 2,000 KW., cada una. Sin embargo, para el presente trabajo, únicamente abarcaremos la instalación de dos fuentes rectificadoras, las cuales darán una capacidad de 4,000 KW. Por tanto de las figuras descritas anteriormente, el equipo dibujado con línea continua, pertenece al equipo instalado en la primera etapa y el dibujado con línea discontinua, comprende al equipo a instalarse en un futuro.

Consideramos conveniente aclarar que, en este tipo de subestaciones en particular, la capacidad instalada está determinada por las unidades rectificadoras a diferencia de las subestaciones convencionales de corriente alterna, cuya capacidad instalada está en función directa de la potencia nominal de los transformadores y/o bancos de transformadores.

Cabe recalcar que el título de este trabajo, ha sido en base a que inicialmente la puesta en marcha de la subestación en asunto, es para alimentar a dos motores de 1600 KW. C.C., por medio de dos convertidores estáticos.

d).- DESCRIPCION DEL DIAGRAMA UNIFILAR.

En los dibujos mencionados anteriormente, sobre la localización física de los equipos y aparatos que constituyen la subestación rectificadora, a simple vista, puede apreciarse solamente una porción relativamente pequeña del total de los componentes que forman el sistema de rectificación. Los gabinetes metálicos dificultan en cierto grado la identificación de varios dispositivos que se encuentran alojados dentro de los mismos, es por tanto necesario contar con algún cuadro o esquema que muestre el arreglo del circuito, los niveles de voltajes de operación, la capacidad de los diferentes dispositivos de protección, capacidad y relación de transformación de los transformadores, capacidad de la carga y otros muchos datos que describen a los sistemas eléctricos. El cuadro o esquema que nos permite entender el sistema eléctrico, se conoce con el nombre de diagrama unifilar, el cual se muestra en la figura I.3.



U. N. A. M.	FAC. INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION RECTIFICADORA	
FECHA: 1980	PLANO Nº 1-3
ACOT:	

C A P I T U L O I I

INTRODUCCION.

Se ha establecido que uno de los propósitos de esta tesis, es el de proporcionar las características generales más importantes de los elementos que constituyen una subestación rectificadora, principalmente en lo que se refiere a los valores de sus variables eléctricas y a su nomenclatura comercial.

En este capítulo se detallará el equipo listado en el capítulo anterior, y en el cual se tratará de seguir un orden lógico, desde el punto de vista eléctrico, según el diagrama unifilar de la subestación. El estudio de los elementos constitutivos de la etapa rectificadora, los cuales comprenden el gabinete rectificador con tiristores y su correspondiente gabinete de regulación y control; debido a que forma la parte central de este trabajo, se llevará a cabo de una manera más detallada en el siguiente capítulo.

a).- TABLERO DE DISTRIBUCION DE 15 KV.

a.1).- Generalidades.

Un tablero tiene como función agrupar, de una manera coor-

dinada, los dispositivos de control, medición y protección de los circuitos en conjuntos auto-soportados y totalmente protegidos por cubiertas metálicas.

Estos tableros están contruidos bajo el principio modular, es decir, en el cual cada dispositivo se encuentra instalado en su propio compartimiento, que está coordinado con los compartimientos de los demás dispositivos.

En un tablero pueden incorporarse en forma individual o en combinaciones, todos los tamaños y tipos de los dispositivos siguientes:

- Combinación de interruptores y fusibles.
- Instrumentos de medición.
- Interruptores de transferencia.
- Elementos de control auxiliar.

En general, los tableros constan de un comportamiento posterior en el que se instala el bus principal, así como las conexiones a los compartimientos individuales y las terminales para los cables o ductos de entrada y de salida del conjunto.

La trayectoria que sigue la energía que llega al equipo es la siguiente:

El cable o ducto de llegada, según sea el caso, se conecta a las terminales del interruptor principal cuyas terminales secundarias están conectadas al bus principal del equipo. El bus principal está montado en forma horizontal a todo lo largo del tablero. Las barras del bus principal están aseguradas en tal forma, que pueden soportar, sin distorsión, los esfuerzos producidos por la máxima corriente de corto circuito disponible en el lugar en el que el tablero sea instalado. El número de secciones verticales depende de la cantidad y el tamaño de los dispositivos de protección, medición y control requeridos. Las líneas de alimentación de los interruptores derivados, se conectan a las barras del bus vertical de cada sección. Las secciones verticales se atornillan, unas con otras, tanto por su estructura metálica como por sus tramos correspondientes de bus principal.

Las características principales que han permitido que el uso de los tableros sea ventajoso, es su sencillez en la instalación, su mayor seguridad y continuidad en el servicio, su fácil mantenimiento, el pequeño espacio que ocupan y la posibilidad de dejar espacios de montaje adicional para futuras ampliaciones a muy bajo costo.

En nuestro caso, la función del tablero de distribución de 15 KV, es la de acoplar la línea de alimentación de 13.8

KV, a los transformadores, y consiste en un ensamble de tres gabinetes para servicio interior, fabricados totalmente en acero galvanizado, conocido comercialmente como Metal Clad. Este tablero está construido con aislamiento y todas las características adecuadas para proteger y controlar circuitos de 15 KV y 750MVA de capacidad de corto circuito.

Una vista frontal de un tablero para servicio interior, puede observarse en la fotografía de la figura No. 2-1, en la que se aprecia el panel embisagrado para instrumentos localizados en la parte superior. La figura No. 2-2, muestra una celda típica compuesta por módulos atornillados y que está destinada para alojar el interruptor principal.

Cada una de las tres secciones de que consta el tablero de 15 KV, está integrada de la siguiente manera:

a-2).- Sección No. I.

En esta sección se encuentra todo el equipo necesario para acoplar la línea de 13.8 KV al bus de alimentación de 13.8 KV, y aloja en sus celdas los siguientes elementos:

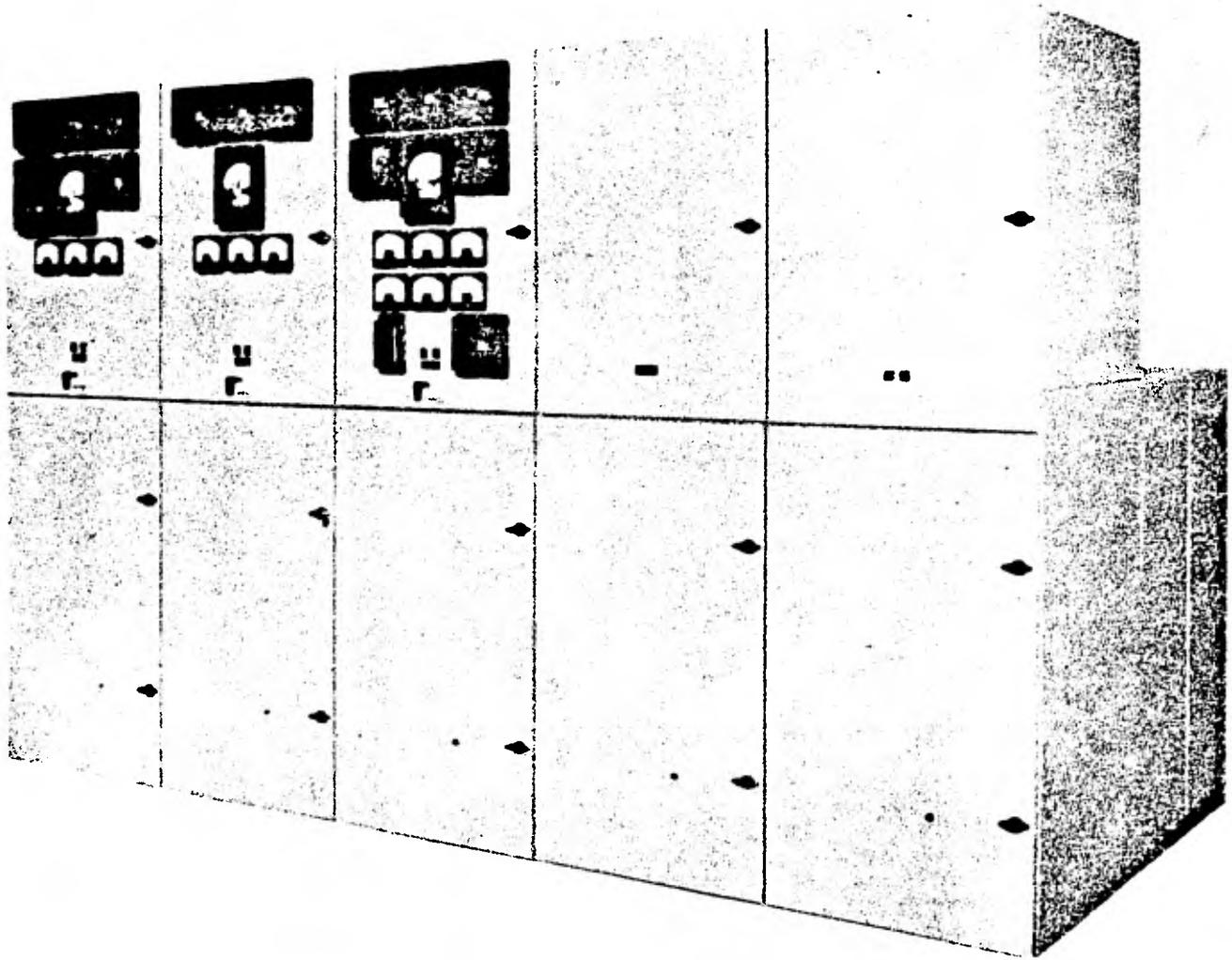
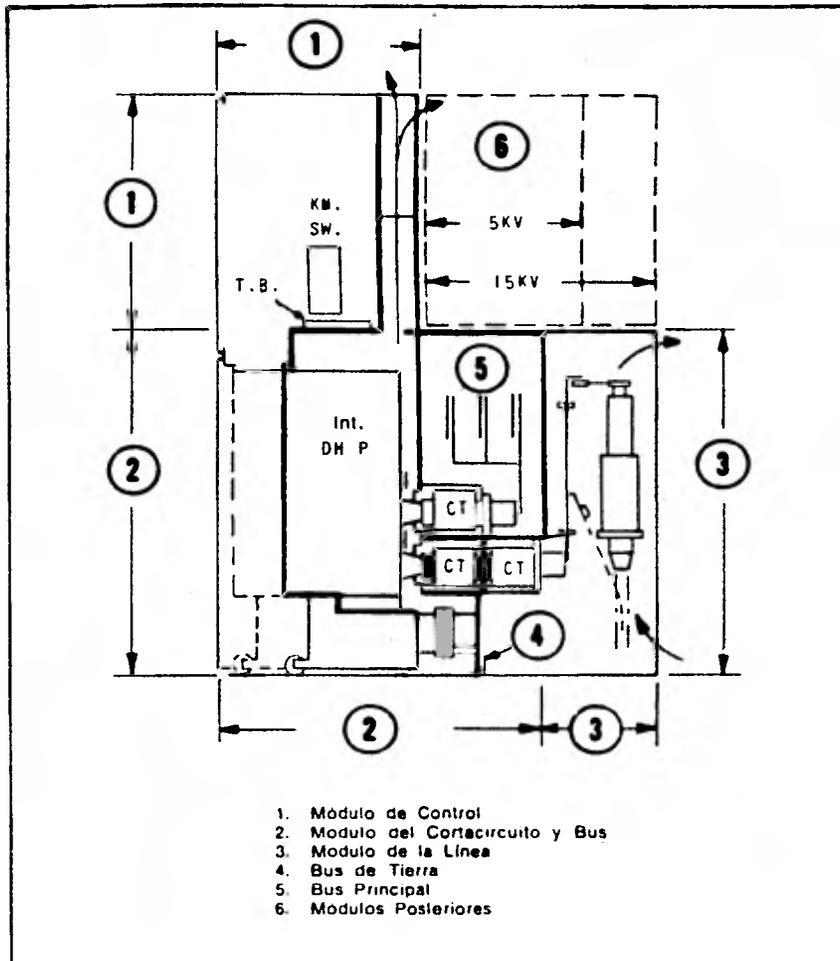


FIG. 2 - 1

Vista Frontal de un Tablero de Distribucion
de 15 KV para Servicio Interior.



1. Módulo de Control
2. Módulo del Cortacircuito y Bus
3. Módulo de la Línea
4. Bus de Tierra
5. Bus Principal
6. Módulos Posteriores

FIG. 2 - 2

a-2-1).- Un interruptor en aire para 15 KV, 1200 amperes, 750 MVA de capacidad interruptiva y aislamiento de resina epóxica, identificado comercialmente con el número 150--DHEP-750. Este interruptor es para operar en un sistema trifásico de 13.8 KV, 60 Hz, y es accionado por medio de energía mecánica almacenada mediante resortes, mismos que son operados a través de una bobina de disparo a 125 V.C.-C., al actuar ésta sobre un trinquete. En esta celda también se encuentra alojado el dispositivo de rectificación para alimentar la bobina de disparo.

a-2-2).- Tres transformadores de corriente para protección y medición, tipo dona, servicio interior, de relación 1200/5 Amperes, 60 Hz, nivel de aislamiento 15 KV, clase de precisión 0.3 y potencia de precisión B4.0 igual a 100 VA.

a-2-3).- Dos transformadores de potencial para protección y medición, relación de transformación 14400-120 Volts, nivel de aislamiento 15 KV, 60 Hz, clase de precisión 0.3, para una carga de 100 VA, provistos de fusibles limitadores de corriente.

a-2-4).- Un banco de resistencias controladas por termostatos cuya función es la de evitar la humedad en los tableros y controlar la temperatura interior.

Las figuras Nos. 2-3, 2-4 y 2-5, muestran el arreglo general de un interruptor, las cámaras de arqueo y la vista inferior del mecanismo de energía almacenada, respectivamente.

a-2-5).- Montado en el panel embisagrado se encuentra el siguiente equipo de protección y control:

a-2-5-1).- Tres relevadores de sobrecorriente tipo CO-8, NEMA 50/51, para protección contra fallas entre fases, con características de tiempo inverso, con elemento de tiempo de 4-12 Amperes y dispositivos de disparo instantáneo de 10-40 Ampares.

a-2-5-2).- Un relevador de sobrecorriente tipo CO-8, NEMA 51N, para protección contra fallas de fase a tierra con elementos de tiempo inverso de 0.5 a 2.5 amperes y dispositivo de disparo instantáneo de 10 a 40 amperes.

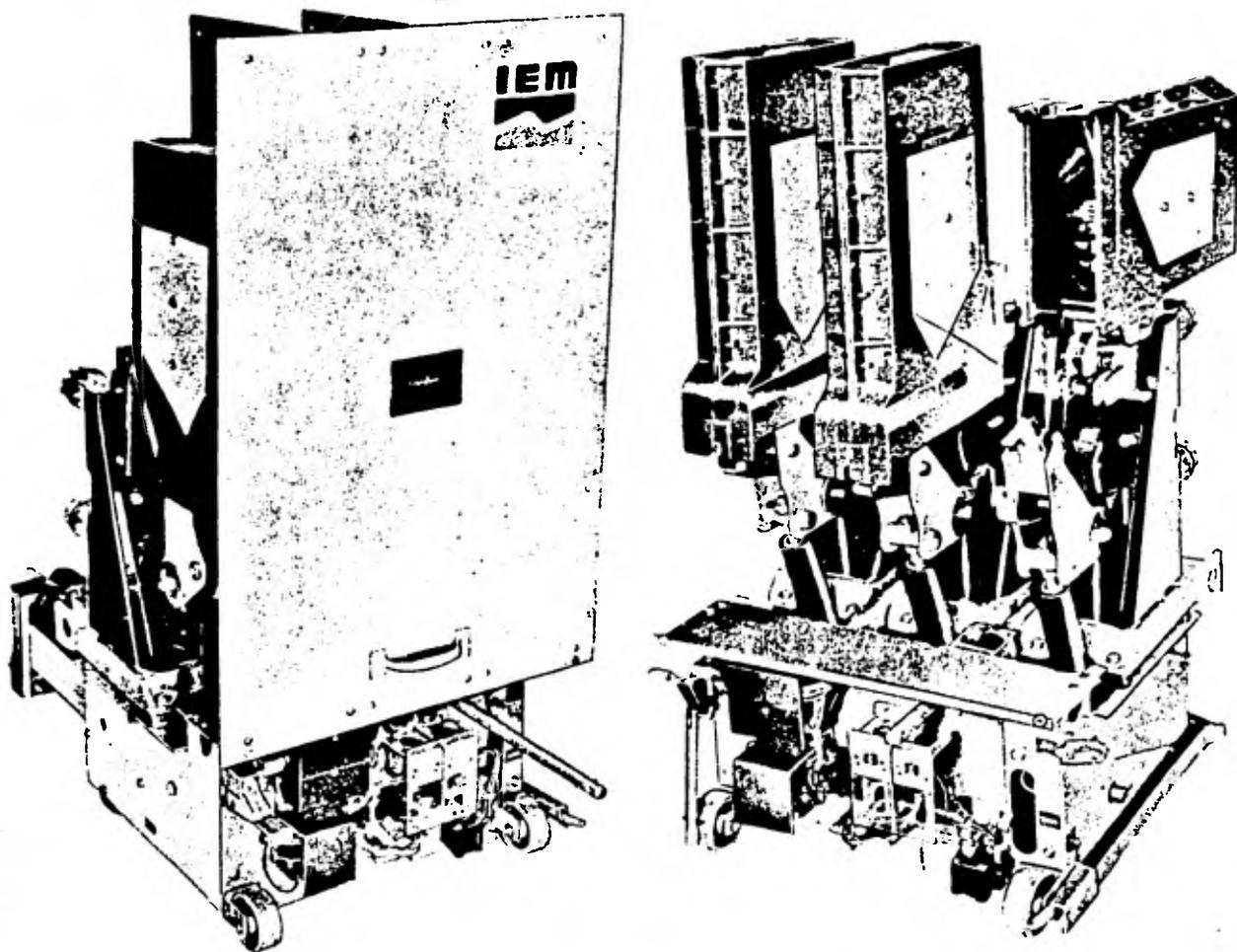


FIG. 2 - 3

Vistas Mostrando Arreglo General Interruptor
en Aire tipo 150 - DHEP - 750.

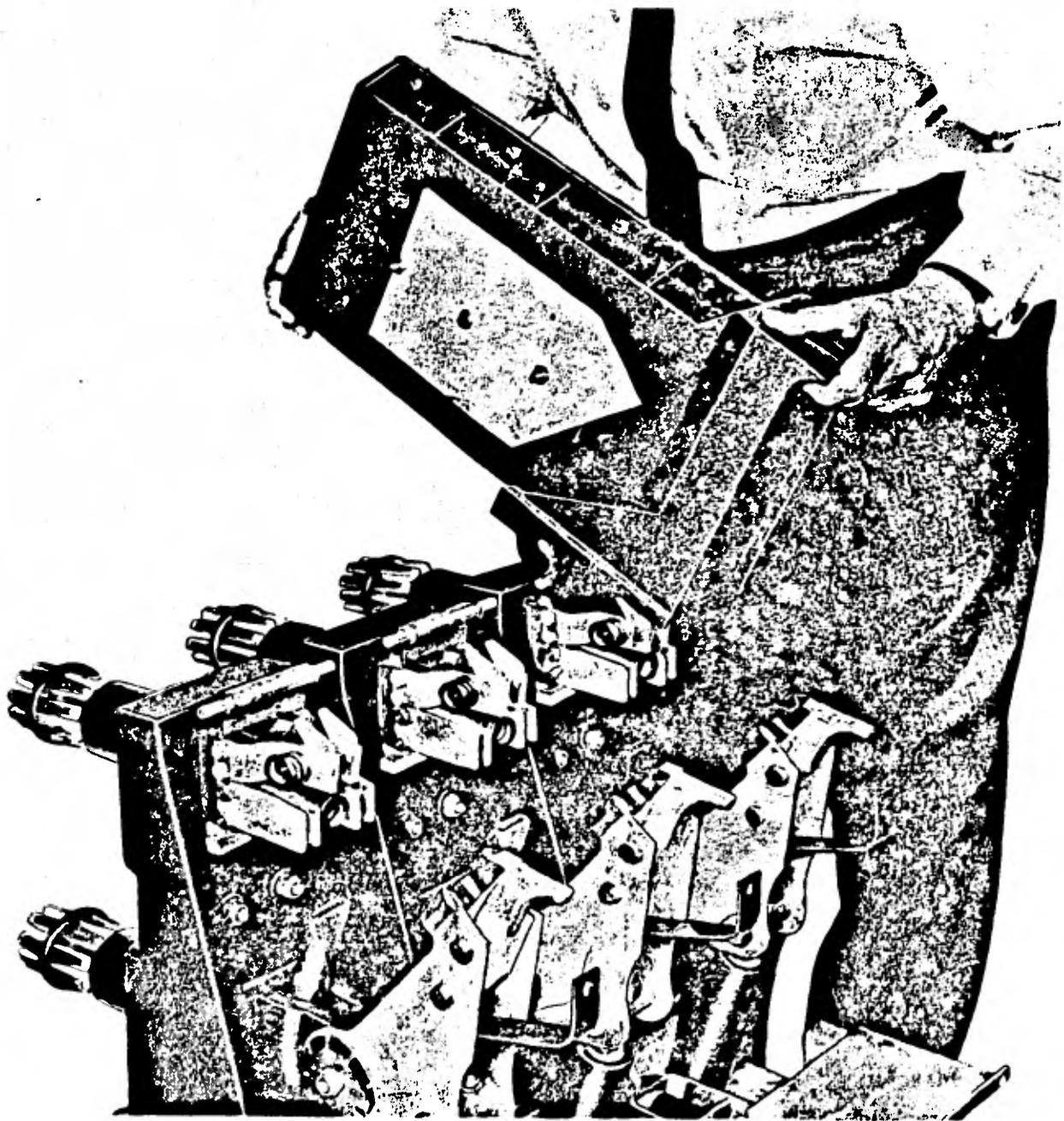
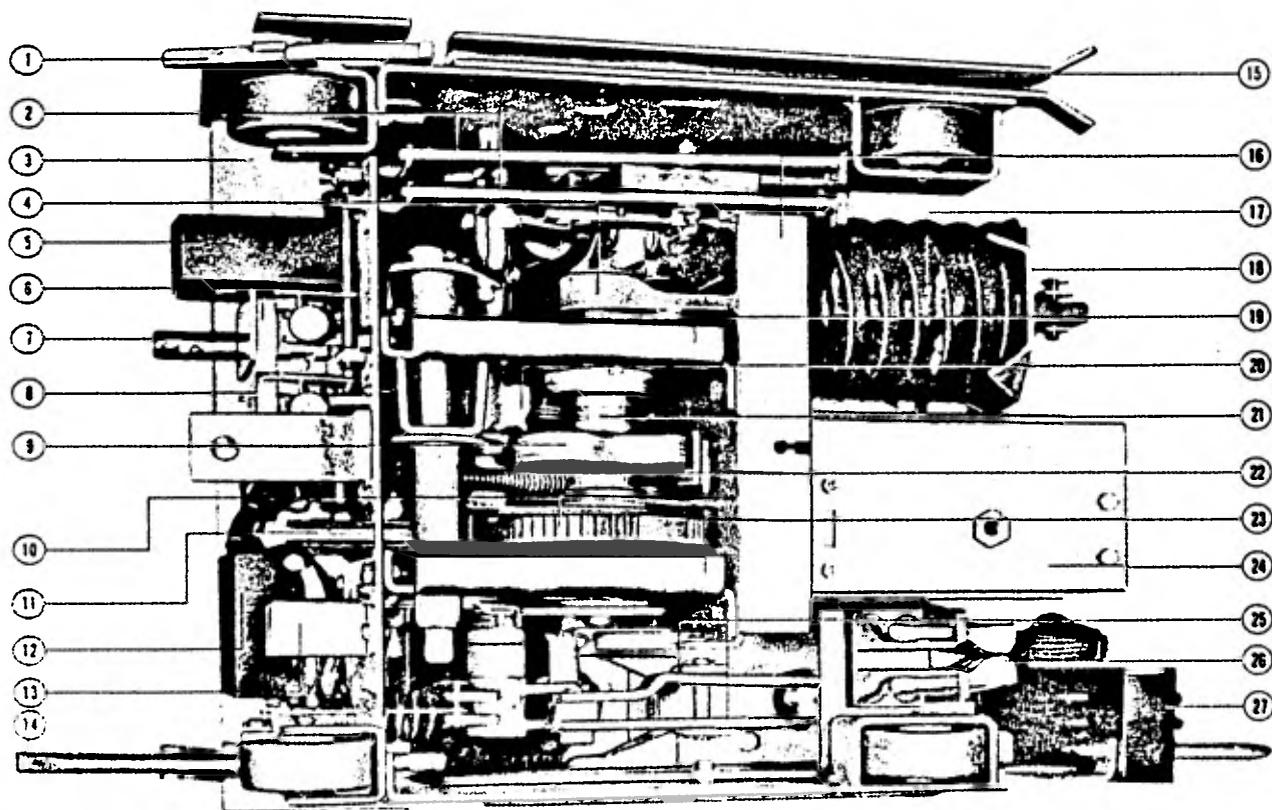


FIG. 2 - 4

Instalando Cámaras de Arqueo, Interruptor
Tipo 150 - DHEP - 750.



- | | | |
|---|--|------------------------------------|
| 1. Seguro de riel | 10. Rueda dentada | 19. Placa lateral derecha |
| 2. Palancas de bloqueo de piso | 11. Placas carga de resorte | 20. Leva de disparo |
| 3. Placa para montaje de barreras | 12. Switch auxiliar | 21. Flecha cigüeñal |
| 4. Barra de conexión | 13. Switch limite del motor | 22. Resorte del eslabón principal |
| 5. Relevador de control "Y" | 14. Manija de operación de contactos secundarios | 23. Placa lateral izquierda |
| 6. Magneto liberador de resorte | 15. Conal guía | 24. Placa de montaje de motor |
| 7. Flecha de operación del mecanismo de inserción | 16. Placa posterior | 25. Brazo de operación del fuelle |
| 8. Magneto de disparo | 17. Resorte de cierre | 26. Contacto de tierra |
| 9. Leva de cierre | 18. Placa retén del resorte | 27. Block de contactos secundarios |

Vista inferior mecanismo de energía almacenada

a-2-5-3).- Dos relevadores de bajo voltaje tipo CV, NEMA 27, para detectar condiciones de bajo voltaje.

a-2-5-4).- Un voltmetro de corriente alterna con escala de 0-15 KV, para la medición de voltaje de entrada.

a-2-5-5).- Un ampermetro de corriente alterna con escala de 0-1200 Amperes, con conmutador de ampermetro de cuatro posiciones, una posición para cada fase y una para condición de "fuera" (off).

a-2-5-6).- Un wathhorímetro trifásico, 3 hilos, 2 estatores, 120 volts, relación de transformación del T.P. 120-1, relación del transformador de corriente 1200/5, con iniciador de pulso y registrador de demanda, factor multiplicativo 1000, registrador primario.

a-2-5-7).- Un switch de control de operación manual equipado con luces indicadoras, donde la convención que se ha tomado es que si la luz roja se encuentra encendida, significa que los contactos del interruptor están cerrados, y la luz verde indica la posición contraria.

a.3, a.4).- Secciones II y III.

Estas secciones son idénticas entre sí, en cuanto al equipo que aloja cada una, y están destinadas para llevar a cabo la conexión del bus de distribución a cada uno de los transformadores hexafásicos.

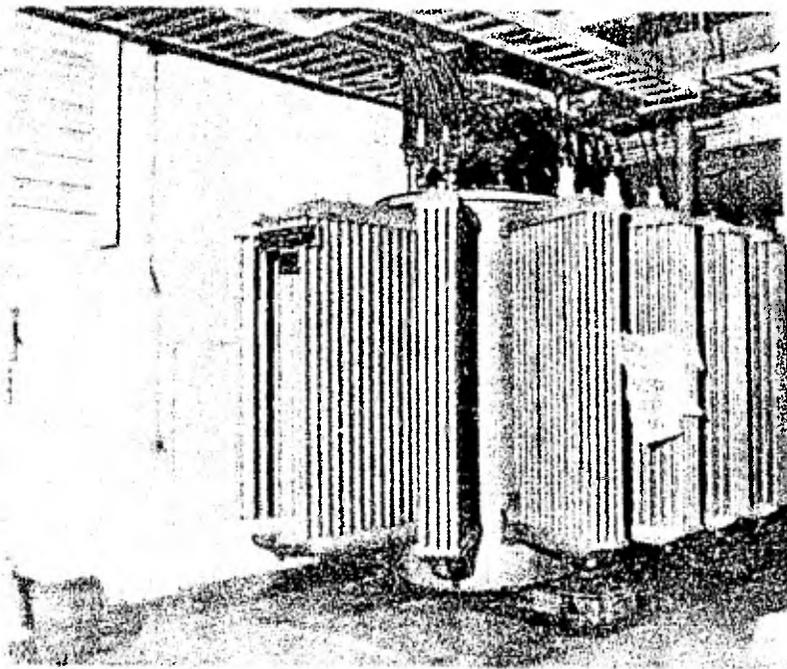
El equipo alojado en cada una de estas secciones, es básicamente el que contiene la sección No. I, a excepción de los sensores de voltaje y registradores de demanda, que no aparecen en las demás secciones.

b).- TRANSFORMADOR DE POTENCIA PARA LA ALIMENTACION DE LOS GRUPOS RECTIFICADORES (UN TRANSFORMADOR POR CADA GRUPO).

b.1).- Características.

Transformador de potencia hexafásico de 3000 KVA, autoenfriado en aceite, enfriamiento tipo "OA", para operar a 60 Hz, diseñado para trabajar a 55°C en promedio, y una altura máxima de 1000 m.s.n.m. La figura No. 2-6, muestra una fotografía de este transformador.

Lado de alta tensión (primario).- Alimentación primaria de 13.8 KV, con un arreglo de los devanados en Delta, Tri-



TRANSFORMADOR DE POTENCIA 3000 KVA.

FIG. 2 - 6

fásico, cuatro derivaciones de 2.5% cada una, dos arriba y dos abajo del voltaje nominal, aislamiento clase 15 KV, con las terminales montadas sobre la tapa del transformador.

Lado de baja tensión (secundario).- El lado secundario del transformador consta de 18 embobinados que se agrupan de tres en tres, formando una fase cada grupo, constituyendo un total de seis fases, con las que se lleva a cabo el arreglo de doble estrella, el cual proporciona una salida hexafásica, con una tensión de 750 volts entre líneas, con aislamiento clase 1 KV, neutro accesible y terminales montadas sobre la tapa del transformador.

Las razones técnicas para llevar a cabo el arreglo hexafásico se expondrán en el capítulo siguiente, al estudiar los puentes de tiristores.

Pérdidas máximas:

Pérdidas en vacío (en el Hierro): 10 KW.

Pérdidas en el cobre (embobinados): 22 KW.

Impedancia por Unidad: 0.099 P. U.

Peso aproximado: 17 Ton con aceite.

Peso de transformador: 13 Ton.

Peso de una carga de aceite: 4 Ton.

Este transformador está diseñado para soportar el siguiente ciclo de trabajo:

- 10.- Sobrecarga del 25% por dos horas, dos veces al día, partiendo de la temperatura de carga nominal y regresando al valor de ésta al término del período de sobrecarga indicado.
- 20.- 100% de sobrecarga por un minuto, frecuentemente repetitivo.
- 30.- 125% de sobrecarga por un minuto ocasional.

b.2).- Accesorios.

b.2.1).-Indicador magnético de nivel de aceite con contactos de alarma.

b.2.2).-Indicador de temperatura.

b.2.3).-Relevador Bucholz.

b.2.4).-Todos los demás accesorios indicados por las normas para su operación y protección.

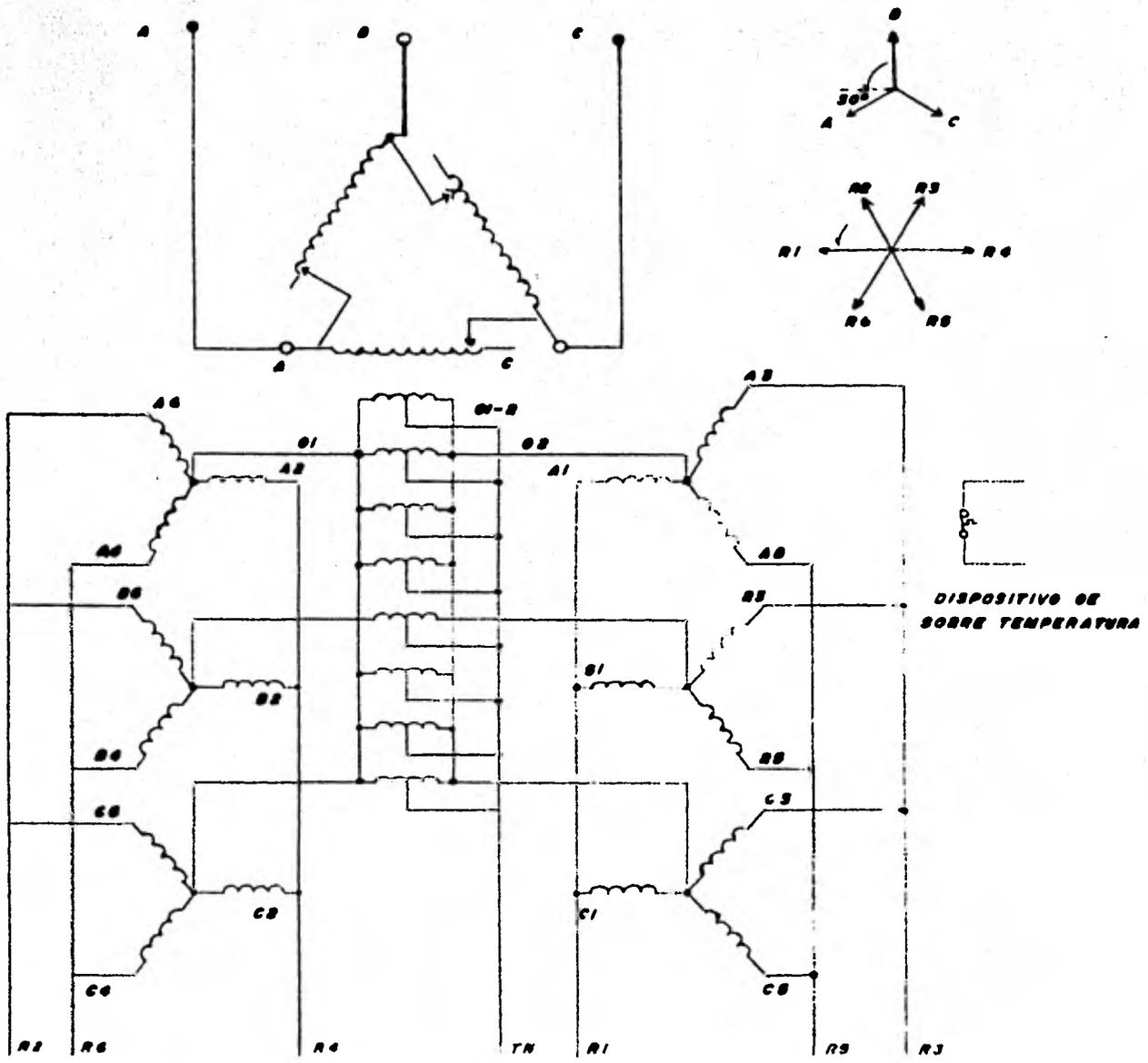


FIG. 2-7

El diagrama de conexiones del transformador puede ser observado en la figura 2-7.

c).- INTERRUPTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

Este interruptor, es un interruptor de C.C., unipolar, extra-rápido, en aire para protección de los grupos de rectificación contra sobrecorriente y corriente de pico inverso, con las siguientes características:

Tensión de Servicio-----750 Volts.
Tensión Nominal-----4800 Volts.
Corriente Nominal-----4000 Amperes.
Corriente máxima de apertura-----50K Amperes.
Tiempo de apertura-----25 ms.
Peso-----800 Kgs.
Tensión de prueba a 60 Hz-----10.6 KV.

Este interruptor se encuentra conectado al neutro del transformador de 3000 KVA, y constituye el polo negativo de alimentación al motor de 1600 KW, C.C. El interruptor se acciona mediante un switch maestro (Master Switch), que está montado en el panel de arranque del motor. El control para el cierre o apertura del interruptor requiere de un voltaje de 110 Volts de C.C., el cual es suministrado

por un cuadro rectificador que se encuentra montado en el tablero de control de velocidad del motor 1600 KW. El cuadro rectificador está alimentado a 110 Volts, C.A., tomado de la salida del secundario del transformador de control para alimentación del tablero de control de campo.

El control del interruptor está formado esencialmente por tres bobinas con voltaje de operación de 110 V,C.C., que son:

- 1.- Bobina 43 (Electroválvula para cierre).
- 2.- Bobina 42 (Bobina de trinquete, para mantener cerrado el interruptor).
- 3.- Bobina Hm (Bobina detectora de pico inverso).

La figura No. 2-8 representa el circuito de control, donde además de las bobinas mencionadas, aparece el puente rectificador y la operación de dicho circuito es el siguiente:

La bobina 43, cuando es energizada, acciona una válvula para permitir el paso de aire y poder cerrar el interruptor.

La bobina 42, cuando se energiza, acciona un trinquete que prepara el cierre para cuando entra la bobina 43 (mete aire). Es condición que esté adentro la bobina 42 para poder cerrar el interruptor.

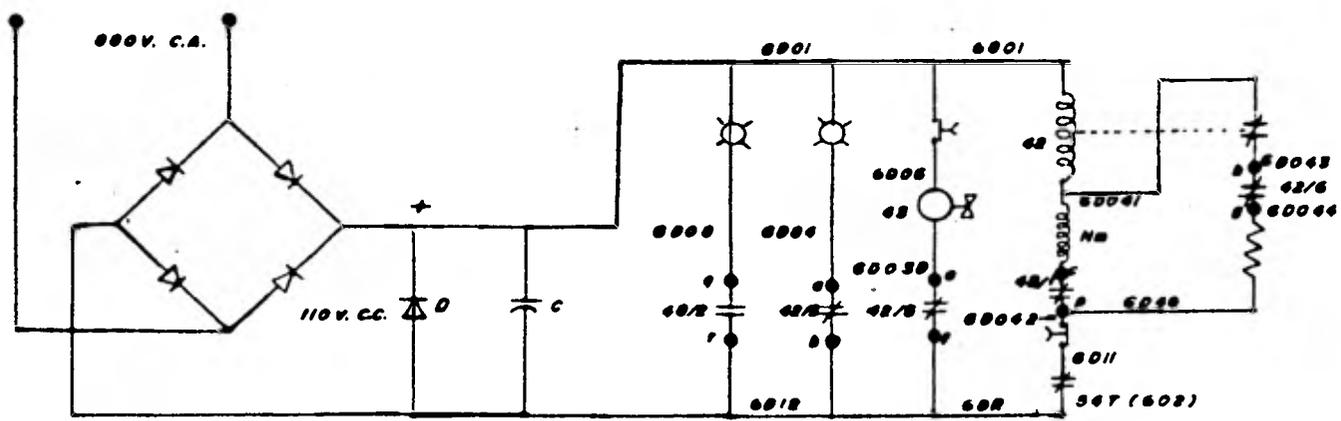


FIG. 2-8

La bobina Hm es la encargada de detectar la corriente de pico inverso.

Al accionar la bobina 43 (electroválvula), simultáneamente se energiza la bobina 42 a través de la resistencia (R). Inmediatamente que el mecanismo inicia su carrera, se abre el contacto 42/6 dejando fuera la resistencia pero continua energizada la bobina 42 a través de la bobina Hm. Esta bobina se halla magnéticamente acoplada a las barras conductoras.

La protección de máxima corriente, se realiza por medio de un mecanismo eléctrico-magnético-mecánico, y consta de un núcleo laminado acoplado magnéticamente a las barras conductoras y que al moverse por acción magnética (magnetismo producido por sobrecorriente), libera el trinquete disparando el sistema.

d).-SUBESTACION UNITARIA AUXILIAR DE CORRIENTE ALTERNA.

d.1).- Generalidades.

En muchos casos de utilización de la energía eléctrica, la Corriente Alterna presenta grandes ventajas sobre la Corriente Continua, debido a su gran flexibilidad y a la alta eficiencia que proporcionan muchos dispositivos operados con C.A.

En nuestro caso particular, deberá ser alimentado con Corriente Alterna el siguiente equipo:

- Alumbrado.
- Ventilación.
- Motobombas para lubricación.
- Sistema de control de los puentes rectificadores.
- Sistema de control de los motores de 1600 KW.
- Los motores de inducción que proporcionan fuerza motriz a los generadores de C.C. para la excitación de los motores de C.C., de 1600 KW.

Debido a que el nivel de voltaje con que se alimenta la subestación rectificadora es en alta tensión, el cual no puede ser aplicado directamente a las cargas antes mencionadas, se hace necesario contar con una subestación auxiliar de C.A.

En la industria se ha popularizado el uso de las subestaciones unitarias para ajustar el voltaje de alimentación a un valor adecuado de utilización.

Las Subestaciones Unitarias son equipos completamente coordinados y ensamblados por el fabricante, que proporcionan la transformación necesaria de voltaje de suministro al voltaje adecuado a las cargas correspondientes,

desempeñando también funciones de desconexión y protección. En general, estas subestaciones constan de tres grupos de componentes coordinados apropiadamente entre sí. El primer grupo es la sección para la línea de llegada, la cual proporciona los medios para recibir el cable o los cables que entregan la energía, un interruptor y desconectador con fusibles para la protección del transformador. La segunda parte, es un transformador el cual convierte o transforma el voltaje primario a un voltaje apropiado para su distribución a los equipos consumidores. La tercera sección, es un equipo de baja tensión (de salida), el cual distribuye la carga total entre varios alimentadores derivados.

Los interruptores que alimentan cada derivado desempeñan la función de desconectar la carga, y de proteger el circuito contra sobrecargas y cortos circuitos. El interruptor principal secundario permite desconectar el total de las cargas de la subestación y proporciona la protección requerida para las barras principales y los derivados del tablero secundario.

En particular, la subestación unitaria alimentará los servicios auxiliares de la subestación rectificadora, comprendiendo el equipo mencionado anteriormente, siendo una subestación tipo interior, compacta, blindada y con capa-

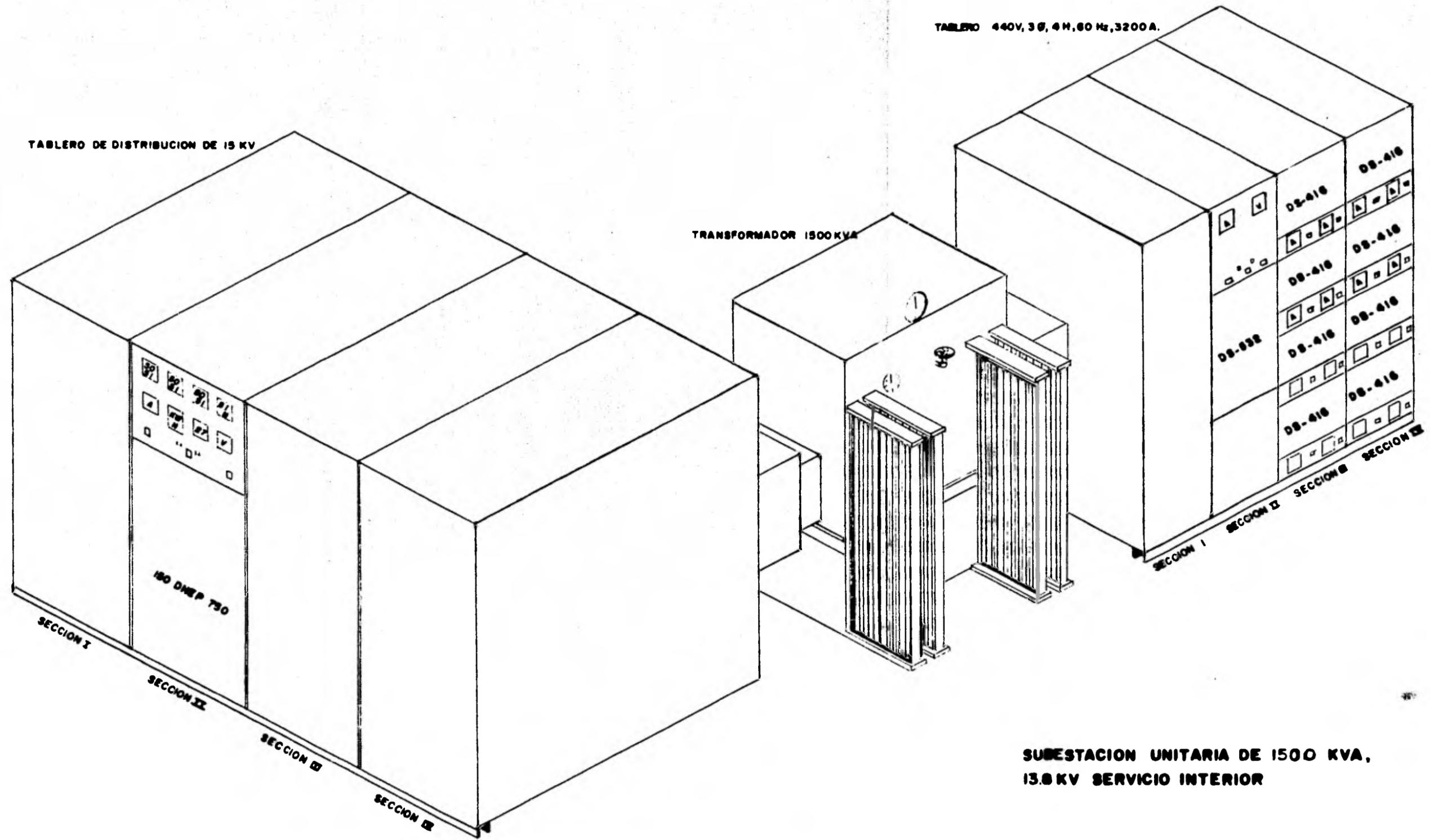
cidad de 1500 KVA., tensión de alimentación de 13.8 KV., clase 15 KV.

La figura 2-9, muestra la subestación unitaria donde pueden observarse de izquierda a derecha el arreglo siguiente: tablero de distribución de 15 KV, transformador de 1500 KVA, y tablero de baja tensión.

d.2).- Tablero de distribución de 15 KV.- Es un tablero formado por gabinetes metálicos del tipo blindado, para servicio interior, en acero galvanizado, con aislamiento para operar a 15 KV, tres fases, 60 Hz. Lo constituyen las secciones que se describen a continuación:

d.2.1).- Sección No. I.- Sección del tablero, tipo NEMA I, para servicio interior, para protección de dos transformadores de 112.5 KVA y 25 KVA, respectivamente, formada principalmente por:

d.2.1.1).- Dos cuchillas seccionadoras para operación con carga y en grupo, tripolar, tiro sencillo, de 600 amperes nominales cada uno, con accionamiento de estribo desde el exterior, con dispositivo de seguridad en puerta de acceso cuando se encuentra energizada.



SUBESTACION UNITARIA DE 1500 KVA,
13.8 KV SERVICIO INTERIOR

FIG. 2-9

d.2.1.2).- Seis fusibles limitadores de corriente, para tensión de 15 KV, provisto cada uno con base de montaje y elementos fusibles, tres de 10 amperes y los otros de 2 amperes.

d.2.2).- Sección No. II.- Esta sección del tablero, está destinada para alojar los equipos de control, protección y medición del alimentador, conteniendo:

d.2.2.1).- Un interruptor en aire, tipo 150 DHEP-750, para 15 KV, cuya descripción fue dada en el inciso a.1.

d.2.2.2).- Seis transformadores de corriente de relación 100/5 A., clase 15 KV, para los circuitos de protección y medición.

d.2.2.3).- En general, esta sección contiene el mismo equipo de la Sección I del tablero de 15 KV, descrita en el inciso a.2., variando únicamente los rangos de operación.

d.2.3).- Sección III.- Es muy similar a la sección No. I, diferenciándose únicamente en que ésta tiene por objeto

proporcionar protección a un transformador de 1500 KVA, conteniendo una cuchilla seccionadora y tres fusibles limitadores de corriente con elementos fusibles de 125 Amperes.

d.2.4).- Sección No. IV.- Es la parte del tablero destinada para efectuar el acoplamiento del tablero con el transformador de 1500 KVA., y está provista de todos los elementos necesarios para llevar a cabo dichas conexiones.

d.3).- Transformador de potencia de 1500 KVA.- Este transformador tiene como finalidad ajustar al valor adecuado el voltaje de alimentación de los equipos de fuerza auxiliar, el equipo de ventilación, etc., y sus principales características son:

Transformador de potencia, 1500 KVA, relación de transformación 13800-440 volts, tres fases, 60 Hz, tipo interior, enfriamiento en aceite tipo "0A", aislamiento clase "B", diseñado para trabajar a 1000 m.s.n.m., con elevación de temperatura de 55°C, sobre una temperatura máxima de 40°C y 30°C, en promedio. Con arreglo delta en el primario y estrella en el secundario, con cuatro derivaciones en el lado de alta tensión: 2.5% cada una, dos

arriba y dos abajo del voltaje nominal. Equipado con todos los accesorios indicados en las normas y gargantas en alta y baja tensión para su acoplamiento con el tablero, clase 15 KV.

d.4).- Tablero de 440 Volts.

Este tablero, es un tablero de distribución para servicio interior, tipo NEMA 1, con aislamiento adecuado para una tensión de 440 Volts. Sus funciones son las de alimentar los equipos de fuerza auxiliar, consta de cuatro secciones, cuya descripción es la siguiente, partiendo de izquierda a derecha, tomando como referencia la vista frontal:

d.4.1).-Sección No.1.- Esta sección está destinada para llevar a cabo el acoplamiento del secundario del transformador de 1500 KVA, descrito en el inciso "d.3", con el bus de alimentación de 440 Volts.

d.4.2).-Sección No.II.- Esta sección está destinada para dar alojamiento al interruptor principal de baja tensión, estando equipada de la siguiente manera:

d.4.2.1).-Interruptor en aire tipo DS-532, para 600 Volts, 3200 Amperes, 60 Hz, con capacidad interruptiva de 50 KA a 440 Volts.

d.4.2.2).-Dos transformadores de potencial con relación de transformación de 440-120 volts y capacidad de 150 VA, precisión de 0.3, para alimentar a los aparatos de medición de voltaje.

d.4.2.3).)-Tres transformadores de corriente de relación 2000/5 amperes, clase 0.6 KV, para alimentar los circuitos de medición.

d.4.3).- Sección No. III.

d.4.3.1).- Cuatro interruptores en aire tipo DS-- 416, para 600 volts, 1500 amperes, tres de los cuales están provistos de sensores de corriente de 600 Amperes y uno de 400 Amperes. Estos interruptores son de montaje removible y tienen una capacidad interruptiva de 50 KV.

d.4.3.2).-Montados en el panel embisagrado, se encuentran los elementos de medición, mismos que pueden ser observa-

dos en el diagrama unifilar de la figura No. I-3, donde además aparecen sus respectivos transformadores de potencial y corriente.

d.4.4).- Sección No. IV.- Esta sección es idéntica a la sección anterior, y aloja al interruptor de alimentación al grupo motor generador para la excitación de los motores de C.C. y otros servicios.

d.5).- Transformador de 112.5 KVA.

Por necesidades de operación se han incluido dentro de la subestación unitaria dos transformadores, uno de 112.5 KVA, para el alumbrado y otro de 25 KVA, para alimentar los equipos de control de los grupos rectificadores.

Este transformador de 112.5 KVA, como ya se estableció, está acoplado a la línea de 13.8 KV, por medio de la sección No. I, del tablero de 15 KV, de la subestación unitaria, y su función es la de alimentar todo el sistema de alumbrado y sus características principales son los siguientes:

Transformador trifásico, relación 13,800-220-127 Volts, conexión delta-estrella con neutro accesible, auto enfria-

do en aceite, enfriamiento tipo "OA", diseñado para trabajar con una elevación de temperatura de 55°C, sobre un ambiente máximo de 40°C, 4 derivaciones de 2.5% cada una, dos arriba y dos abajo de 13,800 volts, completo con los accesorios normales indicados por las normas.

d.6).- Tablero de alumbrado.- Es un tablero de distribución para servicio interior, tipo NEMA I, con aislamiento para 600 volts, 400 amperes, 3 fases, 4 hilos, y consta de lo siguiente:

d.6.1).- Un interruptor termomagnético principal de 400 amperes, 3 polos.

d.6.2).- Dos interruptores termomagnéticos derivados de 100 amperes, 3 polos.

d.6.3).- Cinco interruptores termomagnéticos derivados de 50 amperes, 3 polos.

d.7).- Transformador de 25 KVA.

Se explicó, líneas arriba, que este transformador está conectado por medio de una de las secciones del tablero de la subestación unitaria, aún cuando no forma parte de ésta. La finalidad de este transformador es la de bajar el voltaje de 13.8 KV, al valor adecuado para la alimentación de los dispositivos de control de los rectificadores. En cuanto a los datos técnicos de este transformador son similares a los descritos para el transformador de 112.5 KVA.

Transformador trifásico de 25 KVA, relación de transformación 13800-220 Volts, 60 Hz, conexión Delta-Estrella con neutro accesible, auto-enfriado en aceite, enfriamiento tipo "OA", diseñado para trabajar con una elevación de temperatura de 55°C, sobre una temperatura ambiente de 40°C., 4 derivaciones de 2.5% cada una, dos arriba y dos abajo del voltaje de 13,800 Volts., completo con los accesorios normales indicados por las normas.

C A P I T U L O I I I .

INTRODUCCION.

Un rectificador con Tiristores de Fase controlada, conocido comercialmente como convertidor, transforma una línea de corriente alterna a una de corriente directa ajustable. Esto, lo hace diferir de un rectificador con diodos, en el cual se tiene corriente rectificada, pero a voltaje constante. Este proceso es conocido como rectificación, la línea de corriente directa también puede convertirse en corriente alterna. Cuando los Tiristores desempeñan esta función son conocidos con el nombre de inversores. Un convertidor que sólo puede realizar una de estas funciones, es llamado rectificador o inversor, respectivamente.

En la industria moderna los convertidores con tiristores, encuentran su mayor aplicación en el suministro de energía a las armaduras de los motores de corriente directa, principalmente en los destinados a proporcionar fuerza mecánica a los molinos de los trenes de laminación en la industria del acero.

a).- Puentes Rectificadores con Tiristores.

Existen varias configuraciones de tiristores para integrar un convertidor, dependiendo de la capacidad requerida, del nivel de rizo de la corriente rectificada y de la relación de impedancia necesaria. Entre los arreglos de tiristores que mayor evolución han tenido, se encuentran los que integran convertidores simples de seis fases y los dobles, también de seis fases. Esto se debe, entre otras razones, a su relativa sencillez y a la mayor eficiencia que con estos arreglos se obtiene del transformador de potencia utilizado para ajustar el voltaje al valor de alimentación de los puentes rectificadores.

Una de las principales diferencias entre los convertidores de seis fases simple y doble, es que en el primero, la corriente es unidireccional, en tanto que el voltaje presenta las dos polaridades lo cual significa que en un instante dado, la potencia es negativa, indicando una carga generativa en tanto que en el convertidor doble, tanto el voltaje como la corriente tienen la misma polaridad en cualquier instante, consecuentemente su producto, que por definición es la potencia, siempre es positivo, lo que implica un suministro de energía por parte del convertidor en todo momento.

En la figura No. 3-1, se muestra el diagrama simplificado de un convertidor simple de seis fases (conexión doble estrella), donde puede apreciarse, en primer término, el transformador de potencia, cuyo propósito principal es el de ajustar el voltaje de la línea de alimentación al valor apropiado, proporcionar aislamiento e introducir reactancia inductiva en la trayectoria de la corriente del convertidor. Es aconsejable utilizar la conexión delta cuando menos en uno de los devanados del transformador, para eliminar el efecto del flujo de la tercera armónica en el núcleo.

La inductancia introducida por el transformador, así como otras reactancias adicionales, tienen como finalidad controlar los rangos de corriente durante la conmutación y cuando ocurra alguna falla, como se verá posteriormente.

En la figura No. 3-2, se muestra nuevamente un puente rectificador de seis fases doble vía, donde se han desarrollado las principales formas de onda ánodo-cátodo para un ángulo de compuerta ~~de~~ 75° .

Los trazos en línea punteada muestran los voltajes de línea del secundario del transformador, medidas desde la primera letra hasta la segunda letra terminal. Inicialmente, todos los tiristores se encuentran en estado de

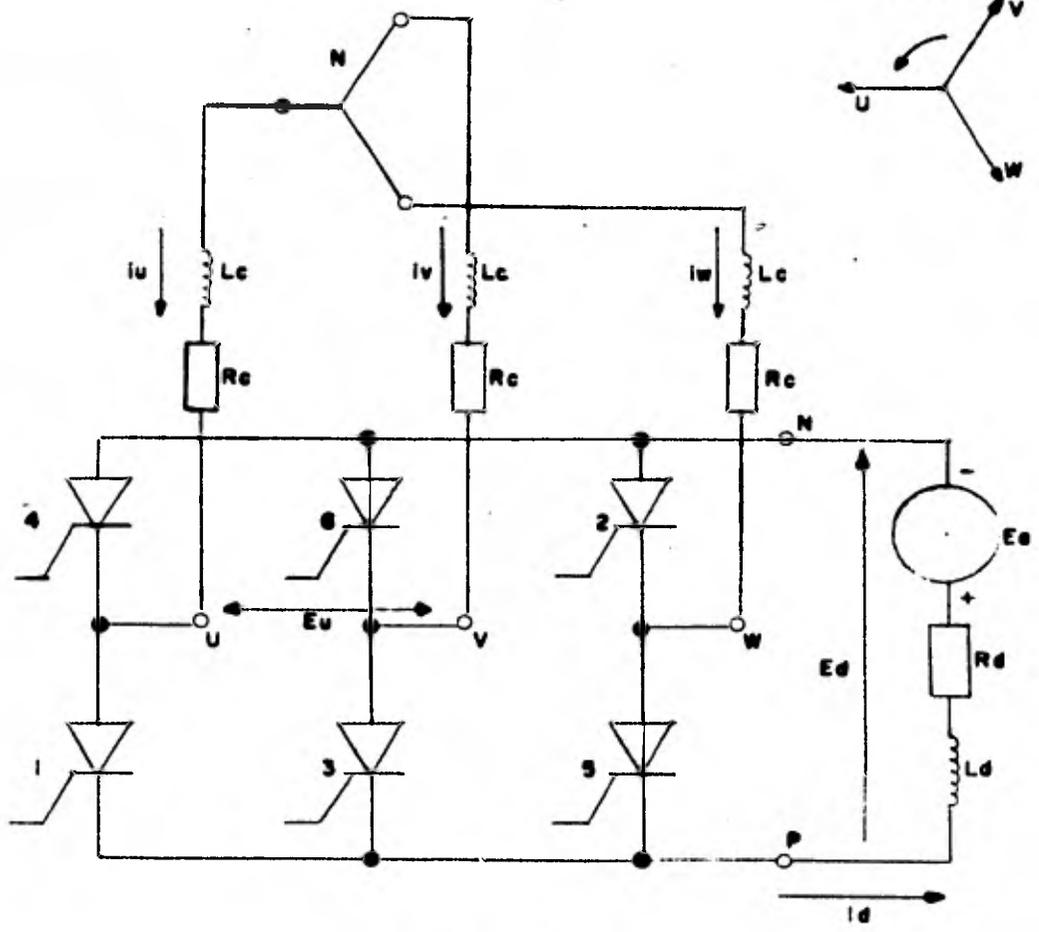
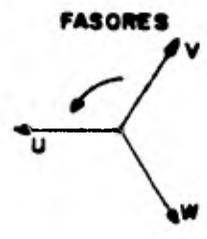
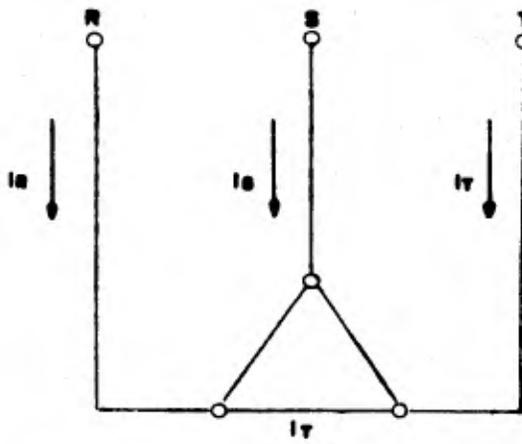


FIG. 3-1

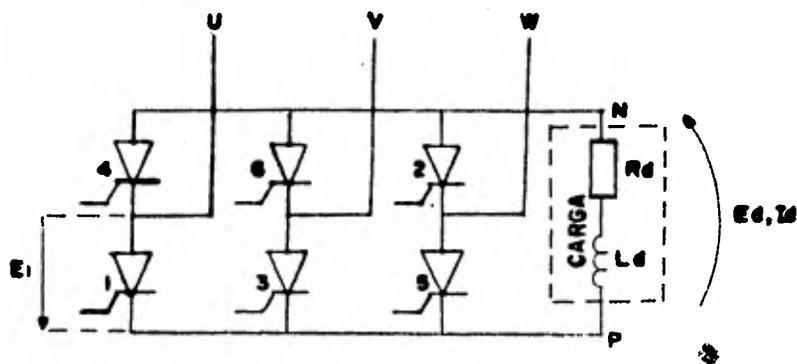
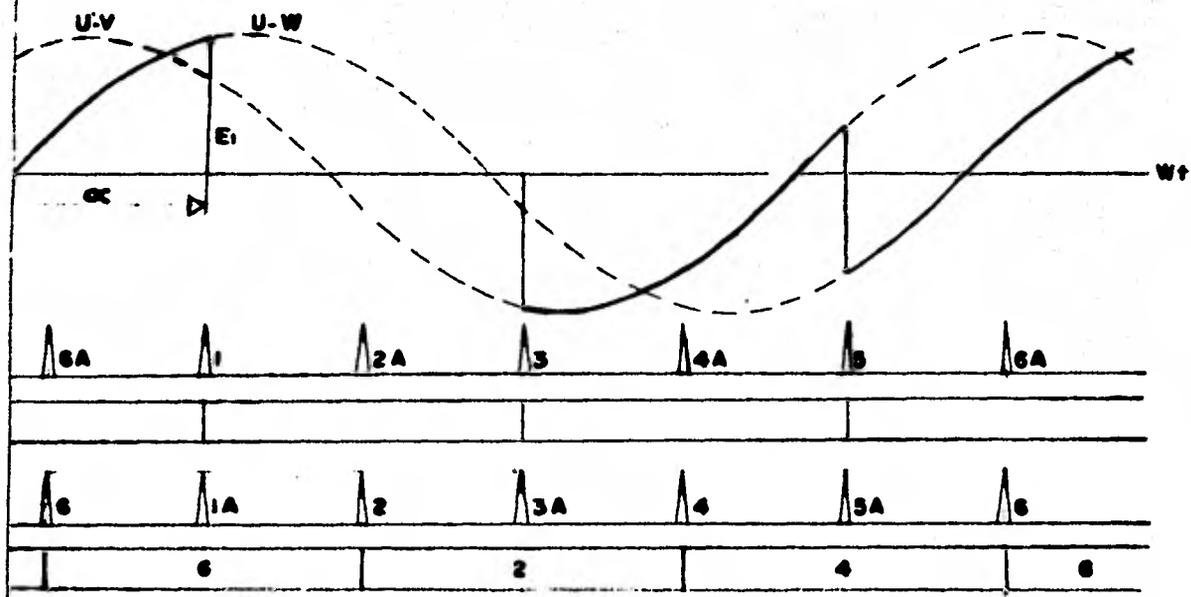
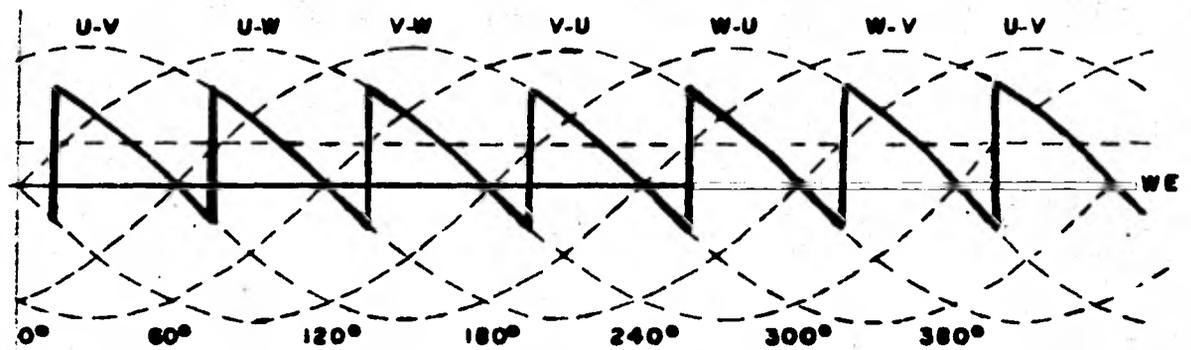


FIG. 3-2

corte en $\omega t = 15^\circ$ se aplica un pulso simultáneamente a las compuertas de los tiristores 5 y 6, entrando ambos en conducción y establecen un flujo de corriente desde W hasta P. A través de la carga llega esta corriente al punto N y de ahí sigue hasta V., con lo cual se está aplicando a la carga un voltaje de E_{wv} . Sin embargo, 60° después, en $\omega t = 75^\circ$, se aplican nuevos pulsos a las compuertas de los tiristores 1 y 6. Teniendo en cuenta que el número 6 es ya conductor, persiste en este estado, entrando en conducción el tiristor número 1, porque en este punto el voltaje E_{uv} es mayor que el E_{wv} . Nuevamente se tiene un flujo de corriente a través de la carga, en la misma manera que cuando eran conductores los tiristores 5 y 6. De una forma similar, 60° después, el tiristor número 2 y el tiristor número 1, estarán compuerteados y tendrá lugar una conmutación igual a las anteriores.

Como en la realidad la carga es altamente inductiva, en la mayoría de los casos la corriente continua alcanzará un nivel constante después de un cierto número de ciclos y cada tiristor estará en estado de conducción durante 120° en cada ciclo.

Cabe hacer notar que el ángulo de compuerta está medido desde el punto en que el voltaje ánodo-cátodo del respectivo tiristor cambia a positivo. De aquí que, para un án-

gulo 0° , los tiristores ya no tienen que absorber voltaje positivo y se comportan como simples diodos. El voltaje de salida E_d alcanza su máximo valor en $\alpha=0^\circ$ y es 0 en $\alpha=90^\circ$, tomando valores negativos en $\alpha=180^\circ$. Una curva de transferencia puede ser lograda al integrar las formas de onda, resultando:

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha, \quad \text{donde} \quad E_{d0} = \frac{3 \sqrt{2}}{\pi} E_u$$

E_u Voltaje de líneas RMS

Debido a que, como ya se indicó, la característica de este convertidor es que la corriente sólo presenta una polaridad, el flujo promedio de potencia cambia su signo con el voltaje. La operación del rectificador, para un ángulo de disparo menor de 90° , origina motorización en el circuito de carga mientras que para un ángulo mayor de 90° requiere que la carga sea generativa.

Las reactancias inductivas producidas por el transformador de potencia, los reactores adicionales en la línea de corriente alterna y la propia línea, juegan un papel importante durante la conmutación. En lugar de una conmutación instantánea de la corriente de carga de una terminal a otra (al conmutar ésta última), se requiere de cierto tiempo de retardo, lo cual influye en el porcentaje de on-

dulación de la corriente rectificada. Esto, a su vez, produce muescas en la onda senoidal en los puntos U-V-W, lo cual reduce el nivel de voltaje en el lado de C.C.

Tomando en cuenta estos efectos de conmutación, podemos derivar una ecuación del convertidor, incluyendo esta caída reactiva.

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha - E_{d0} \frac{1}{2} X_c I_d / I_{dn}$$

dónde;

X_c = Reactancia inductiva total.

I_d Corriente Instantánea.

I_n Corriente directa nominal.

La ecuación anterior, tiene validez únicamente para corrientes de carga donde no aparecen discontinuidades, lo cual no sucede en la práctica, por lo que esta ecuación debe considerarse como una aproximación a la realidad.

La conmutación de la primera a la segunda terminal, debe completarse siempre antes que el voltaje de ánodo de la primera terminal, cambie a negativo. Si éste último sucede, la conmutación es incompleta y toda la corriente de carga conmutará a la primera terminal.

El circuito descrito hasta aquí, puede proporcionar voltaje de ambas polaridades; la corriente sin embargo, puede fluir únicamente en una dirección. En la de conducción de los tiristores, este circuito es el que se conoce como unidireccional o convertidor simple.

Si se requiere disponer de corriente de ambas direcciones, se utiliza otro convertidor simple conectado al anterior en un arreglo denominado "antiparalelo", debido a que ambos convertidores simples se encuentran conectados a la misma diferencia de potencial pero en un arreglo invertido. Esto puede observarse en la figura No. 3-3; a este circuito se le conoce como "bidireccional o convertidor doble".

b).- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CONVERTIDORES CON TIRISTORES.

Los convertidores con tiristores están reemplazando actualmente con grandes ventajas a los rectificadores de mercurio ya que representan la forma más eficiente y confiable para alimentar la armadura de grandes motores de corriente continua, tales como los utilizados en la industria del papel, en la industria de la extracción y laminación de metales y en general, donde se requiere de energía mecánica cuyo control sea versátil, rápido y confiable.

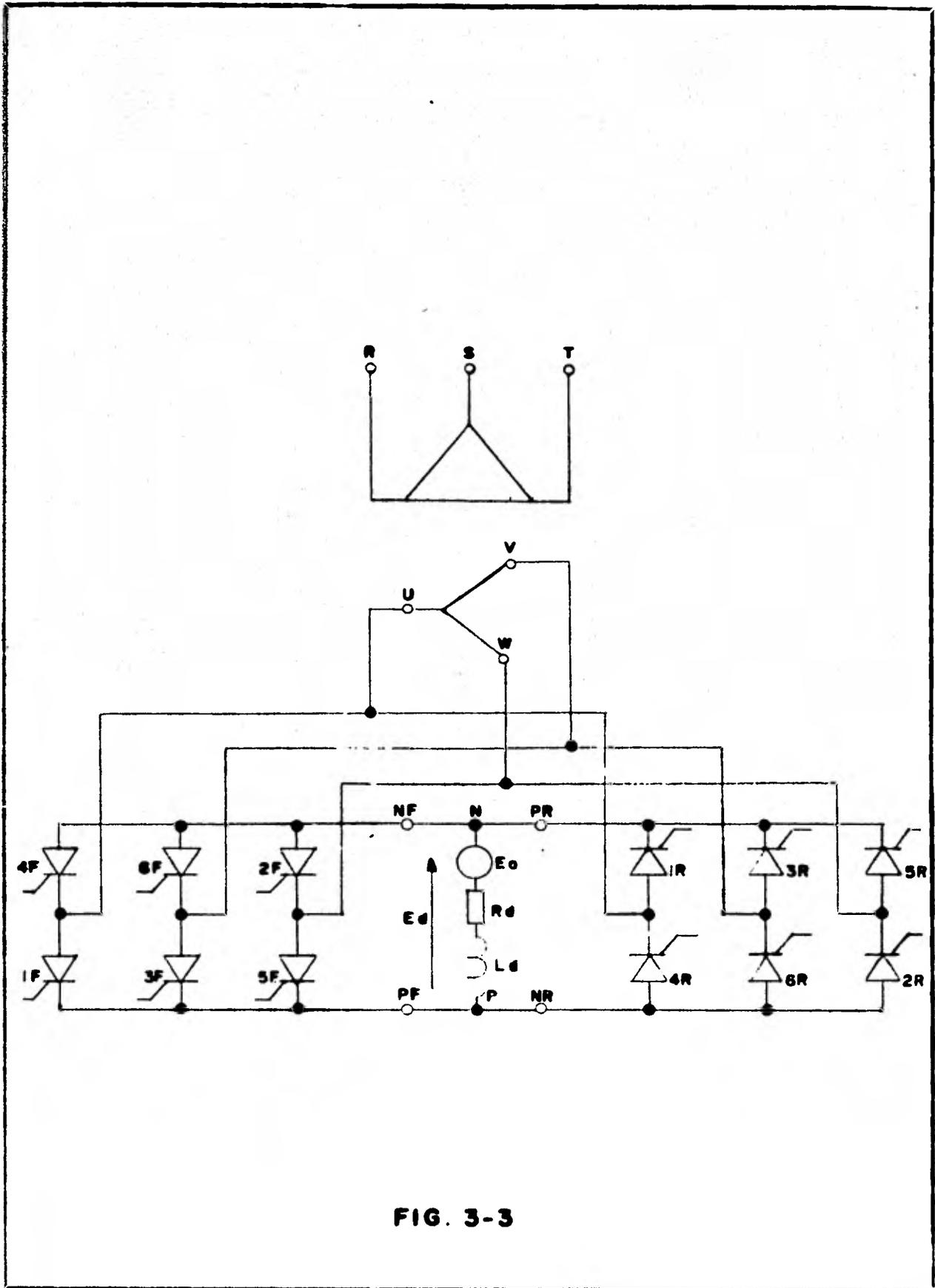


FIG. 3-3

Actualmente, con un convertidor de tiristores, es posible alimentar motores de corriente continua, cuya capacidad se encuentre comprendida entre 15 y 15,000 H.P., y en ciertos casos especiales para capacidades mayores.

Las principales ventajas que se obtienen con un convertidor de tiristores, respecto a cualquier otro tipo de rectificadores, es su flexibilidad en la operación y la posibilidad de contar con circuitos electrónicos en tarjetas impresas para el control y la protección contra fallas.

Un sistema típico de un convertidor con tiristores, puede ser observado en la figura No. 3-4, donde se muestra, de arriba hacia abajo, la línea de corriente alterna y un seccionador tripolar con fusibles para la protección y desconexión del equipo del resto de la red, localizado en el lado primario del transformador, el transformador de potencia para ajustar el voltaje al valor requerido, un interruptor automático por cada puente rectificador, el cual lleva incorporada una bobina de disparo a emisión de corriente que permite la desconexión del mismo por medio de una señal proveniente del monitor detector de fallas, puente rectificador (de uno a dos puentes, según la capacidad requerida), una reactancia de equilibrio de corriente en serie por cada fase y finalmente, un circuito RC para limitar los transitorios de voltaje.

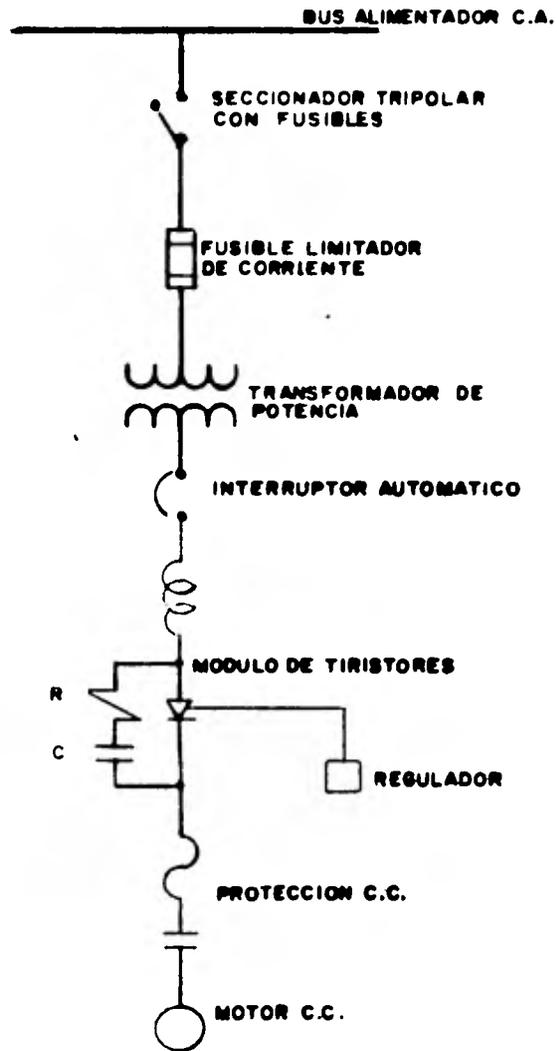


FIG 3-4

Independientemente de la elección de un transformador de potencia cuya impedancia, en caso de corto circuito, limite la corriente a un valor adecuado para no dañar a los tiristores, el interruptor automático de protección está gobernado por un circuito electrónico, el cual, de acuerdo con la falla detectada, ordena la apertura del interruptor en el tiempo deseado.

En la figura anterior puede observarse además, un regulador para el control de la operación de los tiristores y en la línea de corriente directa los elementos de protección para la carga, y finalmente aparece el motor (la carga).

c).- CAPACIDADES NOMINALES Y TIPOS COMERCIALES DE CONVERTIDORES CON TIRISTORES DE POTENCIA.

El convertidor montado en la fábrica de TAMSA, para la alimentación de sus motores en los trenes de laminación, es uno de los tres tipos principales que ha diseñado la compañía fabricante de equipo eléctrico y electrónico Westinghouse, los cuales pueden considerarse prototipo de los que actualmente existen en el mercado y cuyas capacidades nominales son las siguientes:

Convertidor tipo M5B.- Este tipo de convertidor se aplica a sistemas de pequeña y mediana potencia, teniendo capaci-

dad para alimentar motores de C.C. de 15 a 150 H.P., para un voltaje de 240 V. y motores de 150 a 400 H.P., a voltajes de 500 y 600 Volts.

Convertidor tipo M4CL.- Este convertidor está diseñado para alimentar motores de C.C. cuya capacidad oscile entre 200 y 1000 H.P. a voltajes de operación de 240, 500 y 600 Volts.

Convertidor tipo M4CH.- Es uno de los convertidores de mayor capacidad que se encuentran en operación actualmente en México y se utiliza en el suministro de energía a la armadura de motores de 600 a 6000 H.P., cuando el convertidor es de puente sencillo y que en la nomenclatura comercial se le conoce como rectificador de seis pulsos o rectificador de seis fases doble vía. Para motores con capacidad de 1000 a 15000 H.P., se utiliza el convertidor M4CH doble (2 puentes de seis tiristores cada uno), para ambos convertidores los voltajes estandarizados de operación son: 500, 600, 750 y 800 Volts.

d).- EL CONVERTIDOR M4CH.

d.1).- Generalidades.-

En procesos de fabricación donde se requiera inversión instantánea de giro, aumento o reducción de velocidad con-

trolada y paros sujetos a ciertos requerimientos especiales de los motores, la alternativa más viable en la industria moderna, es un convertidor con tiristores. Primero, porque como ya se estableció, con estos rectificadores, se obtiene un voltaje ajustable; y segundo, porque la rapidez de respuesta inherente a los dispositivos de estado sólido, únicamente se ve limitada por la inercia de los equipos mecánicos que compongan el sistema. Por eso se ha hablado de la versatilidad de un convertidor de tiristores.

Además de establecer que una de las principales características de un convertidor del tipo descrito era su versatilidad, se dijo que es el medio más confiable de suministrar energía a la armadura de los motores de C.C. De esta confiabilidad, nos puede dar una idea lo que a continuación se detalla:

El convertidor completo se encuentra compuesto por módulos electrónicos de control y protección, como se observará posteriormente, al estudiarlo mediante un diagrama de flujo. Cada módulo está formado por tarjetas electrónicas, las cuales son circuitos impresos y cada uno de estos circuitos está diseñado de tal manera que desempeña una función determinada pero completamente definida. Así, por ejemplo, se tiene la tarjeta GPG, que es una tarjeta que genera los pulsos de disparo de los tiristores. Si esta

tarjeta por alguna razón llegara a fallar, inmediatamente puede sustituirse, ya que están insertadas de tal manera, que son fácilmente intercambiables. Estos, independientemente de que los dispositivos electrónicos tienen una vida útil muy superior a los electromecánicos o electromagnéticos y una de las principales razones de esta longevidad, es la ausencia de movimiento que ocasione fricción y desgaste, además de la menor sensibilidad a los cambios ambientales.

Aunadas a las características intrínsecas de los semiconductores y a las características de construcción del convertidor, descritas anteriormente, para aumentar la confiabilidad en este tipo de convertidor, se cuenta con las siguientes protecciones: Existen supresores de onda a través de la línea que evitan que los tiristores sean dañados debido a los transitorios de voltaje, las redes RC que limitan la relación de rizo de voltaje y que también proporcionan protección contra los transitorios. En serie con los tiristores, se encuentran montados reactores con núcleo de ferrita cuya finalidad es la de limitar corriente durante la conmutación, lo cual, además de otros efectos nocivos, puede producir calentamiento en los tiristores.

Otra de las protecciones con que cuenta el convertidor M4CH, es el supresor de pulsos, que actúa cuando en el sistema ocurre algún corto circuito.

Además de la protección instantánea, la sobrecorriente y la protección de tiempo inverso, el convertidor está provisto de protección contra:

- La desenergización de dos de las tres fases de alimentación.
- Secuencia incorrecta de fases.
- Averías en el regulador de potencia.
- Bajo voltaje en la línea C.A.

Otra de las aplicaciones de los convertidores con tiristores ha sido la rectificación de corriente para la excitación del campo de los motores de continua y de los síncronos en el caso de los de alterna. Sin embargo, en TAMSA la excitación de los motores de 1600 KW, se lleva a cabo mediante un grupo motor generador.

d.2).- Gabinete del Convertidor.-

El Convertidor con tiristores de potencia tipo M4CH, se encuentra normalmente alojado en tres clases de gabinetes, los cuales son del tipo autosoportado con enfriamiento tipo NEMA I, distribuidos de la siguiente manera:

d.2.1).- Gabinete Entrada-Salida.-

Esta sección aloja todos los accesorios de entrada y salida, tales como tablillas terminales para las conexiones de los conductores de corriente alterna de entrada y los de corriente continua de salida, además de los transformadores de corriente para los circuitos de protección y medición.

d.2.2).- Gabinete de Tiristores.-

Estos gabinetes (uno a cada lado del gabinete de entrada y salida), contiene principalmente:

- El módulo de potencia de tiristores o puentes de tiristores.
- Los reactores balanceadores de carga.
- Ventiladores integrados para el enfriamiento.
- Amplificadores y distribuidores de pulsos de compuerta.
- La red de derivación para supresión de los transitorios de voltaje.

d.2.3).- Gabinete de Regulación y Control.-

En este gabinete se encuentran contenidos el regulador básico y el regulador variable, consistentes en circuitos impresos alojados en estuches embisagrados en la parte recta frontal de la puerta.

Contiene además los siguientes dispositivos:

- Transformadores de control de compuerta.
- Transformador auxiliar para el control de C.A.
- El regulador del suministro de energía eléctrica.
- Relevadores y contactores de salida.
- Red de alimentación de voltaje.
- Indicadores de sobrevoltaje.
- Indicadores de sobrevelocidad.
- Indicadores de pérdida de campo.
- Indicadores de sobrecargas en el motor.

d.2.3.1).- Regulador Básico.-

El regulador básico, es un conjunto de módulos electrónicos destinados a gobernar todas las operaciones del convertidor y comprende circuitos de mando tales como: sistema de pulsos de compuerta, el sincronizador de pulso, amplificadores de pulso y los monitores contra fallas. Es el regulador básico quien da las órdenes para que los

puentes con tiristores conduzcan o dejen de hacerlo. Este conjunto de módulos es común a todos los convertidores con tiristores.

d.2.3.2).- Regulador Variable.-

Cuando se requiere manejar ciertas variables tales como la corriente de campo y armadura, voltaje en los buses, velocidad, posición, temperatura, potencia, presión, etc., se hace necesario contar con otro tipo de controles, los cuales están constituidos por el regulador variable, que además desempeña otras funciones como compensador de inercia, balanceador de carga, balanceador de tensión o de velocidad.

El convertidor M4CH, además de incluir todos los elementos hasta aquí descritos, está equipado con accesorios tales como:

- Compuertas digitales.
- Detector de fallas a tierra.
- Protector de fallas entre fases.
- Supresor de pulsos de compuerta para cuando ocurran situaciones como:
 - Sobrecorriente hacia adelante o reversa.

- Secuencia de fase indeseada.
- Caída de voltaje.

- Enfriamiento forzado con detectores de falla.
- Fusibles para la protección de las celdas de tiristores.
- Protección de los tiristores contra transitorios de voltaje, mediante redes filtradoras.
- Reactores para balanceo de la carga.
- Regulador de los circuitos de medición.

En la figura No. 3-5, se muestra una fotografía del convertidor tipo M4CH, tomada a la parte frontal del mismo, y en la que se distinguen las siguientes partes:

- 1.- Conexiones de AC y CC.- Todas las conexiones de entrada-salida se encuentran en el panel intermedio del convertidor, totalmente accesibles.
- 2.- Indicadores de Falla.- Esta señalización se lleva a cabo mediante luces indicadoras dispuestas en el mismo orden que los elementos de protección, lo que permite localizar con rapidez los dispositivos dañados.
- 3.- Entrada de Aire.- El aire es arrastrado a través del frente del gabinete y expulsado por las partes superior e inferior después de hacerlo circular en el interior.

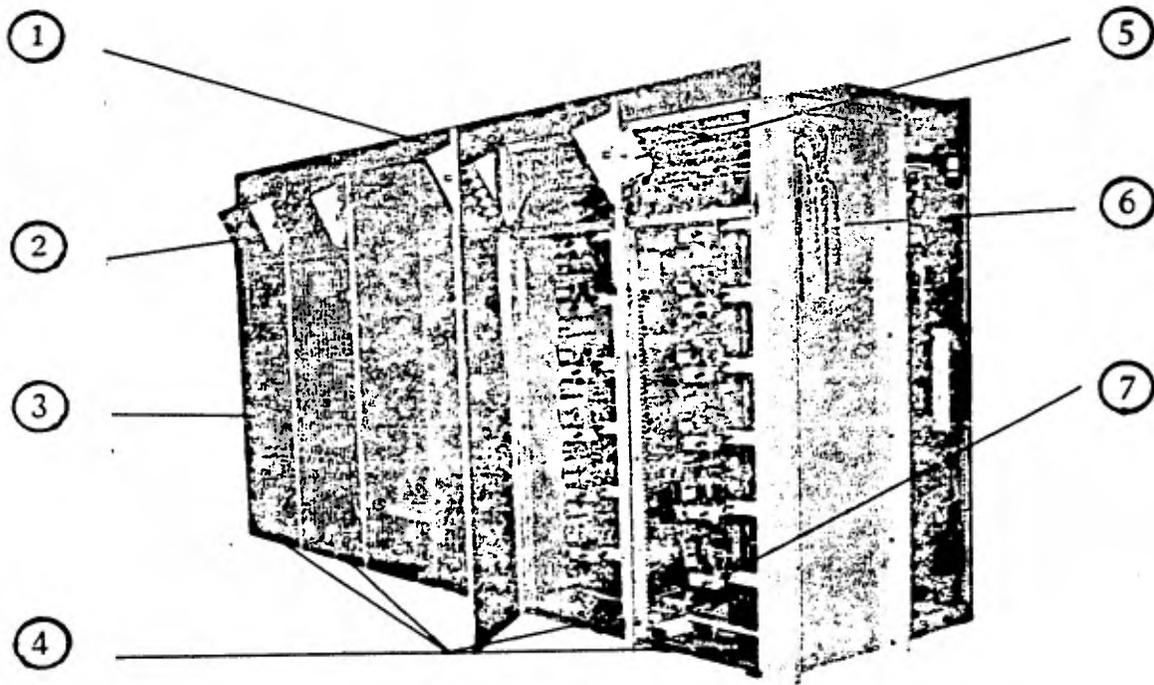


FIG. 3 - 5

- 4.- Gabinete de Tiristores.- Flanqueando el gabinete de entrada-salida, se encuentran los gabinetes que contienen a los puentes de tiristores.
- 5.- Amplificador de Pulsos de Compuerta.- Este amplificador puede observarse montado en la puerta pequeña superior de los gabinetes de tiristores. Existe un amplificador de pulsos por cada puente.
- 6.- Caja Derivadora o Caja de Empalme.- Localizada en la parte lateral del gabinete de tiristores, es aquí donde se concentran todas las conexiones del alambre de los circuitos de control.
- 7.- Ensamble de Tiristores.- Estos ensambles conforman una unidad compacta fácilmente intercambiable. Los fusibles de protección para los tiristores, también pueden ser reemplazados sin interferir el funcionamiento de los tiristores.

Una vista posterior del convertidor puede ser observada en la fotografía de la figura No. 3-6, apreciándose lo siguiente:

- 1.- Ventilación.- Para la circulación del aire dentro de los gabinetes, se encuentran instalados en cada uno de ellos, un extractor en la parte superior. Estos extractores son aparatos silenciosos (operan a un ruido menor de 80 dB cada uno).

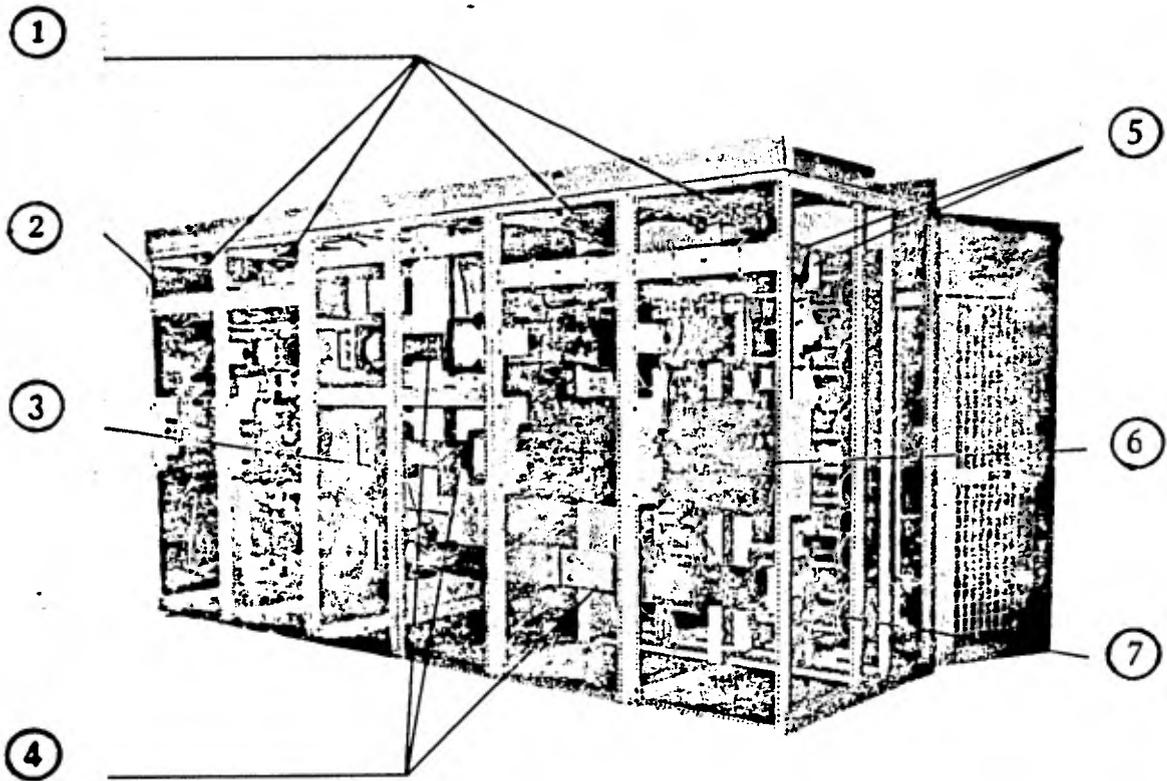


FIG. 3 - 6

- 2.- Resistencia de Precalentamiento.- Cuya función es la de controlar la humedad y mantener la temperatura dentro de ciertos límites.
- 3.- Transformadores de Corriente.- En cada uno de los puentes y sobre la línea de C.A., se encuentra un transformador de corriente para medición, protección y control.
- 4.- Buses de Corriente Alterna.- Estas son una barras colectoras de cobre electrolítico soldadas en tramos dentro de los gabinetes.
- 5.- Buses de Corriente Continua.- Al igual que los buses de corriente alterna, estos buses van soldados a lo largo de los gabinetes.
- 6.- Panel para la Red RC.- Las redes RC para la corriente alterna y continua suprimen los picos de voltaje y amortiguan los rizados durante la conmutación.
- 7.- Ensamble de Reactores.- Introducen reactancias inductiva, ayudan al balance de carga y proporcionan protección contra la variación de corriente respecto al tiempo.

e).- FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR TIPO M4CH.

En la figura No. 3-7, se ha desarrollado mediante un diagrama de flujo las partes principales constitutivas del

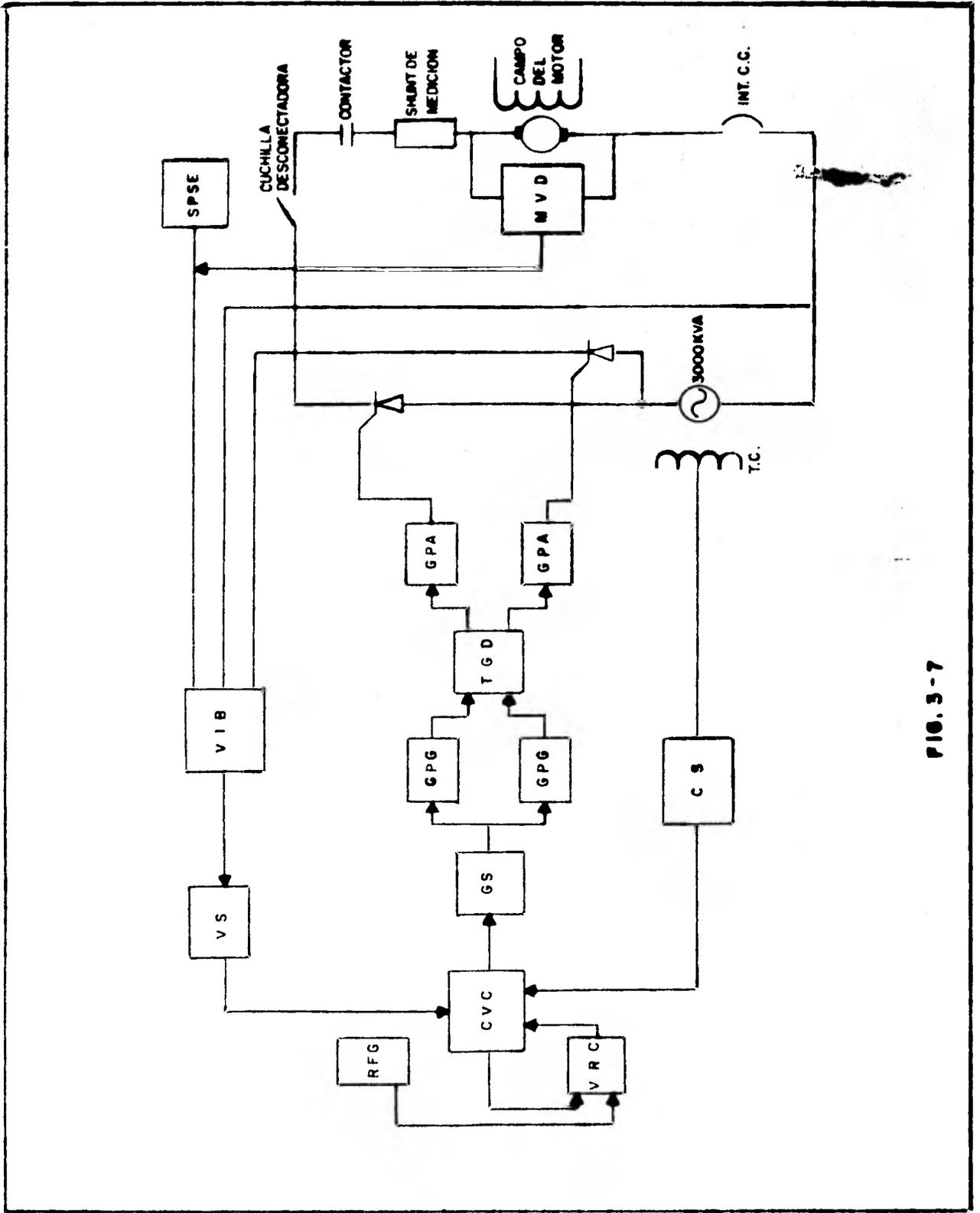


FIG. 3-7

convertidor explicándose brevemente el funcionamiento de cada módulo o tarjeta electrónica.

e.1).- Generador de Pulsos de Disparo (GPG).-

Esta tarjeta genera los pulsos para disparar los tiristores a un ángulo determinado por un voltaje de control V_c . La conversión del voltaje de entrada V_c a un cierto ángulo de disparo se hace por medio de una rampa generada internamente. La rampa está sincronizada para conmutar el voltaje en los tiristores de potencia por una señal de sincronización externa.

Cada GPG tiene tres circuitos idénticos para generación de un tren de pulsos espaciados 120° eléctricos. El sistema completo de disparo requiere una función de sincronización para sincronizar el inicio de la rampa y un amplificador del tren de pulsos para disparar el tiristor.

e.2).- Sincronizador de Disparo (GS).-

El sincronizador de disparo genera la información digital usada por el generador de pulsos de disparo (GPG) para determinar el ángulo de disparo de los tiristores.

El voltaje de sincronización se obtiene de un transforma-

dor trifásico, el cual tiene una relación fija de fase con respecto al voltaje de conmutación de los tiristores.

Esta tarjeta también desempeña las funciones de oscilador para el tren de pulso de la señal de disparo, monitor de falla por secuencia de fases incorrecta, bajo voltaje y falla de una fase. Limitador analógico para el control del voltaje de disparo para proveer el avance o retardo en los límites de ángulo de disparo.

e.3).- Amplificador del Tren de Pulsos (GPA).-

Tiene por objeto amplificar los pulsos generados en el GPG, al nivel requerido por la compuerta de los tiristores.

e.4).- Disparador de Tiristores (TGD).- (THRISTOR GATE DRIVER).-

Esta tarjeta se usa para disparar los tiristores ya sea directamente o a través del amplificador de pulsos de disparo (GPA).

e.5).- Sensor de Voltaje (VS).-

Esta tarjeta está diseñada para sensar el voltaje del bus

de C.C. y convertirlo en una señal de voltaje para usarse en el regulador, así como proveer aislamiento del bus. El objeto de sensar el voltaje es registrar el valor de éste en la línea de C.C. y mandar señales al regulador básico.

e.6).- Sensor de Corriente (CS).-

El propósito de esta tarjeta es suministrar un voltaje que es proporcional a la corriente de salida en el puente de tiristores. Esto se lleva a cabo sensando la corriente alterna en las tres fases que entran al puente de tiristores por medio de los transformadores de corriente conectados en estrella. Un puente de diodos en el sensor, rectifica la corriente y la regresa al neutro de la estrella a través de resistencia; la caída de voltaje en estas resistencias es proporcional a la corriente de salida de los puentes de tiristores. La finalidad de sensar esta corriente es conocer su valor y mandar señales al regulador básico en caso de que esta corriente no esté dentro de los valores requeridos.

e.7).- Controlador del voltaje de referencia (VRC).-

Para que opere como un controlador de voltaje, la entrada se conecta a la salida del controlador de voltaje y corriente, la cual es la señal de demanda de voltaje para el módulo de tiristores de potencia.

e.8).- Generador de Función Rampa (RFG).-

Es un circuito de control que proporciona y que controla una señal de referencia que es aplicada al sistema. Por lo regular esta tarjeta se utiliza conjuntamente con otros circuitos de secuencia y calibración para la aplicación adecuada de la señal requerida.

e.9).- Protección del Suministro de Energía y Secuencia (SPSE).-

Esta tarjeta provee las secuencias y las protecciones requeridas por el convertidor. Proporciona protección contra: Sobrecorriente hacia adelante, sobrecorriente de reversa, corriente circulante, alimentación de fuerza incorrecta, fallas en los contactores y protección de sobrecarga con tiempo inverso.

La secuencia se refiere a la manera de desenergizar el sistema bajo determinadas condiciones. Por ejemplo, para ciertas condiciones de falla, es necesario que los pulsos de disparo sean suprimidos instantáneamente lo cual es llamado supresión de pulsos de disparo (GPS) y en cambio, para condiciones normales de paro se requiere un defasamiento controlado de los pulsos de disparo a los tiristores para llevar el volaje y la corriente a cero.

e.10).- Tarjeta Atenuadora de Voltaje (VIB).-

Esta tarjeta desempeña dos funciones:

- Red atenuadora de Voltaje.- Proporciona resistencia de aislamiento y atenuación de voltaje entre el bus de Corriente Continua y el sensor de voltaje contenido en el regulador básico.
- Protectora de fuerza contra electromotriz.- Un motor girado produce una fuerza contra electromotriz, la cual puede ser detectada. Para esta función está previsto el VIB, de un dispositivo óptico (vóltmetro) para detectar que el voltaje del motor llegue a un límite preestablecido, ésto produce una señal que es usada por la tarjeta de protección de secuencia y no permite que el contactor cierre a menos que el voltaje en el motor esté por abajo de este valor.

e.11).- Controlador de Corriente y Voltaje (CVC).-

Por medio de esta tarjeta se comparan las señales proporcionadas por el VS y CS cuya resultante es la que le indica al CS, si continúa el ciclo o se para en caso de alguna avería en el sistema.

e.12).- Detector de Voltaje del Motor (MVD).-

El presente dispositivo electrónico cumple con la función de tener perfectamente sensado el voltaje de alimentación de la armadura del motor de C.C.

A continuación se muestran tres diagramas sobre el mismo sistema de conversión de energía en forma de corriente alterna a continua.

La figura No. 3-8, constituye básicamente el mismo diagrama anterior, sólo que más simplificado. En ésta se ha reducido el regulador básico a un generador de pulsos que constituye el elemento básico para poner en conducción a los tiristores.

Aunque el diagrama de la figura No. 3-9 se ha estudiado en otros capítulos, nuevamente se reproduce, para no perder de vista la ubicación del convertidor dentro de todo el sistema de alimentación a los motores de los trenes de laminación.

Finalmente, en la figura No. 3-10, se representa el transformador de potencia cuya descripción completa se hizo en el capítulo anterior.

Sin embargo, en esta figura, aparte del arreglo especial para alimentar los dos puentes de tiristores, se pueden

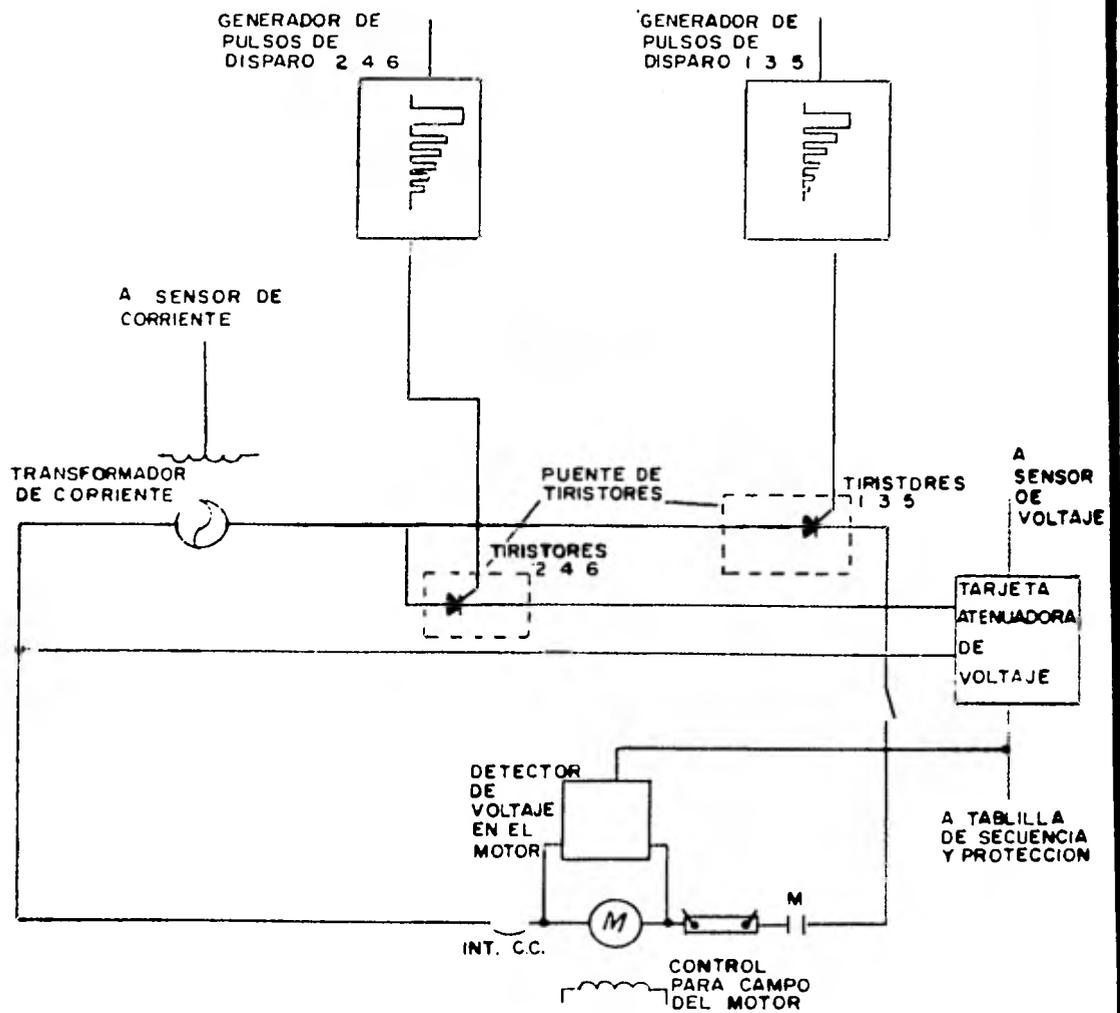


FIG. 3-8

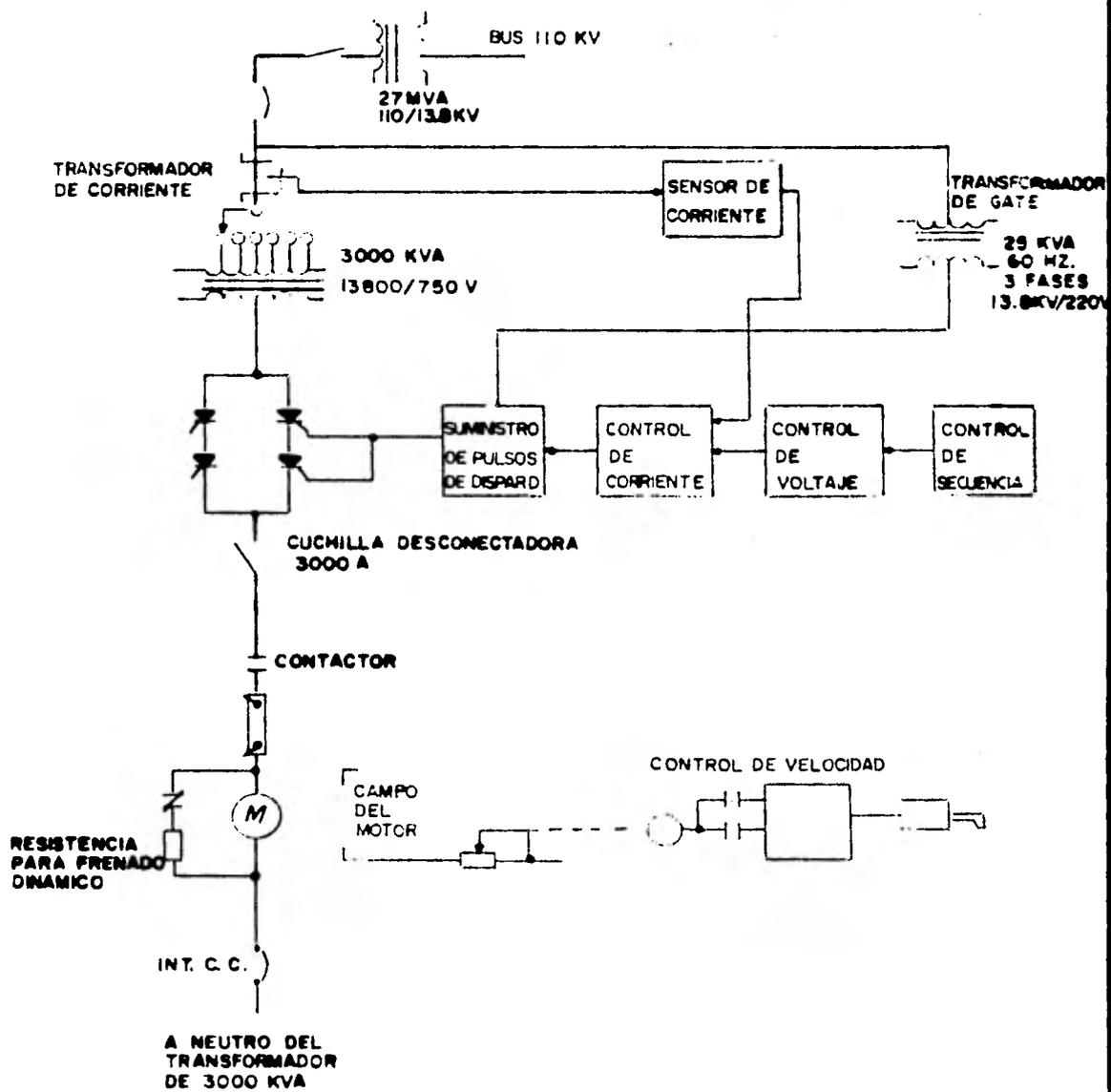


FIG. 3-9

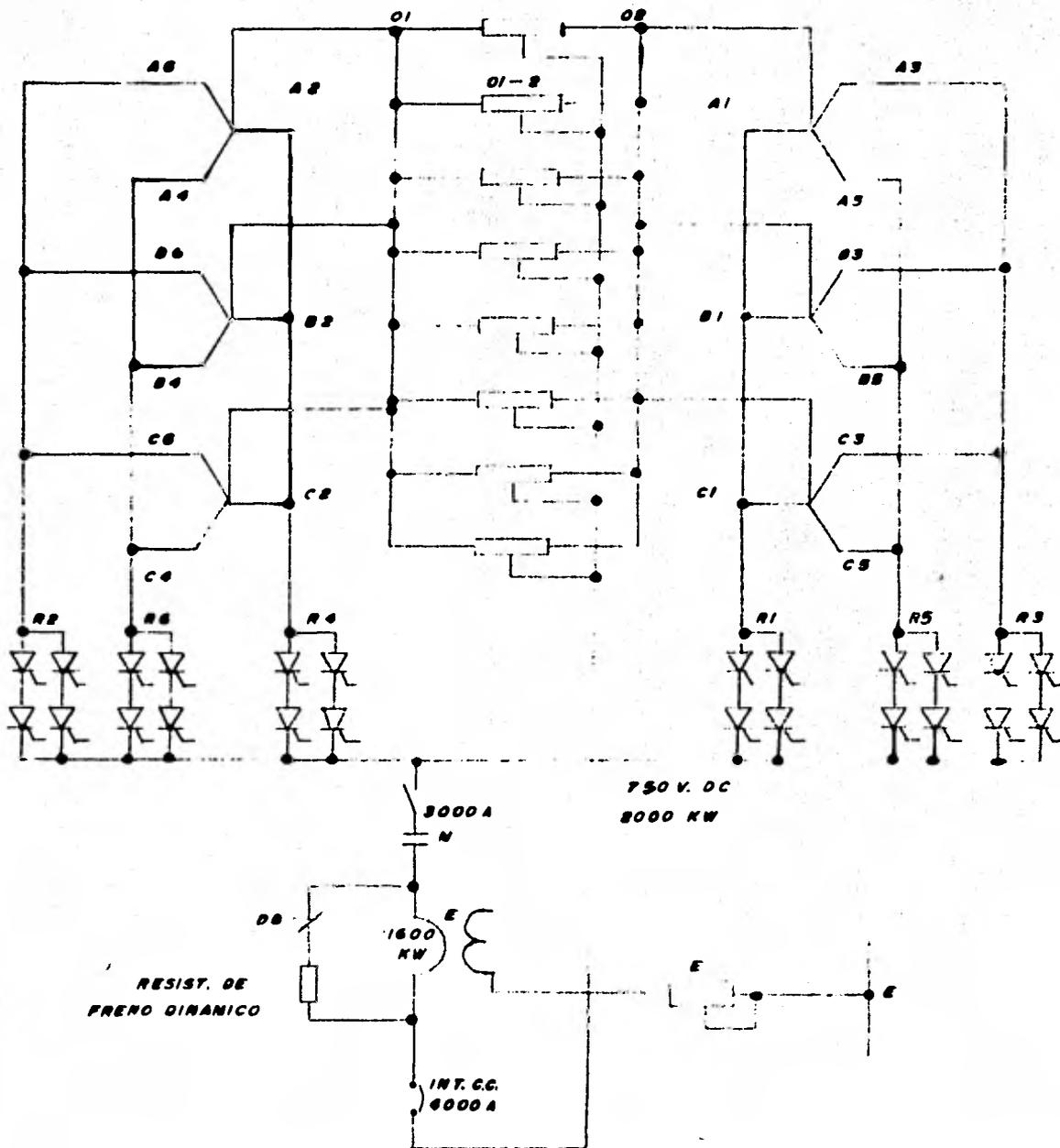


FIG. 3-10

observar también los reactores adicionales en la línea, cuya finalidad ha sido explicada al principio del presente capítulo.

f).-TABLA COMPARATIVA ENTRE EL CONVERTIDOR CON TIRISTORES Y RECTIFICADOR DE MERCURIO.

Con el objeto de concluir el presente capítulo, se resumirán a continuación las ventajas de un Convertidor con tiristores sobre los Rectificadores de Mercurio, mismas que han influido para que en la fábrica TAMSA, hayan decidido llevar a cabo el reemplazo de éstos últimos.

En principio, no es necesario modificar equipos importantes tales como el transformador de potencia, los interruptores de protección, el grupo motor-generador y muchos más que pueden ser utilizados indistintamente en un rectificador o en otro.

En cuanto a la superioridad del Convertidor con tiristores en relación al Rectificador de Mercurio, se puede anotar lo siguiente:

- 1.- Se dispone más fácilmente, en la actualidad, de partes de repuesto.

- 2.- El sistema con tiristores es de una respuesta mucho más rápida.
- 3.- Los componentes de estado sólido son más confiables.
- 4.- El rango completo de regulación de voltaje está disponible sin necesidad de cambiar de taps el transformador.
- 5.- Los problemas de arco inverso son eliminados.
- 6.- El sistema con tiristores proporciona una mejor regulación de voltaje y de corriente continua.
- 7.- No requiere de bombas de vacío.
- 8.- Los sistemas con tiristores son sistemas de una alta eficiencia, lo que reduce el costo en el consumo de energía.
- 9.- Los convertidores con tiristores requieren un mínimo de mantenimiento además de que el hecho de estar contruidos a base de tarjetas, facilita llevar a cabo esas labores de mantenimiento.
- 10.- El sistema puede ser fácilmente modificado para ajustarse a nuevas necesidades, ya que únicamente se trata de insertar más tarjetas para ampliar su capacidad.
- 11.- Los sistemas contruidos a base de bloques de circuitos integrados de estado sólido, son menos sensibles a los cambios ambientales.

C A P I T U L O I . V

INTRODUCCION

Una de las principales características que hace distinguir al motor de corriente continua y preferirlo en muchas aplicaciones entre los demás motores eléctricos, es su mayor capacidad de adaptación entre su velocidad y el par correspondiente, así como el alto poder de regulación de su velocidad en ambos sentidos de giro.

Junto a las enormes posibilidades de regulación ya conocidas del motor de C.C., se encuentra la perfeccionada técnica de los grupos Leonard y de los rectificadores en todas sus modalidades, muy particularmente los rectificadores con semiconductores (que es el caso que nos ocupa) y de los procedimientos de regulación y medición. Entre otras razones, lo anterior ha colocado al motor de corriente continua en un lugar privilegiado en la técnica de los accionamientos en general, alcanzando potencias de utilización hasta de 15,000 KW.

Debido a las características del motor de corriente continua expuestas en el párrafo precedente, en la fábrica TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S. A., se han instalado dos moto-

res de este tipo, mismos que son utilizados para proporcionar fuerza motriz a dos molinos laminadores, respectivamente.

Con el objeto de no caer en reiteraciones innecesarias, dejaremos establecido que ambos motores están sometidos a idéntico régimen de trabajo, por lo que en lo sucesivo nos referiremos única y exclusivamente a un solo motor, en lo que se refiere a sus características y condiciones de operación, así como en lo relativo a todo el equipo indispensable para la alimentación y el control, como son: Tablero de arranque, tablero de distribución de C.C. y la consola del operador.

a).- DESCRIPCION DEL MOTOR DE 1600 KW.

a.1).- Características generales.

Motor eléctrico de corriente continua, construcción horizontal, con excitación independiente, diseñado para absorber sin ningún inconveniente, las rápidas variaciones de carga impuestas por el proceso de laminación. Tiene además, las características de una velocidad casi lineal y una excelente conmutación, ya sea en régimen estático o dinámico.

Otras características principales de construcción son: Motor totalmente cerrado con ventilación exterior, armazón MCL-350 F71, aislamiento clase "F", flecha sólida, acoplado por medio de cople PULL, y diseñado para servicio continuo, ya que a pesar de estar sometido a rápidas variaciones de carga, no está sujeto a paros y arranques intermitentes.

Los datos técnicos de placa son los siguientes:

Año de fabricación	1953.
Marca	Marelli.
Potencia	1600 KW (2175 HP).
Voltaje de Armadura	750 Volts C.C.
Corriente de Armadura	2270 Amperes.
Velocidad	350 a 550 RPM.
Excitación	Separada.
Voltaje de Excitación	220 Volts.
Corriente de Excitación	28.5 Amperes.
Rotación	Antihoraria.

A continuación, se describen los principales sistemas auxiliares que juegan un papel importante para que el motor opere bajo condiciones normales de diseño con un rendimiento óptimo.

a.2).- Ventilación.

El sistema de ventilación para el enfriamiento del motor, es del tipo de ventilación forzada, por medio de un ventilador colocado externamente a la máquina. El aire impulsado se divide en dos partes: una para la ventilación del inducido, y la otra para el enfriamiento del colector, por lo que se considera de suma importancia contar con un sistema de señalización que indique que el ventilador está operando. Este sistema de señales está compuesto por dispositivos de control tales como: detectores de flujo de aire y de agua, utilizándose ésta última para el enfriamiento del aire de ventilación.

a.3).- Lubricación.

El motor está acondicionado con un sistema para la lubricación de las chumaceras, cuya finalidad es la de evitar altas temperaturas y al mismo tiempo, disminuir las pérdidas por fricción. Al igual que en el sistema de ventilación, este sistema está provisto de un circuito de señalización que indica el nivel de aceite y la temperatura que se tiene en las chumaceras. Los dispositivos para desempeñar esta función, son un detector del nivel de aceite y un detector de temperatura, respectivamente.

a.4).- Calefacción.

Por último, el motor cuenta con un sistema de calefacción para evitar que la humedad penetre a los devanados cuando el motor se encuentra en reposo, ocasionando con ésto un prematuro envejecimiento de los mismos. Este sistema de calefacción lo constituye un calentador formado por una resistencia eléctrica, colocada en la parte inferior de la máquina y que opera automáticamente cuando se suspende la alimentación principal a ésta última.

a.5).- Excitación.

La excitación del campo del motor de 1600 KW se lleva a cabo mediante un grupo Motor-Generador (MG), cuyas principales características son las siguientes:

	MOTOR:	GENERADOR:
Marca	Marelli	Marelli
Potencia	130 H.P.	50 KW
Voltaje	440 V.C.A.	220 V.C.C.
Velocidad	1160 R.P.M.	1160 R.P.M.
Conexión	Estrella- Delta	Excitación Compound.
Voltaje de excitación		220 V.C.C.
Corriente de excitación		15 Amperes.

El arranque del motor del grupo MG, se efectúa por medio de una combinación de interruptor termomagnético con arrancador a voltaje reducido, tipo autotransformador, tamaño NEMA 5, alojados en un gabinete fabricado con lámina rolada en frío y estructura de perfiles de acero laminado, autoportado directamente en el piso.

a.6).- Regulación de velocidad.

Al ponerse en marcha el grupo MG, el generador se autoexcita y su campo es controlado por medio de un reóstato, controlando con ello el voltaje generado. Este voltaje es conducido a un tablero cuya función principal es la de regular la excitación al motor de 1600 KW, regulando así la velocidad de dicho motor.

El tablero de regulación de velocidad mencionado, se encuentra dividido en dos secciones. Según se muestra en la fig. 4.1a., cada sección está destinada para desempeñar las siguientes funciones:

a.6.1).- Sección I.

En esta sección se encuentran los mecanismos para regular la excitación del grupo Motor-Generador, dentro de los cuales se encuentra un reóstato de campo (6), con el cual se varía el voltaje generado por el grupo generador.

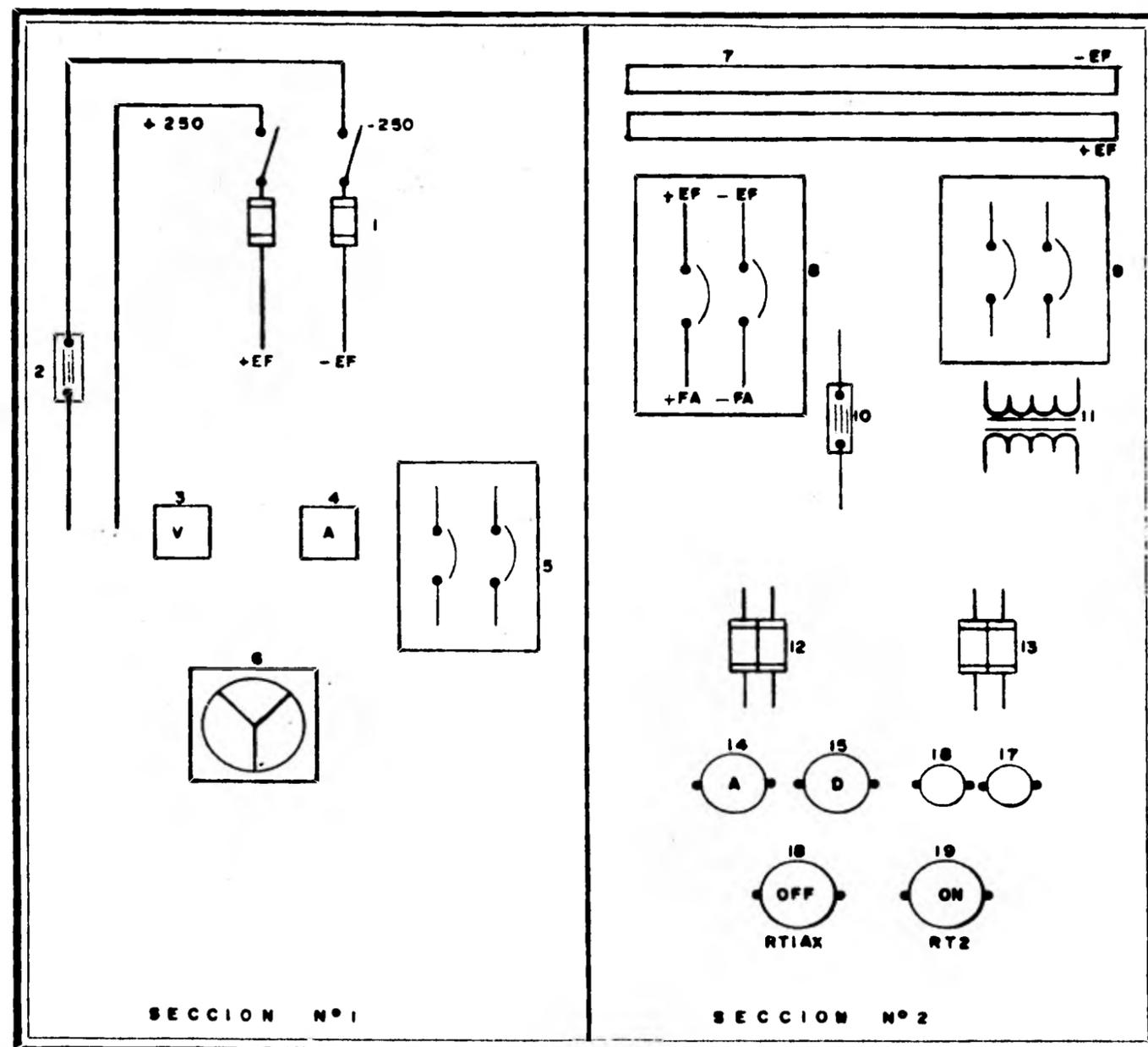


FIG. 4-1a

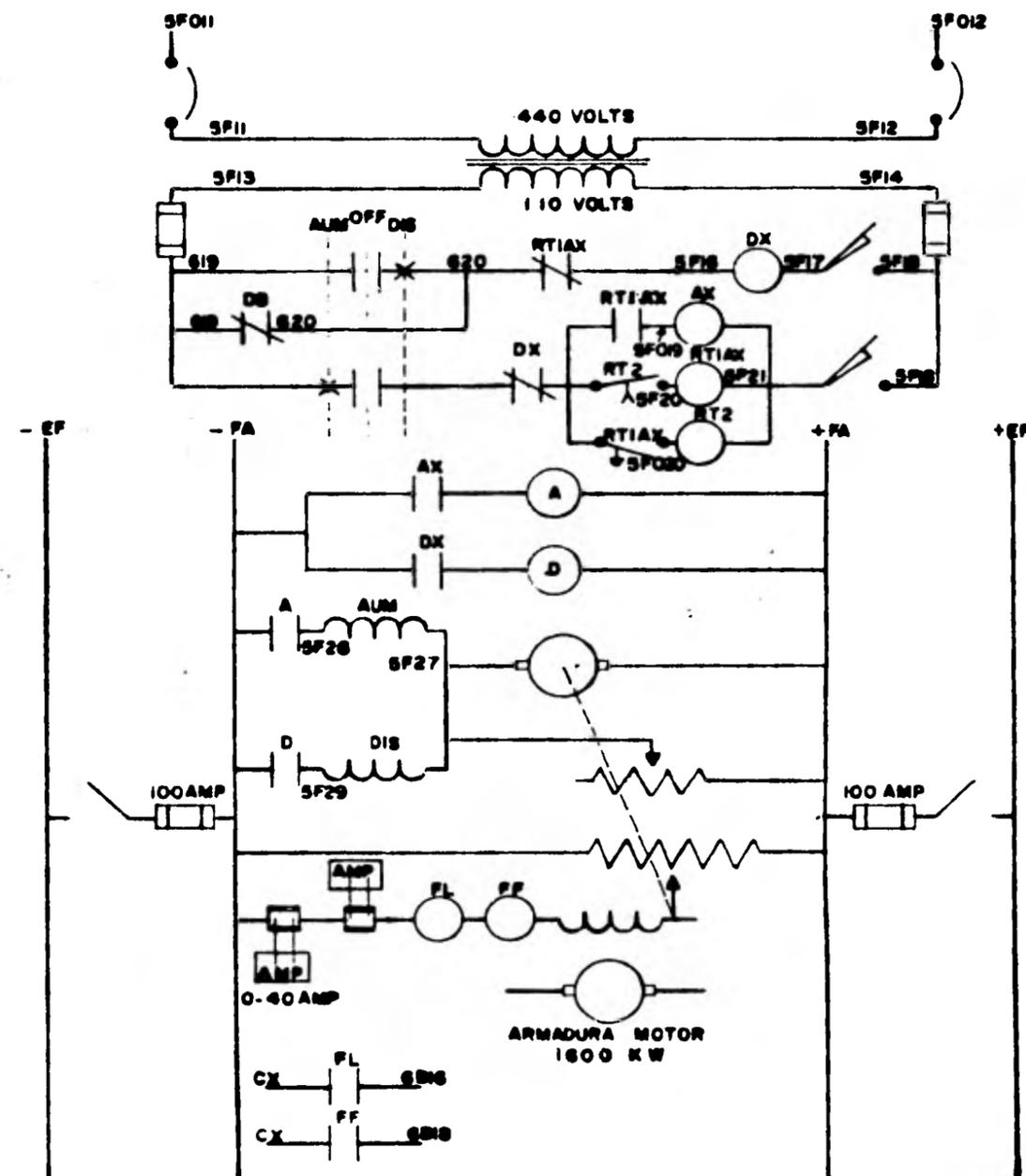


FIG. 4-1b

El voltaje generado es conducido a un interruptor general de cuchillas-fusible (1), pasando el polo negativo por un "shunt" (2) para tener lectura de corriente en el ampérmetro (4), la salida del interruptor general se conecta a un bus (7) de barras de cobre para llevar el voltaje generado a la sección No. II. En esta sección se cuenta también con un Vóltmetro (3), para la lectura del voltaje generado.

a.6.2).- Sección II.

Esta sección aloja el equipo mediante el cual se regula la corriente de excitación del motor de 1600 KW.

La secuencia de operaciones es la siguiente:

Con el interruptor termomagnético (8) se hace llegar el voltaje al reóstado de campo del motor de 1600 KW, pasando el polo negativo por un "Shunt" (10), para obtener lectura de corriente en el ampérmetro que se encuentra en la puerta frontal del tablero.

El reóstado de campo (que se encuentra fuera del tablero), es accionado mediante un pequeño motor eléctrico, el cual a su vez está controlado por los contactos D y A de los relevadores Dx y Ax (RTIAX/OFF, RT2/ON). Estos relevadores son accionados de la siguiente manera:

Por medio de un interruptor termomagnético (9), que es alimentado a 440 Volts, directamente del tablero de distribución descrito en el capítulo II, se alimenta un transformador de control de relación 440/110 volts, cuya salida es utilizada para energizar los relevadores Dx y Ax, los cuales operan en caso de que la velocidad disminuya o aumente, respectivamente, haciendo por medio de los contactos D y A, que el motor que mueve al reóstato gire en uno u otro sentido.

Las bobinas de estos contactos están alimentadas a un voltaje de 250 V.C.C., el cual es suministrado desde el interruptor termomagnético (8), hasta los fusibles (12), y de éstos a los contactos de los relevadores.

Las figuras 4-1a y 4-1b muestran el tablero y su diagrama de control, respectivamente.

b).- TABLERO DE DISTRIBUCION DE 750 V.C.C.

b.1).- Características generales.-

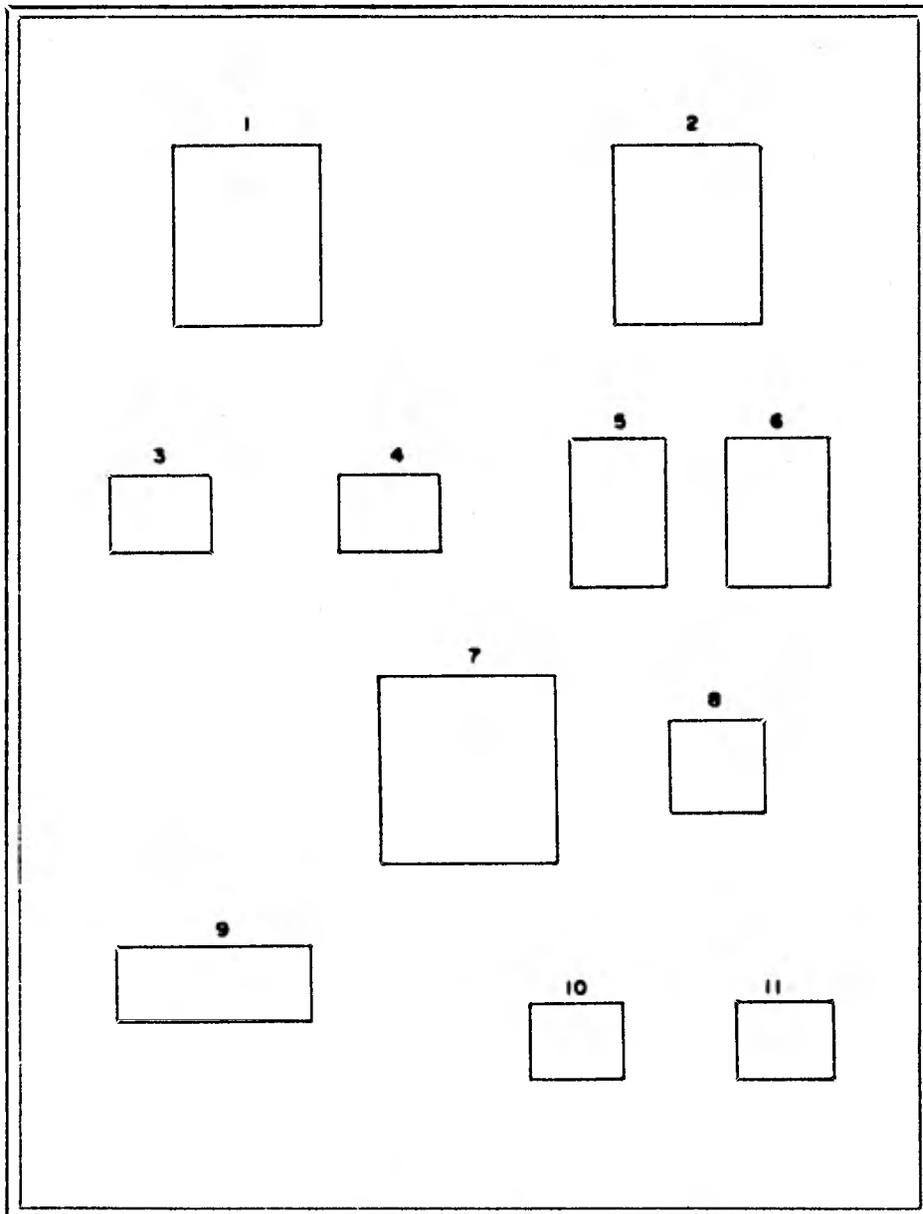
Este tablero y los que se mencionarán posteriormente, en lo que respecta a su fabricación, son similares a los descritos en el Capítulo II, y su función principal es la de

controlar la corriente de armadura del motor de 1600 Kw, por lo que en su interior se encuentran montados los buses de cobre electrolítico para 750 V.C.C.

b.2).- Elementos de Control y Protección.-

En el interior del tablero se localizan los siguientes dispositivos de control y protección, cuya distribución física puede ser observada en la figura No. 4-2:

- 1.- Contactor Principal del Motor "M"
- 2.- Contactor para Frenado Dinámico "DB"
- 3.- Control Maestro Auxiliar "MCX"
- 4.- Relevador Auxiliar para Frenado Dinámico "DBS"
- 5.- Relevador de Pérdida de Campo "FL"
- 6.- Relevador de Máximo Campo "FF"
- 7.- Cuchilla Desconectadora de Tiro y Polo Sencillo, operación sin carga 1000 V., 3000 AMP., para conectar el Tablero de Tiristores.
- 8.- Interruptor "CB", 15 Amp., 250 V.C.C.
- 9.- Tarjeta para Aislamiento de Voltaje "VIB"
- 10.- Relevador de Sobre-Voltaje "CV"
- 11.- Relevador para Detectar Mínimo Voltaje "MCV".



**TABLERO DE DISTRIBUCION
750 V.C.C.**

FIG. 4-2

c).- TABLERO DE ARRANQUE DEL MOTOR DE C.C.

c.1).- Características generales.-

Como su nombre lo indica, este tablero cuenta con los principales accionamientos para el arranque del motor de C.C., y también en él se alojan algunos aparatos de medición y un cuadro de alarmas Acústica y Visual. (Ver Fig. 4.3).

c.2).- Dispositivos constitutivos del tablero de arranque:

1.- Cuadro de alarmas Acústica y Visual para los siguientes casos:

1.1. Sobre-Corriente de Armadura.

1.2. Sobre-Voltaje de Armadura.

1.3. Sobre-Temperatura de Chumaceras.

1.4. Falta de Aire de Ventilación para Motor.

1.5. Falta de Presión de Aceite de lubricación de la Máquina.

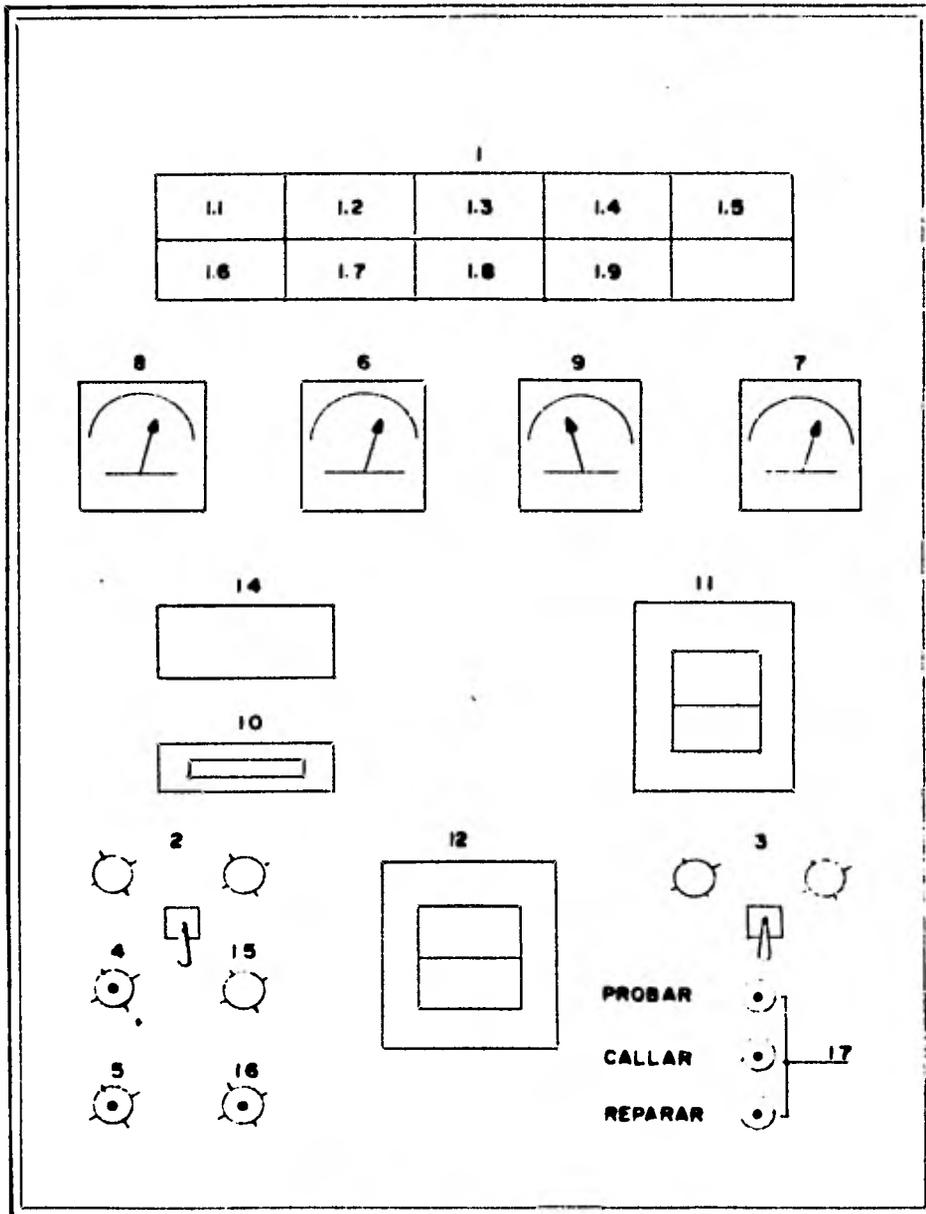
1.6. Sobre-Velocidad.

1.7. Bajo Nivel de Aceite en Chumaceras.

1.8. Falta de Agua de Enfriamiento.

1.9. Bajo Nivel de Aceite en las Bombas de Lubricación.

2.- Switch para el cierre y apertura del interruptor de 13.8 KV, equipado con luces roja y verde.



TABLERO DE ARRANQUE

FIG. 4-3

- 3.- Switch para el cierre y apertura del interruptor de 750 V.C.C., equipado con luces indicadoras color roja y verde.
- 4.- Botón para cierre del contactor de armadura.
- 5.- Botón para apertura del contactor de armadura.
- 6.- Ampérmetro de armadura, escala de 0-5 KA.
- 7.- Ampérmetro de campo, escala de 0-50 Amp.
- 8.- Voltmetro de armadura, escala de 0-800 Volts, C.C.
- 9.- Voltmetro de campo, escala de 0-300 Volts, C.C.
- 10.- Tacómetro digital.
- 11.- Kilowattímetro.
- 12.- Graficador (De C.C. en MW).
- 13.- Transformador de control de 440/110 Volts.
- 14.- Wattmetro de C.C.
- 15.- Luz indicadora color rojo de 115 V.C.A.
- 16.- Botón de restablecimiento "GPS".
- 17.- Botones para probar, silenciar y reponer el cuadro de alarmas.

d).- CONSOLA DEL OPERADOR.

d.1).-Características generales.-

Frente a los trenes de laminación, y con el objeto de que se pueda tener una vigilancia completa y permanente de las condiciones de operación de los mismos, se encuentra la

caseta del operador, en la cual está instalada la consola donde se concentran, por medio de señalizaciones, todas las condiciones en que se encuentra operando el motor en cualquier instante. Para tal efecto, esta consola está dotada de los siguiente dispositivos:

d.2).- Elementos constitutivos de la consola del operador:

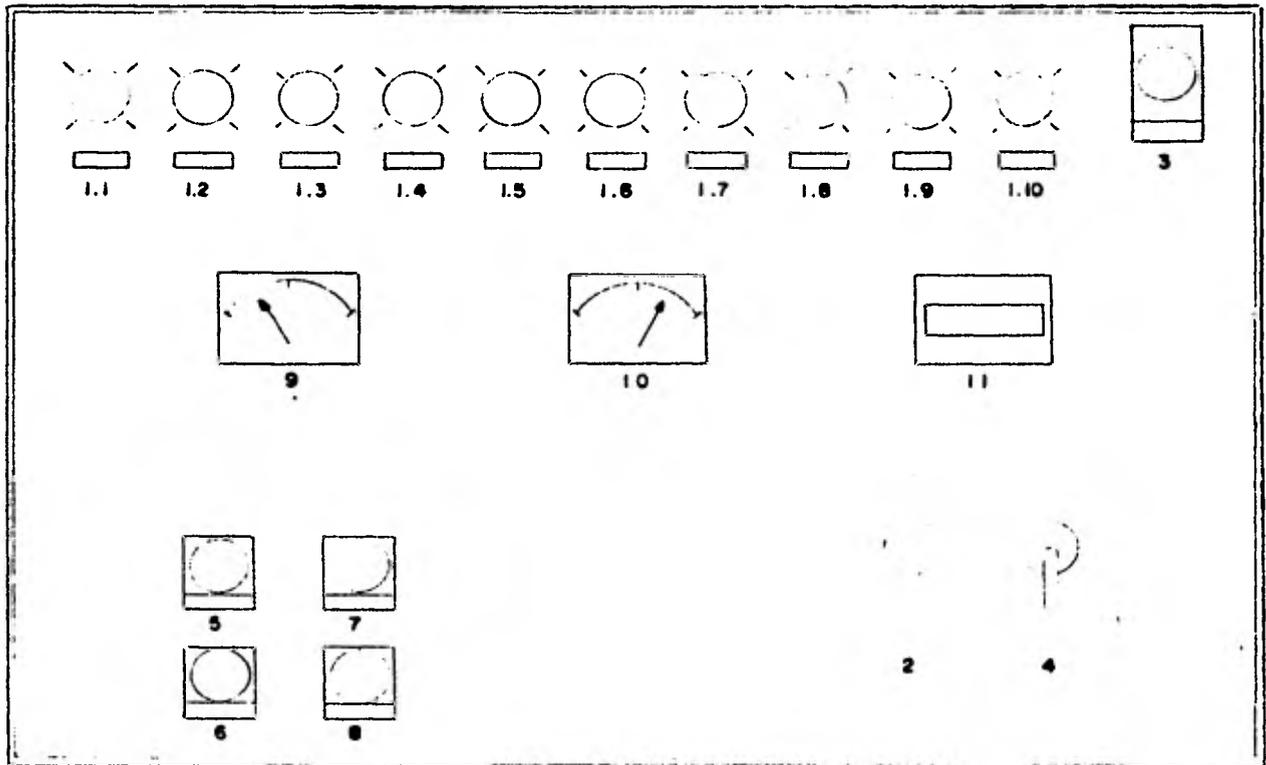
1.- Lámparas indicadoras para las siguientes condiciones:

- 1.1. Motor listo para arranque.
- 1.2. Contactor de armadura cerrado.
- 1.3. Rectificador a pleno voltaje.
- 1.4. Motor sin corriente de campo.
- 1.5. Motor a plena corriente de campo.
- 1.6. Motor del ventilador operando.
- 1.7. Bombas de lubricación operando.
- 1.8. Resistencia anticondensadora de motores incluida.
- 1.9. Agua circulando para enfriamiento de aire.

2.- Switch con cuatro posiciones para:

Inactivo-Arranque-Frenado-Frenado dinámico.

3.- Botón de hongo para freno de emergencia (frenado dinámico).



CONSOLA DEL OPERADOR

FIG. 4-4

- 4.- Switch con dos posiciones para aumentar o disminuir la excitación del campo (control de velocidad).
- 5.- Botón de arranque del motor del ventilador.
- 6.- Botón de paro del motor del ventilador.
- 7.- Botón de arranque de las bombas para lubricación de la máquina.
- 8.- Botón de paro de las bombas para lubricación de la máquina.
- 9.- Vóltmetro de armadura, escala de 0-800 Volts, C.C.
- 10.- Ampérmetro de armadura, escala de 0-5 KA.
- 11.- Indicador digital de velocidad.

C A P I T U L O V

INTRODUCCION.

Una vez especificado y clasificado el equipo de la subestación rectificadora y los motores de C.C., en los capítulos precedentes, se considera que el lector ya se encuentra familiarizado con dichos equipos y que no le será difícil identificar a cual de ellos se está haciendo referencia en determinado momento, en este capítulo se lleva a cabo el estudio de la integración de la subestación, considerada como un conjunto y se da el instructivo de la puesta en operación. Para tal efecto, se estudiarán los sistemas eléctricos de fuerza y de control de los diferentes equipos.

La subestación rectificadora se proyectó en primera instancia para alimentar a dos motores de corriente continua de 1600 KW a 750 V.C.C., pero, como en capítulos anteriores, debido a que estos motores están sometidos a idéntico régimen de trabajo, únicamente se estudiarán las interconexiones eléctricas de fuerza y de control del arreglo de un solo convertidor, incluyendo los elementos necesarios para alimentar a uno de los motores de C.C.

El Sistema Eléctrico de Control, para su estudio, se considerará dividido en dos partes: Sistema de Control Eléctrico y Sistema de Control Electrónico.

En lo que respecta al Sistema de Control Electrónico no fue posible adentrarse a él, debido a que el fabricante (Westinghouse) del convertidor, se reserva el derecho de información, por lo consiguiente, cuando se haga referencia a dicho sistema se verá en forma de caja negra.

En cuanto al Sistema de Control Eléctrico, su análisis se enfocará primordialmente al control del motor, ya que es una condición necesaria para que pueda operar el convertidor que se cumplan ciertas cadenas de protección del motor de corriente directa.

a).- SISTEMA ELECTRICO DE FUERZA.

a.1).- Definición del sistema eléctrico de fuerza.-

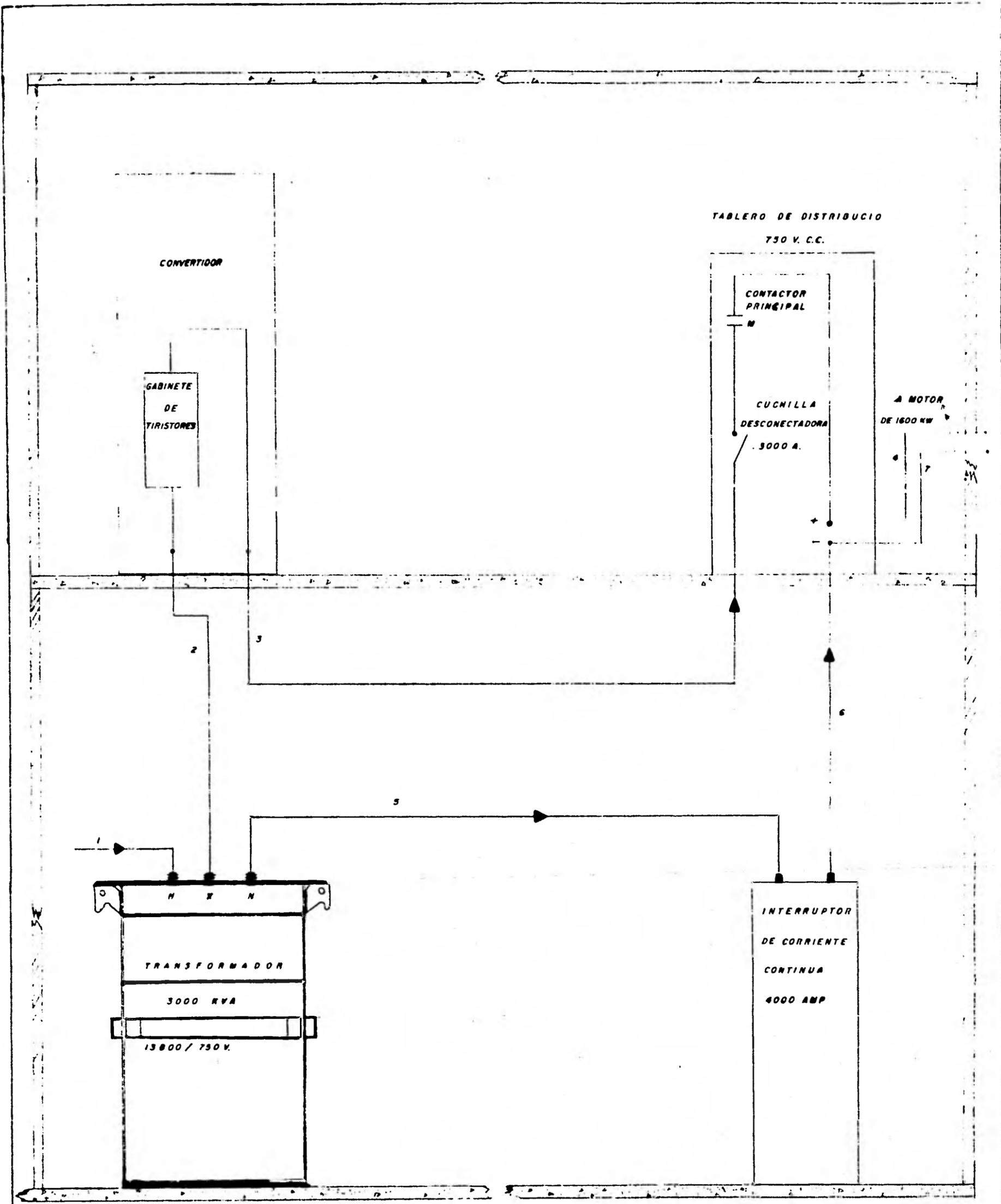
Se entiende por sistema eléctrico de fuerza: a la combinación coordinada de diferentes dispositivos, cuya finalidad es la de transmitir la energía eléctrica aprovechable desde el punto de suministro hasta el equipo de utilización.

a.2).- Descripción del sistema eléctrico de fuerza.-

En el plano 5-1 se pueden apreciar las interconexiones de fuerza que tienen lugar en la subestación rectificadora y cuya descripción es como sigue:

El transformador de 3000 KVA, que es la fuente de energía del convertidor, es alimentado en el lado de alta tensión por medio de un voltaje de 13.8 KV, desde el interruptor principal que se encuentra alojado en la celda No.2 del tablero de distribución de 15 KV, localizado en la planta alta del edificio. Con un voltaje de 750 V.C.A., obtenidos del lado de baja tensión del transformador, se alimenta el convertidor y a la salida de éste, se obtienen los mismos 750 V., pero rectificadas. Este nivel de voltaje es suministrado al tablero de distribución (750 V.C.C.) en donde es recibido por medio de unas cuchillas (1000 V., 3000 A.) y a la salida de éstas se conecta el arrancador principal (contactor M) del motor de C.C.

El polo negativo para la alimentación del motor, se obtiene del neutro del transformador haciéndolo pasar a través del interruptor de C.C., y la salida de este interruptor se conecta al tablero de distribución de corriente continua.



ELEVACION

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
ARREGLO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ELECTRICO DE FUERZA	
FECHA: 1 9 8 0	PLANO N° V-1
ACOT:	

LISTA DE CIRCUITOS

No. DE CIRCUITO	R E C O R R I D O		C A B L E						N O T A S
	DE	A	AWG	LONG.			TIPO	VOLTS	
			MCM	POLOS	TRAMOS	TRAMO			
1	Interruptor de 15 KV. en tablero de distribución 15 KV.	Terminales de alta tensión en transformador de 3000 KVA.	2 AWG	3	3	50 mts.	Vucanel E.P.15 KV	15 KV	Canalización del cable en charola
2	Terminales de baja tensión en el transformador de 3000 KVA.	Bus de corriente alterna en el gabinete de tiristores	500 MCM	6	18	5 mts.	P.V.C. 1 KV;	750 C.A.	Canalización del cable en charola
3	Bus de corriente continua en gabinete de tiristores	Cuchilla desconectadora en el tablero de distribución	500 MCM	1	9	10 mts.	P.V.C. 1 KV	750 C.C.	Canalización del cable en charola
4	Contactador principal en el tablero de distribución 750 V.C.C.	Armadura del motor de 1600 KW. 750 V.C.C. (polo positivo)	500 MCM	1	6	100 mts.	P.V.C. 1 KV	750 C.C.	Canalización del cable en charola
5	Terminales del Neutro del transformador de 3000 KVA.	Interruptor de corriente continua	500 MCM	1	9	25 mts.	P.V.C. 1 KV.	750 C.C.	Canalización del cable en charola
6	Interruptor de corriente continua	Tablero de distribución de 750 V.C.C.	500 MCM	1	9	5 mts.	P.V.C. 1 KV.	750 C.C.	Canalización del cable en charola
7	Tablero de distribución 750 V.C.C.	Armadura del motor de 1600 KW., 750 V.C.C. (polo negativo).	500 MCM	1	6	100 mts.	P.V.C. 1 KV	750 C.C.	Canalización del cable en charola

Una vez que se tienen los polos negativo y positivo en el tablero de distribución, ambos polos son conducidos al motor de 1600 KW, con lo que se logra el cometido de la subestación rectificadora.

En la lista de circuitos se puede observar en forma detallada las interconexiones del sistema eléctrico de fuerza.

b).- SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL.

b.1).- Definición del sistema eléctrico de control.-

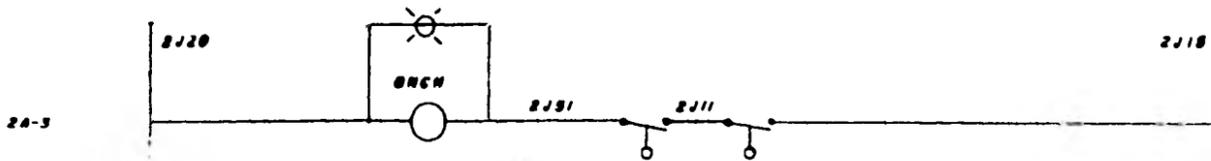
Es un conjunto de equipos y circuitos de baja tensión que tienen como finalidad, gobernar a los equipos eléctricos de transmisión de energía en alguna de sus formas.

b.2).- Diagramas de control.-

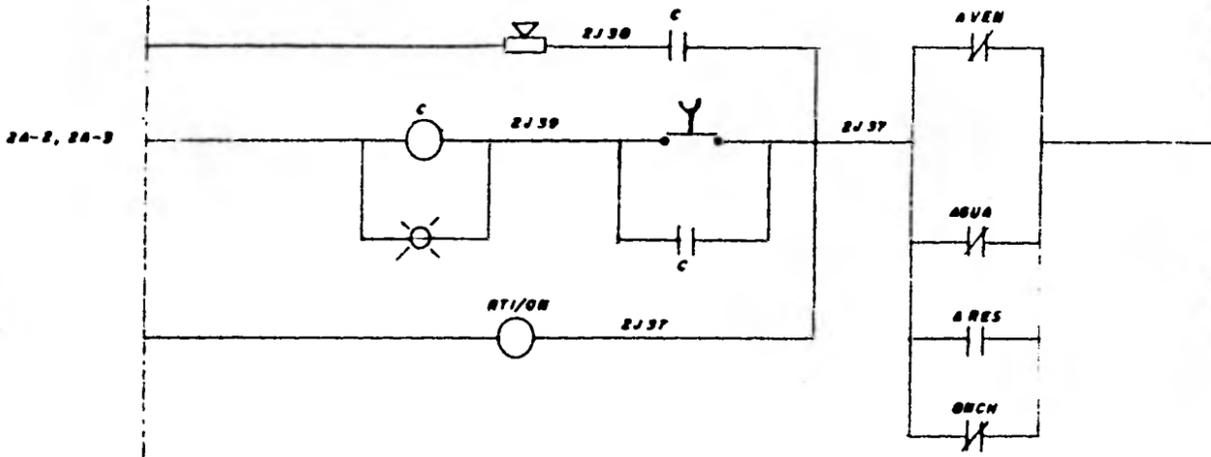
Los planos siguientes, que algunos pueden considerarse unidos uno detrás del otro, constituyen el diseño o diagrama esquemático del circuito de control en estudio.

Los símbolos empleados son los autorizados por la NEMA y la localización física de cada relevador o mecanismo de

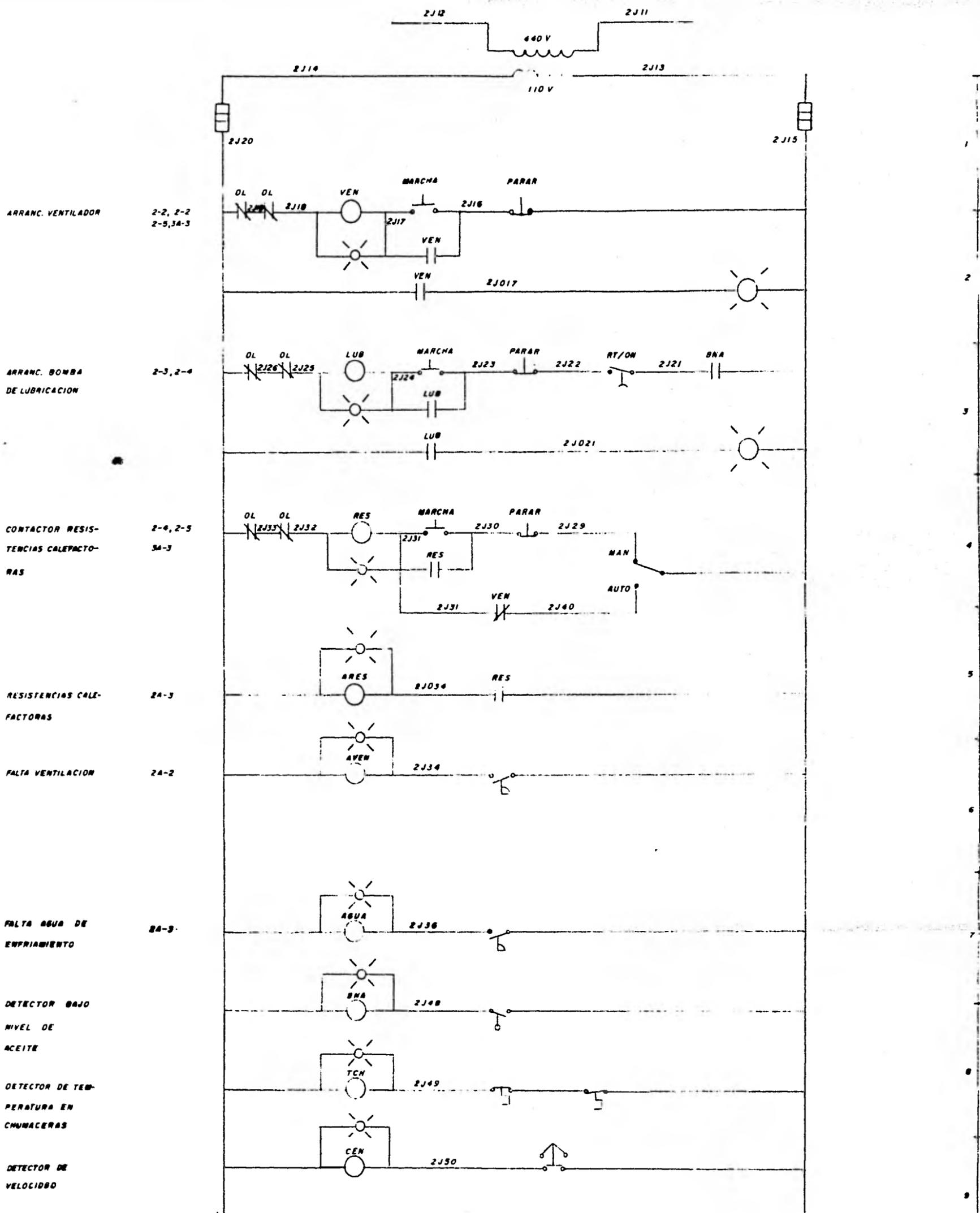
INDICADOR
NIVEL DE ACEITE
EN CHUMACERAS



SILENCIADOR
ALARMA

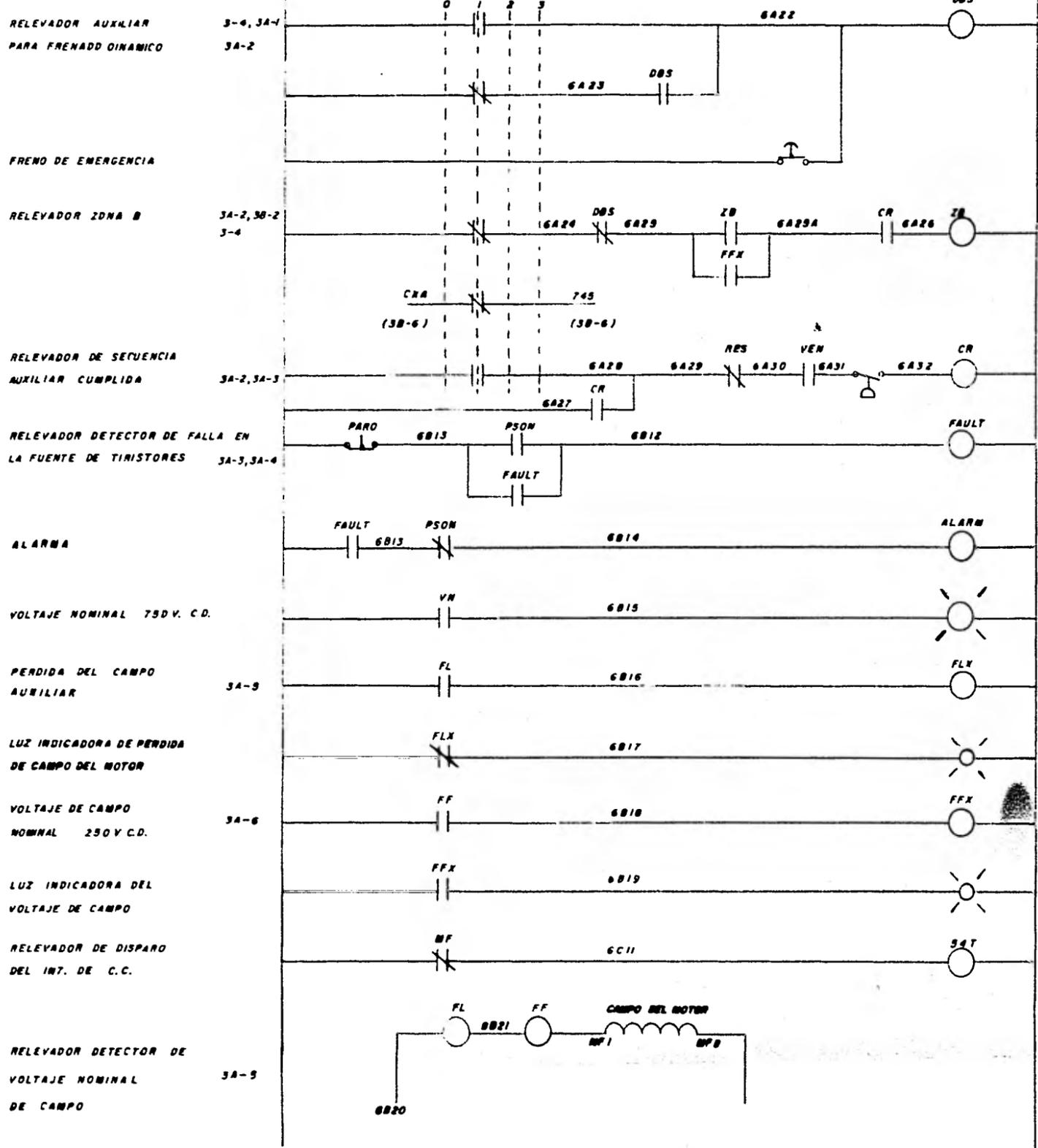


UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CIRCUITO DE CONTROL DEL EQUIPO AUXILIAR PARA EL MOTOR DE 1000 KW. CC.	
FECHA: 1 9 8 0	PLANO N° V-2A
ACOT:	



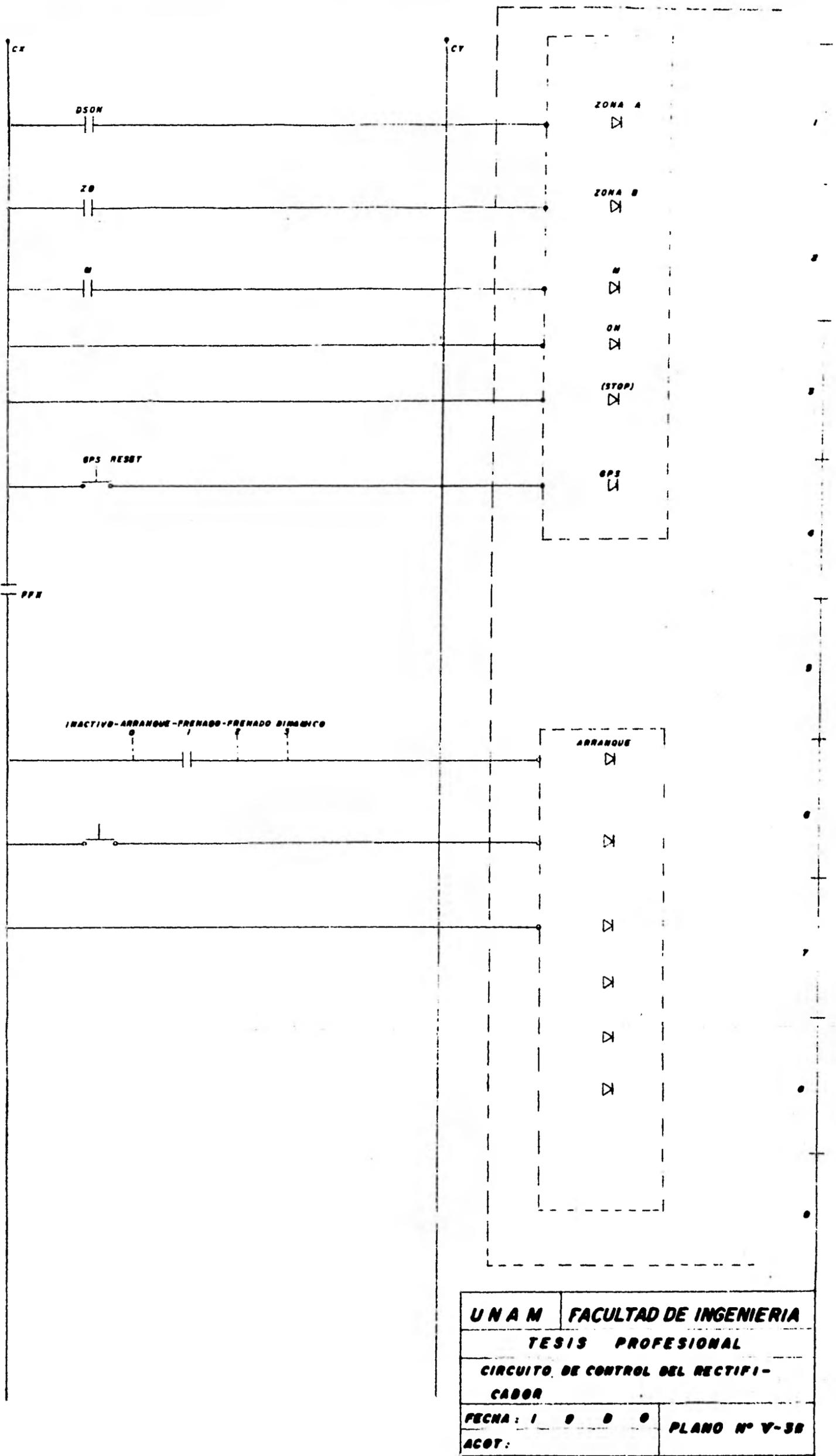
U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CIRCUITO DE CONTROL DEL EQUIPO AUXILIAR PARA EL MOTOR DE 1800 KW.C.C.	
FECHA: 1 9 8 0	PLANO N° V-2
ACOTA:	

INACTIVO-ARRANQUE-FRENADO-FRENADO DINAMICO



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CIRCUITO DE CONTROL ELECTRICO DEL CONVERTIDOR	
FECHA: 1980	PLANO N° V-3A
ACOT.:	

IMPRESOR DE PULSOS
DE DISPARO



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CIRCUITO DE CONTROL DEL RECTIFI- CABOR	
FECHA: 1 0 0 0	PLANO N° V-38
ACOT:	

operación que intervienen en los diagramas de control, ya fue cubierto en los capítulos anteriores.

A cada porción de los diagramas de control se les ha enumerado en forma progresiva del uno al nueve y también a cada punto de control se le ha asignado una numeración para su identificación.

Al pie de cada relevador aparecen los nombres de las líneas donde están los contactos, los cuales están subrayados en caso de contactos normales cerrados. Esto se hace con el fin de poder seguir con mayor facilidad el diagrama.

b.3).- Operación del Control.-

Una explicación completa del funcionamiento del circuito del control, debería de incluir la razón de ser de cada relevador, cada contacto y cada elemento que intervienen en el circuito. Es evidente que una explicación tan detallada resultaría de proporciones demasiado grandes.

Otra forma de describir el control, sería suponer un caso particular de operación, lo más general posible y proceder a enumerar todas las operaciones que tienen lugar.

Una descripción de éste tipo sobre el control, objeto de ésta Tesis, podría hacerse, describiendo las condiciones que se deben cumplir para el arranque de una fuente de tiristores con el fin de alimentar a un motor de 1600 K.W. a 750 V.C.C., aclarando que dentro de éstas condiciones se incluirá algunas interconexiones de fuerza necesarias para el arranque mencionado.

b.4).- Arranque de un convertidor de Tiristores para Alimentar a un Motor de 1600 KW, 750 V.C.A.

- 1).- Cerrar la cuchilla desconectadora de 1000 Volts, 3000 Amperes que se encuentra localizada en el tablero de distribución 750 V.C.C. (plano V.1).
- 2).- Verificar en el Tablero de arranque (Instalado al lado primario del gabinete de regulación) que se tiene pleno voltaje de excitación (250 V.C.D) por medio de un voltmetro de C.C.
- 3).- Se cierra la cuchilla desconectadora de 13.8 KV del lado primario del transformador de control de 25 KVA, así como el interruptor de salida, con

ésto logramos tener energizado todo el sistema de regulación y control del gabinete de tiristores.

- 4).- Se cierran el interruptor de 13.8 KV y el interruptor de 750 V.C.C., de los cuales el botón de cierre y apertura se encuentran localizados en el panel de arranque.

- 5).- Se cierra el interruptor de control montado en la puerta del gabinete de regulación, ésto energizará el ventilador del gabinete de tiristores y proveerá la energía de control. Al efectuar este paso se encenderá una lámpara roja montada en el gabinete de regulación (plano V.3. columna 2).

- 6).- Se acciona un botón operador localizado en el panel de arranque el cual energizará la bobina PSON (plano V.3 columna 7) lo cual nos indicará que la cadena de protecciones del motor, transformador y gabinete de tiristores se encuentran cerradas, lo cual sucederá si se cumplen las siguientes condiciones y en caso afirmativo se encenderá un led (localizado en el plano V.3B. columna 1.), debido a que el circuito mostrado en el plano V.3B viene

a ser el circuito de transición entre el control eléctrico y control electrónico.

6.1).- El ventilador propio del gabinete de tiristores está trabajando y será detectado por un interruptor de flujo de aire (localizado en el plano V.3 columna 7.).

6.2).- Temperatura de operación del transformador de 3000 KVA correcta, lo cual será detectado por un sensor de temperatura. (plano V.3 columna 7).

6.3).- Contacto del relevador detector de falla del motor de C.C. (plano V.3 columna 7) cerrado, lo cual ocurre cuando se energiza la bobina "MF" (plano V.3 columna 7) pero para que energice esta bobina se deberán cumplir las siguientes condiciones.

6.3.1).- Interruptor detector de temperatura en las chumaceras de motor de C.C. cerrado (plano V.3 columna 8).

6.3.2).- Contactor gobernado por la bobina detectora de sobre corriente MOC (plano V.3 columna 9) cerrado (plano V.3 columna 8).

6.3.3).- Contacto gobernado por la bobina detectora de pérdida de campo "FLX" (plano V. 3A columna 5) cerrado (plano V.3 columna 8).

6.3.4).- Interruptor detector de sobre velocidad del motor cerrado (plano V.3. columna 8).

6.4).- Contacto gobernado por la bobina detectora de sobre voltaje auxiliar "OVX" (plano V.3. columna 8) cerrado.

7).- En el palco del operador se arranca la bomba de lubricación de chumaceras y ventilador para enfriamiento del motor de C.C.

8).- Observar en la consola del operador las siguientes luces indicadoras:

- 8.1).- Que el motor esté excitado a pleno campo, lo cual es detectado por la bobina "FFX" (localizada en el plano V.3A. columna 6) bajo la condición de que el contacto gobernado por la bobina F.F. (localizada en el plano V.3. columna 7) esté energizada.
- 8.2).- Ventilador del motor de C.C. operando y éste es detectado por un foco rojo localizado en el palco del operador (plano V.2. columna C)
- 8.3).- Bombas de lubricación de chumaceras operando, éste es detectado por un foco rojo localizado en el palco del operador (plano V.2. columna 7)
- 8.4).- Resistencia anticondensadora apagada, éste es detectado por un foco rojo localizado en el palco del operador (plano V.2. columna 5)
- 8.5).- Agua circulando para enfriamiento del aire de ventilación de la máquina, y es detectado por un sensor de agua (plano V.2 columna 7).

9).- El switch selector de cuatro posiciones (plano V.34 columna 1, 2 y 3), se opera de la posición de inactiva a la posición de arranque y en este momento se cierra el contacto principal (M) (plano V.3. columna 3); siempre y cuando se energice el relevador "ZB" (plano V.3A columna 2) lo cual implica que se deben de cumplir las siguientes condiciones y una vez cumplidas se encenderá un LED (localizado en el plano V. 3B columna 2).

9.1).- El relevador DBS (localizado en el plano V.- 3B columna 1) desenergizado.

9.2).- Relevador detector de voltaje nominal de campo FFX (plano V.3A columna 5) eneregizado.

9.3).- Relevador de secuencia auxiliar "CR" (Plano V.3A, columna 3) energizado), ésto implica:

A) Resistencia anticondensadora inactiva.

B) Ventilador del motor funcionando.

C) Bombas de lubricación del motor funcionando.

Suponiendo que todos los requisitos descritos anteriormente se hayan cumplido, el motor arranca y se acelera a velocidad base siguiendo control de rampa. Posteriormente si se desea incrementar la velocidad, se debilita el campo cuyo control se encuentra localizado en la consola del operador.

C A P I T U L O V I

INTRODUCCION

Una vez integrada la subestación rectificadora, corresponde a este capítulo el estudio de algunos sistemas auxiliares tales como: El sistema de red de tierras, el alumbrado y la ventilación, cuyos propósitos principales son que la subestación opere bajo las condiciones que establecen las normas sobre instalaciones eléctricas, como son: La seguridad y eficiencia del personal encargado de la operación y mantenimiento de los equipos, así como el funcionamiento continuo y confiable de dichos equipos.

En general la finalidad de un sistema de red de tierras es la protección del personal y del equipo contra sobrecorrientes y sobretensiones provocadas por cortocircuitos o por sobrecargas; para lo cual se conectan a la red de tierra todos los neutros del sistema, las carcasas de los equipos, las estructuras metálicas y todas aquellas partes que requieran estar a potencial de tierra.

Otro punto que se tratará como sistema auxiliar y que juega un papel importante dentro de una instalación

eléctrica, es el sistema de alumbrado, cuyo objetivo es el de contar con una iluminación adecuada para cuando se realicen labores de mantenimiento así como el restablecimiento en la operación de los equipos después de una condición de falla, o sencillamente para tomar lecturas y observar con toda claridad el funcionamiento de estos equipos bajo condiciones normales de operación.

Dado que, como se ha mencionado, la subestación es del tipo para servicio interior, es necesario contar con un buen sistema de ventilación tomando como base la temperatura máxima de funcionamiento de los dispositivos empleados en la instalación y contar con las condiciones climatológicas óptimas para el personal de operación.

a).- RED DE TIERRAS.

a.1).- Objetivos.

Determinar las bases para el diseño del sistema de red de tierras, limitando las diferencias de potencial que puedan existir bajo condiciones de falla, en los puntos que puedan ser tocados por el personal de la subestación.

Limitar las tensiones de paso y de contacto a valores no

mayores de los que puedan ser perjudiciales para el cuerpo humano.

Determinar la resistencia de la red y verificar que esté dentro de los límites de seguridad establecidos por los códigos y reglamentos.

a.2.).- Investigación de la Características del Terreno.

De acuerdo a las observaciones realizadas en campo, el terreno donde se encuentra localizada la subestación, es del tipo orgánico húmedo, por lo que tomando en consideración estos factores, y que no se cuenta con el valor exacto de su resistividad, tomaremos como base el siguiente valor:

Terreno orgánico húmedo	10 Ohms-metro
-------------------------	---------------

a.3.).- Corriente máxima de falla a tierra.-

La corriente máxima de falla a tierra de acuerdo a estudios realizados es de 15689.33 Amperes.

a.4.).- Diseño preliminar.-

Datos:

Resistividad del terreno natural	$\rho = 10$ Ohms-metro.
----------------------------------	-------------------------

Resistividad del terreno en la superficie (concreto armado).

$$C_s = 100 \text{ Ohms-metro.}$$

Corriente máxima de falla a tierra.

15689.33 Amperes.

Factor de decremento para un tiempo de apertura del interruptor (t) de 0.5 segundos.

1.0

Factor de crecimiento del sistema

1.0

La corriente máxima de falla a tierra aplicando los factores de decremento y crecimiento será:

$$I = 15689.33 \times 1.0 \times 1.0 = 15689.33 \text{ Amperes.}$$

Para la determinación del calibre del cable para la red de tierras se empleará la ecuación de Onderdonk.

La tabla siguiente está basada en dicha ecuación.

Calibre mínimo de un conductor de cobre para evitar la fusión.

Duración de la Falla	Circular Mils por Ampers		
	Cable solamente	Con Conexiones soldables	Con Conexiones mecánicas
30 seg.	40	50	65
4 seg.	14	20	24
1 seg.	7	10	12
0.5 seg.	5	6.5	8.5

De acuerdo con la tabla se requieren 6.5 circular mils por cada amper de falla al utilizar conexiones soldables y considerando un tiempo de despeje de la falla de 0.5 segundos.

Sección requerida:

$$6.5 \times 15689.33 = 101980.65 \text{ CM} = 102 \text{ MCM.}$$

El cable de cobre desnudo con una sección más próxima a esta, es el calibre 1/0 AWG (105.6 MCM) pero por resistencia mecánica, se empleará el calibre 2/0 AWG (133.1 MCM).

Diámetro del conductor.- 0.00926 metros.

Profundidad de enterramiento de la red.- 0.60 metros.

Para obtener un voltaje de malla dentro de los límites de seguridad, se requiere que la malla tenga por lo menos la longitud calculada por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{K_m K_i e L \sqrt{t}}{116 + 0.17}$$

Donde:

K_m = Coeficiente que toma en cuenta el efecto del número de conductores paralelos (n) en la malla, el espaciamiento (D) de los mismos, el diámetro del conductor (d) y la pro-

fundidad de enterramiento (h) de los mismos. El valor de Km está dado por:

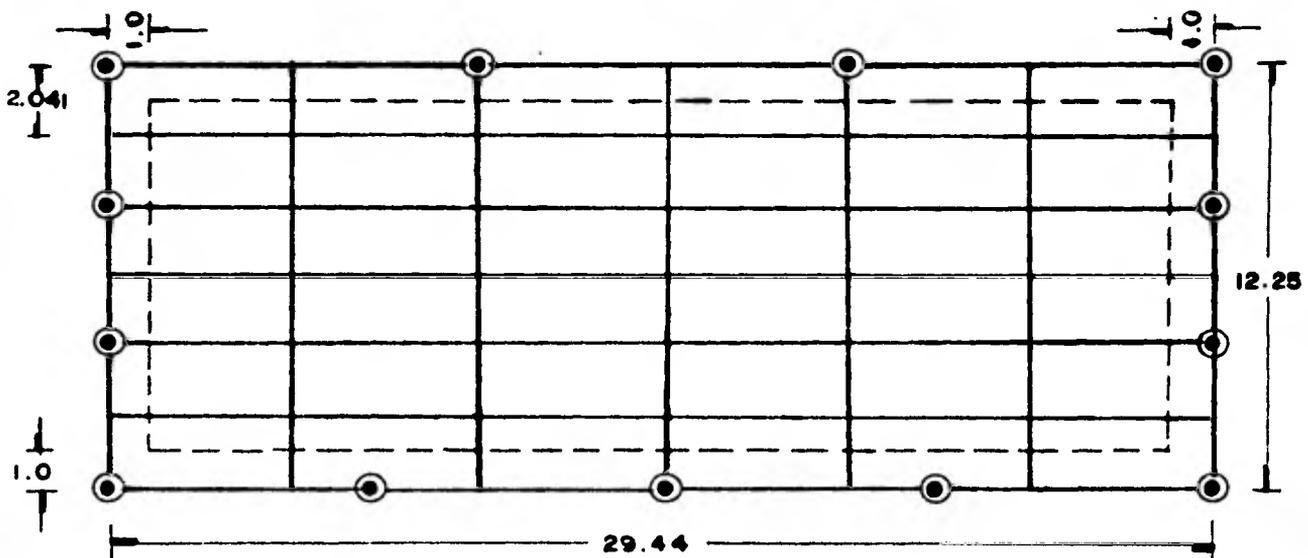
$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot \text{etc.}$$

El número de factores dentro del paréntesis es de 2 menos que el número de conductores paralelos (n) de la malla, excluyendo las conexiones transversales.

Ki = Factor de corrección por irregularidad de la no uniformidad del flujo de corriente de falla en diferentes partes de la red. Se calcula con la formula:

$$K_i = 0.65 + 0.172 n$$

En la subestación, tenemos una malla con las siguientes dimensiones:



Número de conductores paralelos (n) = 7

Número de conductores transversales = 7

———— Red de tierras.

● Varilla de tierra.

----- Area de la subestación.

Cálculo de Km.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \operatorname{Ln} \frac{2.0412}{16 \times 0.6 \times 0.00926} + \frac{1}{\pi} \operatorname{Ln} \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{9}{10} \cdot \frac{11}{12}$$

$$K_m = 0.612 + (-0.253) = 0.358$$

Cálculo de Ki:

$$K_i = 0.65 + (0.172 \times 7) = 1.658$$

Por lo que la longitud mínima será:

$$L = \frac{0.358 \times 1.854 \times 10 \times 15689.33 \times 0.5}{116 + 0.17 \times 1000} = 257.46 \text{ mts.}$$

$$L = 257.46 \text{ mts.}$$

De acuerdo con el dibujo del arreglo de la red tenemos que su longitud es de:

$$L_m = (7 \times 29.44) + (7 \times 12.25) = 291.83 \text{ mts.}$$

Se cumple que: $L_m > L$

a.5).- Cálculo de la resistencia de la red.

La resistencia de la red se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

R = Resistencia de la red en Ohms.

ρ = Resistividad del terreno en Ohms - metro.

r = Radio de un círculo cuya superficie sea igual a la superficie total encerrada por la red; en metros.

L = Longitud total de la red en metros.

Area cubierta por la Red = 12.25 X 29.44 = 360.64 mts.

Area del círculo (A) = πr^2

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{360.64}{\pi}} = 10.71 \text{ m.}$$

Sustituyendo valores:

$$R = \frac{10}{4 \times 10.71} + \frac{10}{291.83} = 0.269$$

R = 0.269 Ohms.

a.6).- Cálculo del máximo aumento de potencial en la malla.
Se calcula con la ecuación siguiente:

$$E = I \times R$$

Sustituyendo valores de I y R:

$$E = 15689.33 \times 0.269$$

$$E = 4220 \text{ volts.}$$

a.7).- Cálculo del potencial de paso en la malla (E_s).

Está dado por la fórmula siguiente:

$$E_s = K_s K_i \rho \frac{I}{L}$$

Donde:

K_s = Coeficiente que toma en cuenta el efecto del número de conductores paralelos (n), el espaciamiento (D) de los mismos y la profundidad de enterramiento (h) de los mismos:

$$K_s = \frac{1}{11} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} \dots \text{etc} \right]$$

El número de términos dentro del paréntesis rectangular es igual al número de conductores paralelos de la red, excluyendo las conexiones transversales.

Sustituyendo valores tenemos:

$$K_s = \frac{1}{11} \left[\frac{1}{2 \times 0.6} + \frac{1}{2.041 + 0.6} + \frac{1}{2 \times 2.041} + \frac{1}{3 \times 2.041} + \frac{1}{4 \times 2.041} + \frac{1}{5 \times 2.041} + \frac{1}{6 \times 2.041} \right]$$

$$K_s = 0.87714.$$

El potencial de paso en la malla será:

$$E_s = 0.87714 \times 10 \times \frac{1.658 \times 15689.33}{291.83}$$

$$E_s = 782.75 \text{ Volts.}$$

a.8).- Cálculo del número de varillas de tierra en la red.

El número de varillas se calcula de acuerdo con la ecuación de Schwarz:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi n L_1} \left[\ln \frac{4L_1}{b} - 1 + \frac{2K_1 L_1}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Cuando el espaciamiento entre varillas es mayor que la longitud de la varilla, los últimos términos pueden despreciarse de tal forma que la ecuación simplificada queda:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi n L_1} \left[\ln \frac{4L_1}{b} - 1 \right]$$

Donde:

R = Resistencia del grupo de varillas, en ohms.

ρ = Resistividad del terreno, en ohms - metro

L_1 = Longitud de la varilla, en metros.

b = Diámetro de la varilla, en metros.

n = Número de varillas.

Despejando n de la ecuación tenemos:

$$n = \frac{\ell}{211 R L1} \left[\ln \frac{4L1}{b} - 1 \right]$$

Si hacemos:

Resistencia del grupo de varillas igual a la resistencia de la red tenemos:

$$n = \frac{10}{2 \times 3.1416 \times 0.269 \times 3} \left[\ln \frac{4 \times 3}{0.0159} - 1 \right] = 13.06$$

Se emplearán 13 varillas tipo Copperweld de 5/8" diámetro, 3 mts. de longitud.

a.9).- Cálculo de tensiones tolerables.

$$\text{Potencial de paso tolerable. } E_s = \frac{116 + 0.7 \ell_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_s = \frac{116 + 0.7 (1000)}{\sqrt{0.5}} = 1152 \text{ Volts.}$$

$$\text{Potencia de contacto tolerable (Et) = } \frac{116 + 0.17 s}{\sqrt{t}}$$

$$E_t = \frac{116 + 0.17 (1000)}{\sqrt{0.5}} = 404.46 \text{ Volts.}$$

a.10).- Comprobación de las condiciones de seguridad.

Si se cumplen las condiciones de las siguientes fórmulas se comprobará que la malla calculada es segura:

1).- El potencial de paso en la malla debe ser menor o igual que el potencial de paso tolerable.

$$E_s < E_s$$

En nuestro diseño:

$$782.75V < 1154 V$$

2).- El potencial de malla debe ser menor que el potencial de contacto tolerable.

$$E_{\text{malla}} < E_t$$

Donde:

$$E_{\text{malla}} = K_m K_i e \frac{I}{L}$$

O lo que es lo mismo, se debe cumplir que:

$$\frac{K_m K_i e I \sqrt{t}}{L} - 0.17 e_s < 116$$

Sustituyendo valores:

$$\frac{0.358 \times 1.658 \times 10 \times 15689.33 \times \sqrt{0.5}}{257.46} - (0.7 \times 1000) < 116$$

$$255.76 - 170 < 116$$

$$85.76 < 116$$

Por lo tanto se cumplen las condiciones para los potenciales de paso y de malla y la red es segura.

b).- SISTEMA DE ALUMBRADO.

b.1).- Generalidades.

La principal función del sistema de alumbrado es ahacer posible la visión, por lo que un buen alumbrado puede mejorar las condiciones de trabajo.

Los requerimientos básicos que deben tomarse en cuenta para el diseño de la iluminación apropiada de una zona o superficie industrial son las siguientes:

- 1).- Determinación de la cantidad y tipo de iluminación requerida para proporcionar una visibilidad óptima.
- 2).- Selección del equipo de alumbrado que satisfaga y proporcione las necesidades luminosas requeridas.
- 3).- Altura de montaje.

La altura de montaje recomendada para una lámpara determinada depende de su brillantez y emisión luminosa.

Generalmente, las fuentes luminosas más económicas para alumbrado de áreas de gran altura, son las de vapor de mercurio y vapor de sodio, a las cuales suelen agregarse unas pocas lámparas incandescentes,

para proporcionar luz suplementaria después de una interrupción del servicio eléctrico así como por la naturaleza del trabajo a realizar y la seguridad del servicio eléctrico.

En áreas de baja altura, las luminarias utilizadas son por lo general fluorescentes del tipo directo o incandescente de distribución ancha que pueden ser ventiladas o no ventiladas.

4).- Nivel de iluminación.

El nivel de iluminación es uno de los factores básicos en el diseño de una iluminación adecuada, para el desempeño de las tareas visuales en una forma correcta, rápida, segura fácil y eficaz.

b.2).- Clasificación de los sistemas de alumbrado.

De acuerdo a la distribución luminosa vertical, los sistemas de alumbrado se clasifican en:

Directa de 90 al 100% de la luz se dirige hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal y el resto se dirige hacia abajo.

Directa-indirecta o general difusa, del 40 al 60% de la luz se dirige hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal.

Semi-directa, del 60 al 90% de la luz se dirige hacia abajo, en ángulos por debajo de la horizontal.

Indirecta, del 90 al 100% de la luz de la luminaria se dirige hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal.

b.3).- Métodos de iluminación.

La iluminación producida por cada uno de los cinco tipos de alumbrados mencionados anteriormente, pueden clasificarse además, con relación a la distribución de luz sobre el área a iluminar.

Alumbrado general, se llama así a una disposición de las luminarias que proporcione un nivel razonablemente uniforme de iluminación a un área determinada.

Alumbrado localizado, en este tipo de alumbrado se colocan los equipos en zonas específicas de trabajo, en donde se necesiten altas intensidades.

b.4).- Selección del tipo de lámparas.

Para el caso que nos ocupa, la subestación se ha montado en un edificio de dos plantas (Planta baja y alta), las cuales constan de las siguientes dimensiones:

Planta baja	Area	= 26 X 10 mts.
	Altura	= 4.60 mts.
Planta alta	Area	= 26 X 7.4 mts.
	Altura	= 3.20 mts.

De acuerdo a las necesidades de iluminación para cada área, se usarán luminarias para alumbrado general del tipo semi-directo y se han seleccionado las siguientes lámparas por su durabilidad y alta emisión.

Planta baja.- Lámparas de vapor de sodio, que producen una energía emitida por lámpara (E.E.P.L.) igual a 25,500 lumens (Lm) y un nivel de iluminación (NI) de 250 luxes (Lx), potencia de la lámpara 250 Watts, voltaje de alimentación: 220 Volts, C.A.

Planta alta.- Lámparas fluorescentes, potencia de la lámpara 74 Watts, E.E.P.L. = 6300 Lm, NI = 700 Lx, las lámparas serán instaladas en luminarias de 2 X 74 Watts.

b.5).- Cálculo del número de lámparas.

Planta alta:

Datos:

Lámpara fluorescentes potencia = 74 Watts.

Voltaje = 127 V. EEPL = 6300 Lm.

NI = 700 Lx, Altura de trabajo = 0.80 M.

Area = 26 M. X 7.4 M altura = 3.20 M.

Para el cálculo de la cantidad de lámparas necesarias, es necesario conocer el coeficiente de utilización, el factor de mantenimiento o de conservación y el índice del local o relación de la cavidad. Por lo que se procederá a la obtención de dichos datos en tablas ya calculadas experimentalmente y tomando en cuenta las reflexiones que se producen en techos y paredes.

Coeficiente de utilización (CU), es un factor que tiene en cuenta la eficacia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y las reflectancias de las paredes, techos y suelo.

Factor de conservación o mantenimiento (FM). Este factor considera los cambios constantes que va sufriendo la iluminación a medida que las lámparas envejecen o por el acumulamiento de suciedad.

Índice del local (Ic). Este factor depende de la forma del local.

A continuación se muestra la forma en que se obtiene el índice del local basándose en la longitud y ancho del local, así como también en la altura de montaje.

$$\text{Altura de montaje} = \text{Altura total (HT)} - \text{Altura de trabajo (H/t)} = 3.20 - 0.80 = 2.4 \text{ M.}$$

Con estos datos, se observa en la tabla que tiende al índice "B". Tomando reflexiones del 70% en techo y 30% de paredes y el índice anterior se obtienen de otra tabla de acuerdo a la luminaria su distribución los siguientes datos:

$$\text{CU} = 0.73 \text{ y } \text{FM} = 0.60 \text{ (medio)}$$

Con estos datos es posible conocer el número de lámparas requeridas para el nivel de iluminación deseado, aplicando la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{NL} &= \frac{\text{NI} \times \text{A}}{\text{EEPL} \times \text{CU} \times \text{FM}} = \frac{700\text{L} \times (7.4\text{m} \times 26\text{m})}{6300 \text{ Lm} \times 0.7 \times 0.60} \\ &= 48 \text{ Lámparas} \end{aligned}$$

Como estas lámparas se montarán en luminarias de 2 X 74 Watts, se instalarán 24 luminarias.

NL = número de lámparas.

NI = nivel de iluminación.

A = área.

Planta baja.

Datos:

Lámparas de vapor de sodio...Potencia = 250 Watts.

Voltaje = 220 V EEPL = 25 500 Lm.

NI = 250 Lx.

Altura de trabajo = 0.80 M.

Area de montaje = 4.60 - 0.80 = 3.80 M.

De igual forma que en la planta alta, se obtiene el índice del local, coeficiente de utilización y factor de mantenimiento. Tomando reflexiones del 70% en el techo y 30% en las paredes, tenemos:

Indice: CU = 0.60 FM = 0.73 (bueno)

$$NL = \frac{250L \times (26m \times 10m)}{25\ 500 \text{ Lm} \times 0.6 \times 0.73} = 6 \text{ lámparas.}$$

b.6).- Análisis de cargas.

Análisis de la carga total que se instalará en cada una de las plantas.

Planta baja: 6 lámparas de vapor de sodio de 250 Watts c/u, 4 contactos de 125 Watts c/u.

Planta alta: 48 lámparas fluorescentes de 74 Watts c/u, 10 contactos de 125 Watts c/u, 1 contacto de emergencia de 110 Watts.

Carga total:

48 X 74	Watts	=	3552	Watts.
6 X 250	Watts	=	1500	Watts.
14 X 125	Watts	=	1750	Watts.
<u>1 X 110</u>	<u>watts</u>	<u>=</u>	<u>110</u>	<u>Watts.</u>

Total = 5076 Watts.

b.7).- Cálculo del número de circuitos requeridos.

Cálculo de los circuitos necesarios para conectar la carga anterior.

1).- Lámparas fluorescentes.

Para estas lámparas se considerarán circuitos con una capacidad de 15 Amp. como máximo.

Considerando un factor de utilización de 0.8, por ser uso constante se requiere como mínimo circuitos de 15 X 0.8 = 12 Amperes.

Con lo cual se obtiene una carga por circuito de 12 A. X 127 V. = 1524 V.A.

De la fórmula:

$$\text{Número de circuito} = \frac{\text{Carga total conectada,}}{\text{Carga por circuito.}}$$

se obtiene:

$$\text{Número de circuitos} = \frac{3552 \text{ Watts}}{1524 \text{ Watts}} = 2.33 = 3 \text{ circuitos}$$

2).- Lámparas de vapor de sodio.

Estas lámparas se conectarán en circuitos con capacidad de 4 Amp.

Considerando un factor de utilización de 0.8, por ser de uso constante se requerirá 4 X 0.8 = 3.2 Amperes, en cada circuito.

$$\text{Carga X Circuito} = 3.2 \text{ A. X } 220 \text{ V.} = 704 \text{ Watts.}$$

$$\text{Número de circuitos} = \frac{1500 \text{ Watts}}{704 \text{ Watts}} = 2.13 = 3 \text{ circuitos}$$

3).- Contactos.

Estos contactos se instalarán en circuitos con capacidad de 5 Amp.

$$\text{Carga X Circuito} = 5 \text{ A X } 125 \text{ V} = 625 \text{ Watts.}$$

$$\text{Número de circuitos} = \frac{1750 \text{ Watts}}{625 \text{ Watts}} = 2.8 = 3 \text{ circuitos}$$

4).- Contacto de Emergencia.

Por ser de emergencia, se instalará un circuito exclusivo para este contacto.

Número total de circuitos:

Alumbrado normal planta alta - - - - - 3 circuitos

Alumbrado normal planta baja - - - - - 3 circuitos

Contactos en plantas alta y baja - - - - 3 circuitos

Contacto de emergencia en planta baja - - 1 circuitos

Total de circuitos - - - - - 10 circuitos

Luminarias fluorescentes por circuito.

$$= \frac{\text{Número de luminarias}}{\text{Número de circuitos}}$$

$$\text{Luminarias fluorescentes por circuito} = \frac{24}{3} = 8 \text{ luminarias.}$$

$$\text{Lámparas de vapor de sodio por circuito} = \frac{6}{3} = 2 \text{ lámparas.}$$

$$\text{Contactos por circuito} = \frac{14}{3} = 4.66 = 5 \text{ contactos.}$$

Para este caso se tomará un circuito de 4 contactos para la planta baja y dos circuitos de 5 contactos cada uno en la planta alta.

Contactos de emergencia por circuito = 1 contacto en la planta baja.

Para los circuitos de las lámparas fluorescentes se usarán interruptores de 1 polo - 15 Amperes (1P-15) y para las lámparas de vapor de sodio, contactos normales y contactos de emergencia, se usarán interruptores de dos polos 15 Amperes. (2P-15).

b.8).- Cuadro de Cargas. -

Para que el desbalanceo entre fases al conectar la carga se encuentre dentro del rango permitido, las cargas se conectarán como se muestra en el siguiente cuadro de cargas.

CUADRO DE CARGAS GENERAL

Planta Baja	F A S E S			Planta Alta	Localización.	Interrup-tores	Cir-cuito	⊗ 110W	⊙ 125W	□ 2x74W	⊘ 250W	Suma Total en WATTS	WATTS Fase A	WATTU Fase B	WATTU Fase C	
	A	B	C													
						2P-15	C-1				2	500	250	250		
C-1					PLANTA	2P-15	C-2				2	500		250	250	
					BAJA	2P-15	C-3				2	500	250		250	
C-3						1P-15	C-4		4			500	500			
						1P-15	C-1			8		1184	1184			
C-2					PLANTA	1P-15	C-2			3		1184		1184		
					ALTA	1P-15	C-3			8		1184			1184	
C-4						1P-15	C-4		5			625			625	
						1P-15	C-5					625		625		
						1P-15	C-6	1	5			110	110			
T O T A L E S									1	14	24	6	6912	2294	2309	2309

$$\text{DESBALANCEO ENTRE FASES} = \frac{\text{CARGA MAXIMA} - \text{CARGA MINIMA}}{\text{CARGA MAXIMA}} \times 100 = \frac{2309 - 2294}{2309} \times 100 = 0.648$$

Con los cálculos correspondientes al número de lámparas, número de circuitos y distribución de carga, se espera cubrir las necesidades apropiadas para la iluminación adecuada de las áreas de trabajo.

c).- SISTEMA DE VENTILACION.

c.1).- Introducción.

El sistema de ventilación en las subestaciones eléctricas tipo interior, tiene como objetivo el mantener la temperatura del aire en el local donde están localizados equipos de la subestación, en límites determinados, para la correcta operación de los dispositivos, y además reunir las condiciones climatológicas confortables para el personal que labora en la subestación.

El proyecto del sistema de ventilación se calculará al 100% de su capacidad instalada, pero, la puesta en marcha de la subestación rectificadora será al 40% y en un futuro se complementará a su capacidad nominal.

El estudio comprenderá los siguientes puntos:

- Tipos de instalación de ventilación.
- Datos técnicos.

- Cálculo de volumen de aire.
- Proyecto de ductos.
- Selección de equipo.

c.2).- Tipos de instalación de ventilación:

Existen tres tipos de ventilación, que a continuación se describen.

c.2.1).- Instalación de ventilación por impulsión.-

En este tipo, se aspira el aire del exterior y se transporta a los locales a ventilar, la salida del aire se efectúa a través de puertas, ventanas y otras aberturas a los locales adjuntos, su uso está limitado a aquellos locales en los cuales no existe un fuerte enrarecimiento del aire y pueda salir fácilmente. Los elementos principales de que consta son: ventiladores por impulsión con motor filtro de polvo, ducto de aspiración y de impulsión.

c.2.2).- Instalación de ventilación por extracción.-

Consiste en aspirar el aire del local por medio de un ventilador y se expulsa al aire libre, dado que este tipo de ventilación produce una depresión en los locales a ventilar, son apropiados para evitar la expansión del aire viciado y se usan principalmente en la ventilación de locales pequeños con fuerte enrarecimiento del aire, olores y

altas temperaturas. Los elementos de que consta son: extractores con motor y conducto de aire de extracción y de impulsión.

c.2.3).- Instalación de ventilación por impulsión y extracción.-

Si se trata de ventilar grandes locales es siempre conveniente emplear al mismo tiempo la impulsión y extracción del aire. Los elementos de que consta este tipo de ventilación es la combinación de las dos instalaciones antes descritas.

c.3).- Datos técnicos.

La finalidad de esta información es la de proporcionar los datos necesarios para llevar a cabo el diseño del sistema de ventilación y consta de: condiciones específicas de trabajo, datos de manual de aire acondicionado, calor generado por el equipo y condiciones ambientales.

A continuación se enlistan los datos mencionados:

La temperatura del aire de alimentación no deberá exceder de 34°C , para permitir un aumento de 6°C , debido al equipo de control.

El equipo no requiere de una velocidad específica del aire por lo que la velocidad estará determinada por el tamaño del local y el confort del personal.

La velocidad del aire de alimentación de locales industriales es de:

- 1.- Baja velocidad ----- 12 m/s.
- 2.- Alta velocidad ----- 12 a 15 m/s.

Presión de aire para locales industriales.

- 1.- Baja presión ----- Hasta 90 mm C.A.
- 2.- Media presión ----- De 90 a 180 mm C.A.
- 3.- Alta presión ----- De 180 a 300 mm. C.A.

Para el sistema de ventilación se elige una velocidad y presión baja, debido a que el local a ventilar está libre de polvo y gases.

La instalación de filtros sólo será necesario si se espera que el aire de alimentación esté fuertemente contaminado.

Los cambios de aire en el local será de cuatro veces por hora.

Las dimensiones del edificio son:

Planta baja 27.00 x 10.25 x 4.65 m.

Planta alta 27.00 x 7.45 x 3.20 mm.

Se recomienda aplicar un factor de seguridad, que en nuestro caso dada la demanda y las condiciones de trabajo es de 1.2, factor que se aplica al volumen de aire necesario para la ventilación.

c.3.1).- Condiciones climatológicas.

Altitud sobre el nivel del mar	-----	15.85 mts.
Temperatura máxima	-----	40°C.
Temperatura mínima	-----	10°C.
Humedad relativa	-----	62%.
Calor específico del aire	-----	0.24KCal/kg
Densidad del aire	-----	1.2 Kg/m ³

LA CANTIDAD DE CALOR DISIPADO POR EL EQUIPO ELECTRICO Y ELECTRONICO SE INDICAN EN LAS SIGUIENTES TABLAS.

PLANTA ALTA

	DESCRIPCION	PERDIDAS KW. UNID.	NUM. UNID.	PERDIDAS TOTALES KW
1	Gabinete de tiristores	12.5	5	62.5 KW
2	Tablero de Distribución de 15KV	0.6	5	3.0 KW
3	Tablero de Distribución de C.C.	0.6	5	3.0 KW
4	Tablero de Arranque Grupo M-G	0.6	2	1.2 KW
5	Tablero de Regulación y Control	0.6	5	3.0 KW
T O T A L				72.5 KW

PLANTA BAJA

	DESCRIPCION	PERDIDAS KW. UNID.	NUM. UNID.	PERDIDAS TOTALES KW
1	Transformador 3000 KVA, 13.8KV/750V	30	5	150.00
2	Subestación Unitaria	15	2	30.00
3	Transformador 112.5 KVA, 13.8KV/220V.	1.12	1	1.12
4	Transformador 25KVA, 13.8KV/220 V	0.25	1	0.25
5	Interruptores de C.C.	1.20	5	6.00
6	Grupo Motor Generador	10.00	2	20.00
7	Arrancador a Voltaje Reducido	0.6	2	1.20
8	Reóstato de Campo	0.24	5	1.00
9	Tablero para Control de Velocidad de Motores Principales	0.6	5	3.00
		T O T A L		212.57 KW

c.4).- Cálculo de volumen de aire.

El volumen de aire o caudal, es uno de los datos que intervienen directamente en la selección de la capacidad del ventilador.

Para el cálculo del volumen de aire, partiremos del siguiente principio:

Cuando se requiere enfriar un local a una temperatura requerida (T_r), el aire que se suministra debe tener una temperatura menor (T_s), con el objeto de que al aumentar su temperatura hasta T_r , gane el calor suficiente (Q).

Este principio se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$Q = V \rho C_p (T_r - T_s) \quad (1)$$

Donde:

Q = Cambio del calor sensible del aire Kcal/hr.

V = Volumen del aire suministrado m^3/hr .

ρ = Peso específico del aire igual a $1.2 \text{ Kg}/m^3$.

C_p = Calor específico del aire igual a $0.24 \text{ Kcal}/\text{Kg}^\circ\text{C}$.

T_r = Temperatura requerida en el local en $^\circ\text{C}$.

T_s = Temperatura del aire suministrado en $^\circ\text{C}$.

$T_r - T_s$ = Incremento de temperatura del aire igual a 6°C .

Para obtener el volumen de aire requerido, despejamos V de la fórmula del calor:

$$V = \frac{Q}{C_p (T_r - T_s)} \quad \text{M}^3/\text{hr. --- (2) .}$$

Volumen de aire requerido para la disipación del calor generado por el equipo.

Planta baja:

$$\text{Calor disipado} = Q_B = 212.57 \text{ KW} = 182\,767.68 \text{ Kcal/h.}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2).

$$V_{\text{Requerido}} = \frac{182\,767.68}{1.2 \times 0.24 \times 6} = 105\,768.3 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Planta alta:

$$\text{Calor disipado} = Q_A = 72.5 \text{ KW} = 62\,205 \text{ Kcal/hr.}$$

$$V_{\text{Requerido}} = \frac{62\,205}{1.2 \times 0.24 \times 6} = 35\,998.26 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Volumen adicional.- Se calcula en base a la capacidad del local y a los cambios de aire por hora, son cuatro cambios respectivamente.

Planta baja:

$$\text{Capacidad del local} = 27 \times 10.25 \times 4.65 = 1286.88 \text{ M}^3.$$

$$\text{Volumen adicional} = 1286.38 \times 4 = 5147.52 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Planta alta:

$$\text{Capacidad del local} = 27 \times 7.45 \times 3.20 = 643.68 \text{ M}^3.$$

$$\text{Volumen adicional} = 643.68 \times 4 = 2\,574.72 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Volumen de aire necesario. Es la suma del volumen de aire requerido y el volumen de aire adicional.

Planta baja:

$$V_{\text{Necesario}} = 105\,768.3 + 5\,147.52 = 110\,915.82 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Planta alta:

$$V_{\text{Necesario}} = 35\,998.26 + 2574.72 = 38\,572.98 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Volumen de aire total.- Es igual a la multiplicación del volumen necesario y el factor de seguridad.

Planta baja:

$$V_{\text{Aire total}} = 110\,915.82 \times 1.2 = 133\,098.98 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

Planta alta:

$$V_{\text{Aire total}} = 38572.98 \times 1.2 = 46\,287.57 \text{ M}^3/\text{hr.}$$

c.5).- Proyecto de ductos.

En las instalaciones de sistemas de aire, los ductos tienen la función de llevar aire a los locales o evacuarlos de ellos. El material más apropiado para las construcciones de ductos es la chapa de acero galvanizado, ya que son lisos interiormente y acumulan muy poco polvo, no son in-

flamables, anticorrosivos y ligeros. Las secciones pueden ser cuadradas, rectangulares o bien circulares.

En los locales de la subestación rectificadora, los ventiladores se instalarán en lugares distribuidos, es decir, los ductos de descarga son de longitud relativamente corta, esto implica que las pérdidas por fricción dentro de los ductos son casi nulos.

Para calcular la sección de los ductos nos basaremos en la fórmula del gasto o volumen por unidad de tiempo.

$$\text{Gastos} = \text{Area} \times \text{Velocidad} \text{ (M}^3\text{/hr)}.$$

Despejando el área:

$$\text{Area} = \text{Gasto/Velocidad.} \quad (\text{M}^2).$$

El gasto de aire de cada ducto se calcula en base al número de ventiladores por instalar tanto en planta baja como en planta alta.

Planta baja: Se instalarán cuatro ventiladores, el gasto de cada ventilador será:

$$\text{Gasto de aire} = \frac{133098.98}{4} = 33\,274.74 \text{ M}^3\text{/hr.}$$

$$\text{Planta alta:} \quad \frac{46\,287.57}{2} = 23\,143.78 \text{ M}^3\text{/hr.}$$

Instalándose dos ventiladores.

La velocidad del aire es de 12 m/seg. = 43 200 m/hr.

Sección de ductos:

Planta baja:

$$\text{Sección del ducto} = \frac{33\ 274.74}{43\ 200} = 0.77\ \text{m}^2$$

Planta alta:

$$\text{Sección del ducto} = \frac{23\ 143.78}{43\ 200} = 0.535\ \text{m}^2$$

c.6).- Selección de equipo.

Los ventiladores son máquinas que suministran el aire necesario a una presión requerida, para vencer las diferentes resistencias, tales como: fricción en las paredes de los ductos y en accesorios, etc.

Los ventiladores se clasifican en: axiales y centrífugos, los primeros son los que producen el flujo del aire paralelo a la flecha y los ventiladores centrífugos producen el flujo de aire paralelo al radio de rotación.

Para la selección del tipo de ventilador, normalmente el fabricante proporciona tablas de rendimiento y de dimen-

siones, con las cuales permite elegir el ventilador más apropiado.

Los datos necesarios para elegir los ventiladores son:

	Planta Alta	Planta baja
1.- Tipo de flujo de aire.	Radial	Radial
2.- Gasto de aire para cada ventilador.	33274.74	23143.78 m ³ /Hr.
3.- Presión Total.	100 mm C.A.	100 mm C.A.

Refiriéndose a tablas para seleccionar los ventiladores, que sean adecuados para los valores dados anteriormente, se procede de la siguiente manera.

De las curvas de capacidad, las cuales cuentan con dos gráficas, la primera gráfica sirve para calcular la velocidad en RPM en función del gasto y presión total en mm C.A. La segunda gráfica sirve para calcular la potencia efectiva real (KW) en el eje del ventilador a una densidad del aire de 1.2 Kg/m³, en función de la velocidad y gasto.

De las tablas de fabricante, el ventilador será centrífugo por el tipo de aire, el tipo de aspa será para baja velocidad y para manejar aire de un contenido de polvo muy limitado, según catálogo, el ventilador será del tipo HKLP,

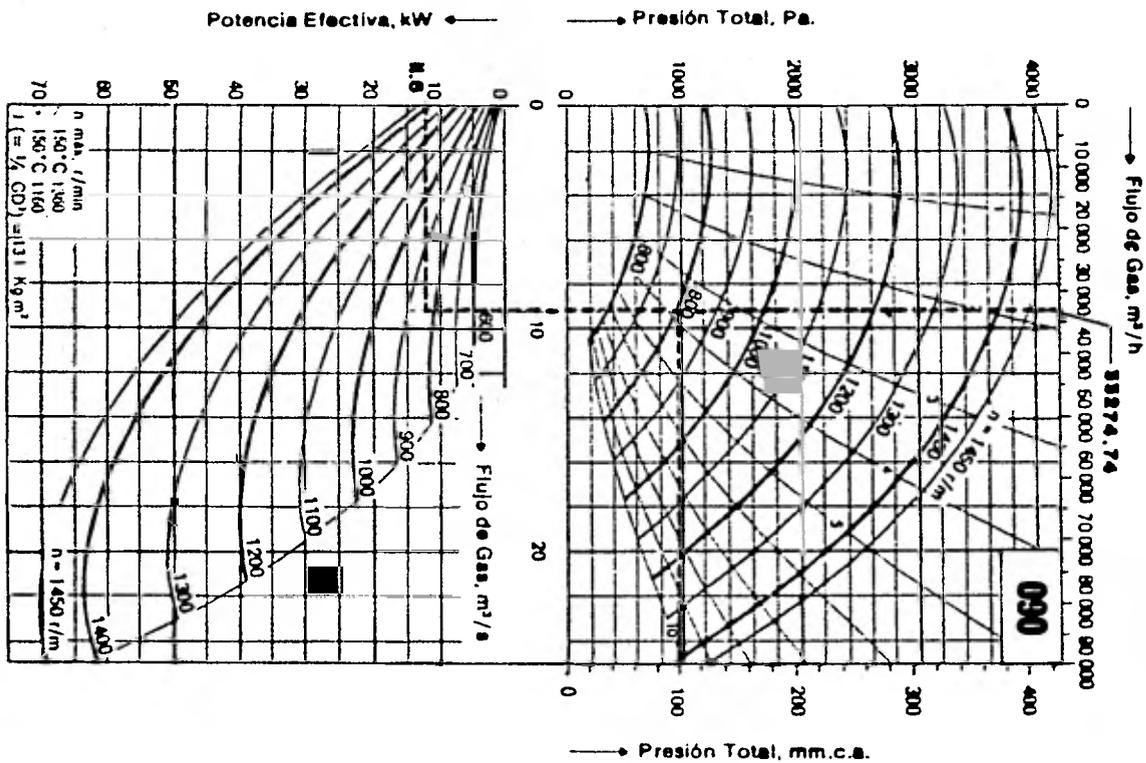
y de acuerdo al gasto de aire a manejar se elige el tamaño de ventilador, basándose en las gráficas de capacidad.

Por tanto en la siguiente tabla se resumen los datos de los ventiladores de acuerdo a las gráficas.

TAMAÑO	POTENCIA	R P M	LOCAL	No. VENTILADORES
090	11.5 (KW)	820	Planta baja	4
080	8.5 (KW)	880	Planta alta	2

HKLP

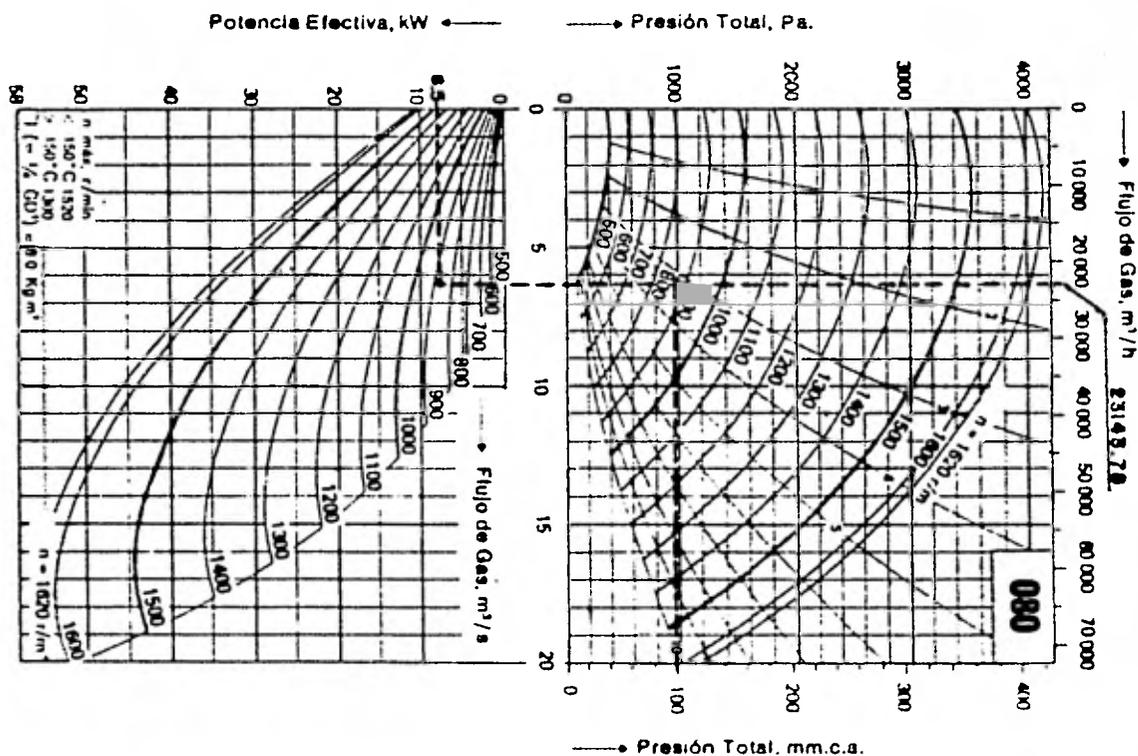
CURVAS DE CAPACIDAD PARA VENTILADORES CENTRIFUGOS TIPO HK.



LOS DIAGRAMAS DE CAPACIDAD CORRESPONDEN A UN GAS CON DENSIDAD DE 1.2 Kg./m.³

HKLP

CURVAS DE CAPACIDAD PARA VENTILADORES CENTRIFUGOS TIPO HK.



LOS DIAGRAMAS DE CAPACIDAD CORRESPONDEN A UN GAS CON DENSIDAD DE 1.2 Kg./m.³

C O N C L U S I O N E S .

A través de los diferentes capítulos de esta tesis, se ha pretendido demostrar, cómo, amalgamando una serie de principios eléctricos, se puede llegar a conseguir el óptimo aprovechamiento de la energía eléctrica.

Con lo anterior, se desea hacer resaltar, que no existe una línea divisoria claramente definida entre los campos de utilización de la corriente alterna y los de la corriente continua. Así, a lo largo de este trabajo, se puede observar que para lograr el objetivo final, que es el accionamiento de dos motores de corriente continua, cuyas ventajas para el uso especial que se les da, han sido explicadas, no es posible prescindir de la corriente alterna. Ha sido necesario elegir los caminos de manera tal, que exista una serie de acciones e interacciones entre los equipos operados con corriente alterna y los operados con corriente continua. De esta forma es como aparece una subestación unitaria de corriente alterna, al mismo tiempo que existen dispositivos rectificadores de corriente para el disparo de los interruptores, etc., y así sería largo enumerar los casos en que resulta ventajoso utilizar corriente alterna o utilizar corriente continua. Por lo que, como primera conclusión, se puede desta-

car que es de suma importancia para la industria de transformación, contar con técnicos capaces para la selección adecuada del equipo a utilizar, a fin de lograr un óptimo aprovechamiento de la energía eléctrica.

Otra de las conclusiones a las que se ha llegado, y de la misma manera en que la corriente alterna y la corriente directa están interrelacionadas para conseguir un objetivo final, así lo están las diferentes ramas de la ingeniería, según lo hemos constatado a través de este trabajo. En este punto cabe mencionar que debio al gran avance de la ciencia, ya no es posible contar con profesionistas que lo abarquen todo, sino que es necesario que exista una especialización, pero que al mismo tiempo es imprescindible la coordinación de todas estas especializaciones. Así, específicamente para el montaje e instalación de la subestación rectificadora que ocupó las páginas de esta tesis, fue necesario el concurso de varias ingenierías de proyecto, como son: Proyecto civil, mecánico, eléctrico y electrónico, y en determinadas etapas del trabajo, fue necesario auxiliarse de ingenieros dedicados al suministro de equipos y servicios, para que posteriormente entraran en funciones ingenieros especialistas en montaje de equipos en campo, y finalmente, estando los equipos en operación,

ha sido indispensable contar con ingenieros de servicio en las ramas mencionadas, para efectuar el mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Como conclusión final, se desea recalcar que es imperativo para el progreso de la industria, y del País en general, que se vayan amalgamando las pasadas experiencias, con las innovaciones actuales.

Esto lo sustentamos con la autoridad que nos dá el hecho de haber sido testigos de los excelentes dividendos que ha arrojado en TAMSA, el ir desplazando equipos obsoletos y sustituyéndolos con nuevos equipos o complementándolos con éstos, como fue el caso del convertidor con tiristores.

ha sido indispensable contar con ingenieros de servicio en las ramas mencionadas, para efectuar el mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Como conclusión final, se desea recalcar que es imperativo para el progreso de la industria, y del País en general, que se vayan amalgamando las pasadas experiencias, con las inovaciones actuales.

Esto lo sustentamos con la autoridad que nos dá el hecho de haber sido testigos de los excelentes dividendos que ha arrojado en TAMSA, el ir desplazando equipos obsoletos y sustituyéndolos con nuevos equipos o complementándolos con éstos, como fue el caso del convertidor con **tiristores**.

A P E N D I C E.

A.1.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL TIRISTOR.

Los tiristores son dispositivos biestables de conmutación, de semiconductor, que se disparan a conducción por la aplicación de una señal al electrodo puerta. Los tipos más comunes de tiristores son el tiristor de bloqueo inverso (al que comunmente nos referimos simplemente como tiristor) y el tiristor bidireccional (conocido por su nombre comercial de triac). En adelante nos referiremos a ambos tipos como tiristores y triacs, respectivamente.

El tiristor es un dispositivo de cuatro capas p-n-p-n, cuyo funcionamiento puede describirse por medio de la analogía de dos transistores (véase figura A.1). Suponemos que la región central p-n puede dividirse diagonalmente, tal como se ha representado, de modo que el tiristor queda partido en un transistor p-n-p (T1)

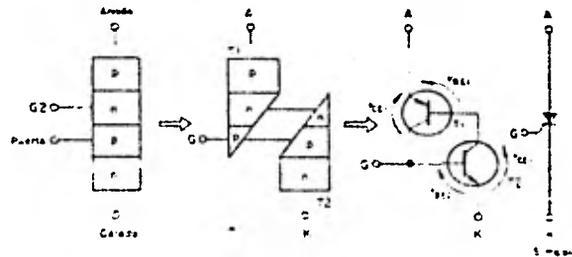


FIG. A.1

Analogía del tiristor con dos transistores

y un transistor n-p-n (T2). Por el momento no tendremos en cuenta los efectos del electrodo puerta G2. Primeramente, vamos a considerar el funcionamiento del dispositivo con la puerta desconectada. La aplicación de un potencial negativo al ánodo, hace que la unión p-n superior quede inversamente polarizada y en estado de funcionamiento el tiristor bloquea el flujo de corriente. Un potencial anódico positivo, polariza directamente la unión p-n superior, pero con señal de puerta cero, la unión p-n central queda polarizada inversamente. De nuevo el tiristor no puede conducir a menos que la tensión anódica se eleve a un valor al que tenga lugar la ruptura de avalancha. Este método de poner en funcionamiento es admisible en algunos circuitos, pero no recomendado normalmente porque puede conducir al deterioro del tiristor. Así con tal que no se apliquen tensiones de ruptura directa o inversa, cuando la tensión de puerta es nula, el tiristor bloquea el flujo de corriente para las dos tensiones anódicas, directa (positiva) e inversa (negativa).

Si se aplica un potencial positivo al electrodo puerta (G) mientras el ánodo es positivo, el transistor T2 entra en funcionamiento y empieza a conducir. Puesto que la corriente del colector de T2 es la corriente de la base T1, éste empieza también a conducir. Observamos asimismo, en la figura A.1, que la corriente del colector de T1 fluye

en el interior de la base de T2. Por consiguiente, mientras el ánodo es positivo cada transistor mantiene al otro en estado de conducción. En consecuencia con este hecho, durante el período en que el ánodo es positivo, el tiristor actúa como un relé de autoenclavamiento. A partir de ésto, llegamos a la conclusión de que, a efectos de disparo, será suficiente una señal de puerta en forma de impulso de unos pocos microsegundos de duración.

En la figura A.2, se ha representado la característica estática de un tiristor. Una vez el tiristor disparado a conducción, la tensión directa a través de él cae hasta unos 0.75-1.25 V, dependiendo del valor real de la corriente de carga. El efecto de aplicar al principio valores progresivamente más elevados de la corriente de puerta, es el de poner en funcionamiento el tiristor con más rapidez. Los impulsos de puerta aplicados mientras el ánodo es negativo no dispara el tiristor al estado de conducción.

Si se aplica una tensión negativa a la región de puerta, no puede disparar el tiristor a conducción (cualquiera que sea el potencial anódico) ya que aplica una polarización inversa a la unión del emisor de T2.

Una razón para la baja diferencia de potencial directa a través del dispositivo, la podemos deducir de la analogía de dos transistores. La tensión que aparece entre el ánodo y el cátodo cuando el tiristor se halla en estado de conducción, es la suma de los valores saturados de V_{CE1} y V_{BE2} o de V_{CE2} y V_{BE1} . Según la información dada anteriormente, sabemos que la suma de las diferencias de potencial es aproximadamente 1 V, que concuerda bastante bien con el valor medido.

Una vez que el tiristor ha entrado en funcionamiento, permanece en estado de conducción hasta que la corriente anódica ha caído por debajo de la corriente de mantenimiento cuyo valor se halla comprendido, generalmente, entre una fracción de miliampere en los tiristores de pequeño tamaño y unos 50 mA en los grandes.

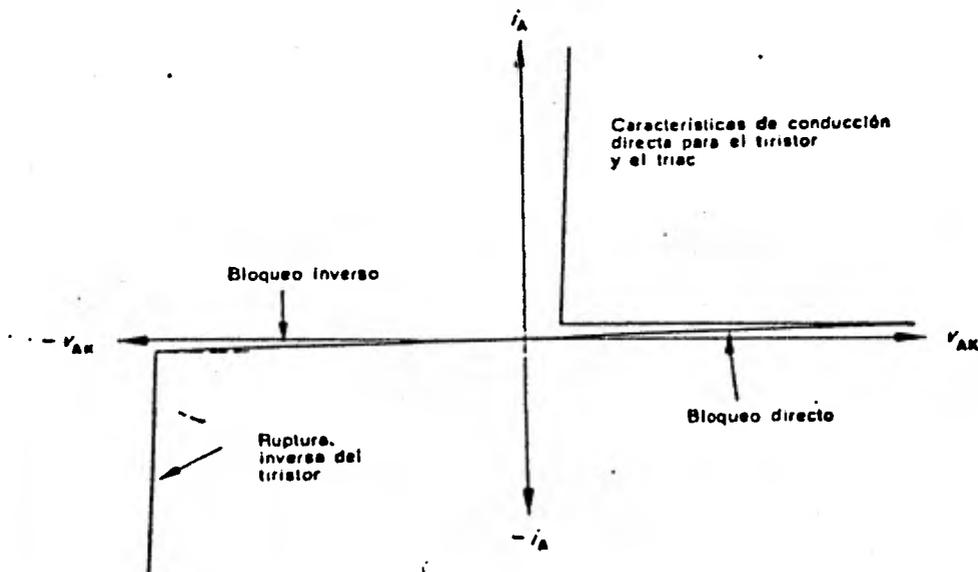


FIG. A.2

El tiempo de desconexión del tiristor, se define como el tiempo requerido por el dispositivo para alcanzar su capacidad plena de bloqueo y es el tiempo necesario para que los portadores de carga libres se recombinen y desaparezcan. Dicho tiempo se halla entre unos 5 y 200 microsegundos y depende del valor nominal y de la fabricación del tiristor. Se fabrican tiristores de desconexión rápida, reduciendo la vida media de los portadores de carga de las uniones de bloqueo directo por medio de técnicas de dopado con oro. Esto, desgraciadamente, reduce también la corriente nominal y la capacidad de bloqueo directo de un determinado tipo de dispositivo. Como ejemplo del valor nominal de un tiristor de desconexión rápida, un dispositivo de 400 A, 1.5 kV, puede tener un tiempo de desconexión de 30 a 40 Microsegundos.

Existen varios tipos de símbolos del tiristor, uno de los cuales se representa en la figura A-3.

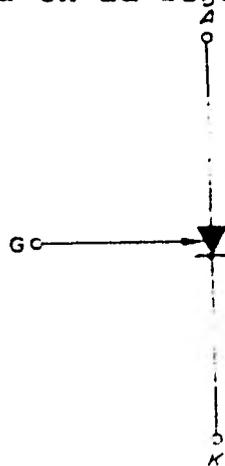


FIG. A.3

A.2.- CIRCUITOS MONOFASICOS BASICOS.

En la figura A-4a, se ha representado un circuito básico con tiristor para control de media onda monofásica. El circuito de tiristor facilita una salida de media onda "troceada" a la carga. El tiristor se dispara por medio de un circuito de control que es, usualmente, un generador de impulsos. Para un control suave, el impulso de conexión debe sincronizarse para que tenga lugar en el mismo punto de cada período. Con una carga resistiva, la corriente a través del tiristor se anula cuando la tensión anódica alcanza el cero. El tiristor, vuelve entonces a su estado de bloqueo durante el semiperíodo negativo y continúa dicho bloqueo durante la primera parte del semiperíodo positivo siguiente hasta el punto en que es disparado otra vez a conducción. Si el ángulo al que empieza la conducción (ángulos de retardo) después del punto cero del período es α y el ángulo al que cesa la conducción es β , la tensión media de salida V_L es:

$$V_L = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} (V_M \text{ sen } \omega t - V_A) d(\omega t)$$

en la cual V_M es el valor máximo de la tensión de alimentación y V_A es la diferencia de potencial a través del tiristor en estado de conducción. Para la mayor parte

de efectos prácticos, $\beta = \pi$ radianes (180 grados) y V_A vale aproximadamente 1 V y se puede dejar de tomar en cuenta en muchos casos. Dichas suposiciones dan por resultado la siguiente ecuación simplificada:

$$V_L = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_M \text{ sen } \omega t d(\omega t)$$

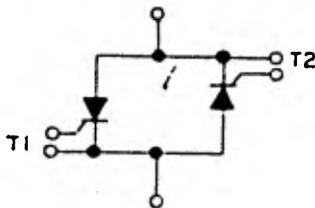
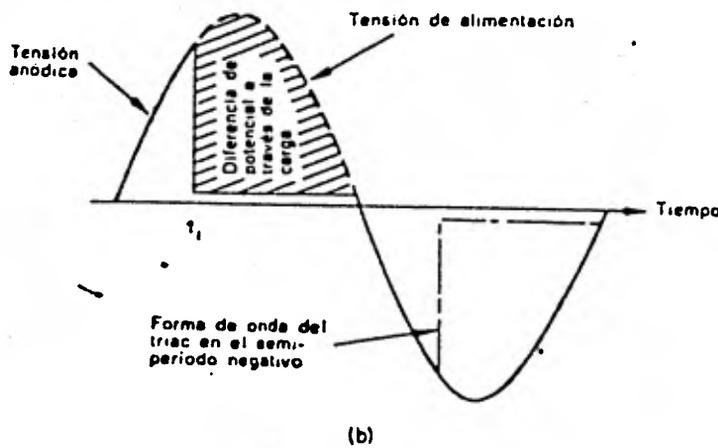
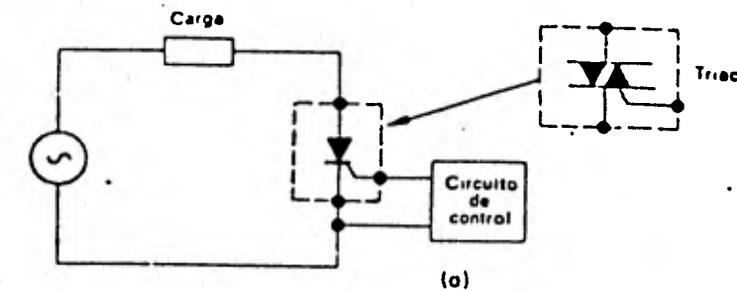


FIG. A.4

(a) Circuito controlado monofásico y (b) formas de onda de tensión. En (c) se representa un par de tiristores en conexión paralela-inversa.

realizando la integración resulta:

$$V_L = \frac{V_M}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$V_L = 0,159 V_M (1 + \cos \alpha) \approx 0,225 V_{rms} (1 + \cos \alpha)$$

siendo V_{rms} el valor eficaz de la tensión de alimentación.

Así, ajustando la fase de los impulsos de puerta "hacia adelante" de modo que $\alpha = 0$, se desarrolla la máxima tensión de salida V_M/π a través de la carga. En este caso, el tiristor actúa simplemente como un elemento rectificador y la forma de onda de la tensión de salida es idéntica a la de un rectificador de media onda monofásico. Por ajuste de fase de los impulsos de puerta "hacia atrás" de modo que $\alpha = \pi$ radianes, la tensión media de salida se reduce a cero y el tiristor bloquea completamente el flujo de corriente. El aumento de α más allá de π radianes, no ejerce más efecto sobre la tensión de salida.

El tipo de control utilizado se conoce con el nombre de control de fase, puesto que la corriente de carga y la tensión se controlan por variación de fase del impulso de puerta respecto a la tensión de alimentación.

Mientras el tiristor actúa como rectificador controlado y proporciona una salida de C.C. en forma de una serie de impulsos unidireccionales, el triac es un elemento de control bidireccional que facilita una salida de C.A. controlada. Puede desarrollarse también una salida de C.A. controlada sustituyendo al triac por un par de tiristores en conexión paralelo inversa, según se muestra en la figura A.4c.

A.3.- CIRCUITOS MONOFASICOS CON CARGAS INDUCTIVAS.

Cuando se intenta reducir la corriente en una carga inductiva, el cambio de flujo resultante en el núcleo del inductor es capaz de generar una fuerza contraelectromotriz que tiende a mantener el flujo de corriente. En circuitos de tiristor, el efecto de esta f.e.m. es mantener el flujo de corriente a través del tiristor durante breve tiempo después de que la tensión de alimentación ha pasado a ser negativa. La corriente del circuito inductivo no se anula hasta que no cae a cero la energía almacenada en la carga.

En la figura A.5, se representan formas de onda correspondientes a un circuito inductivo controlado por un tiristor, en el cual éste se dispara a t_1 en el primer semi-

período positivo, motivando que su tensión anódica descienda a 1 volt aproximadamente. Se inicia la conducción y empieza a circular corriente en la carga. La forma de onda de la corriente puede deducirse de la solución de la ecuación diferencial del circuito y por dicho medio, puede demostrarse que tiene el típico aspecto asimétrico representado en la figura. Cuando la tensión anódica alcanza el cero, la corriente anódica continúa, por la razón dada anteriormente, hasta t_2 , en que la corriente del tiristor cae por debajo de la corriente de mantenimiento. Entonces, el tiristor se desconecta y vuelve a adquirir un estado de bloqueo hasta dispararse a conducción en t_3 , en el segundo semiperíodo positivo. Este proceso se repite en cada ciclo.

En algunos casos, es deseable que el tiristor se bloquee al inicio del semiperíodo negativo y ésto puede conseguirse poniendo la carga en paralelo con un diodo. La función del diodo es facilitar un camino alternativo para el flujo de la corriente inductiva. En este tipo de aplicación, al diodo se le dá el nombre de diodo volante o diodo de extinción de chispa.

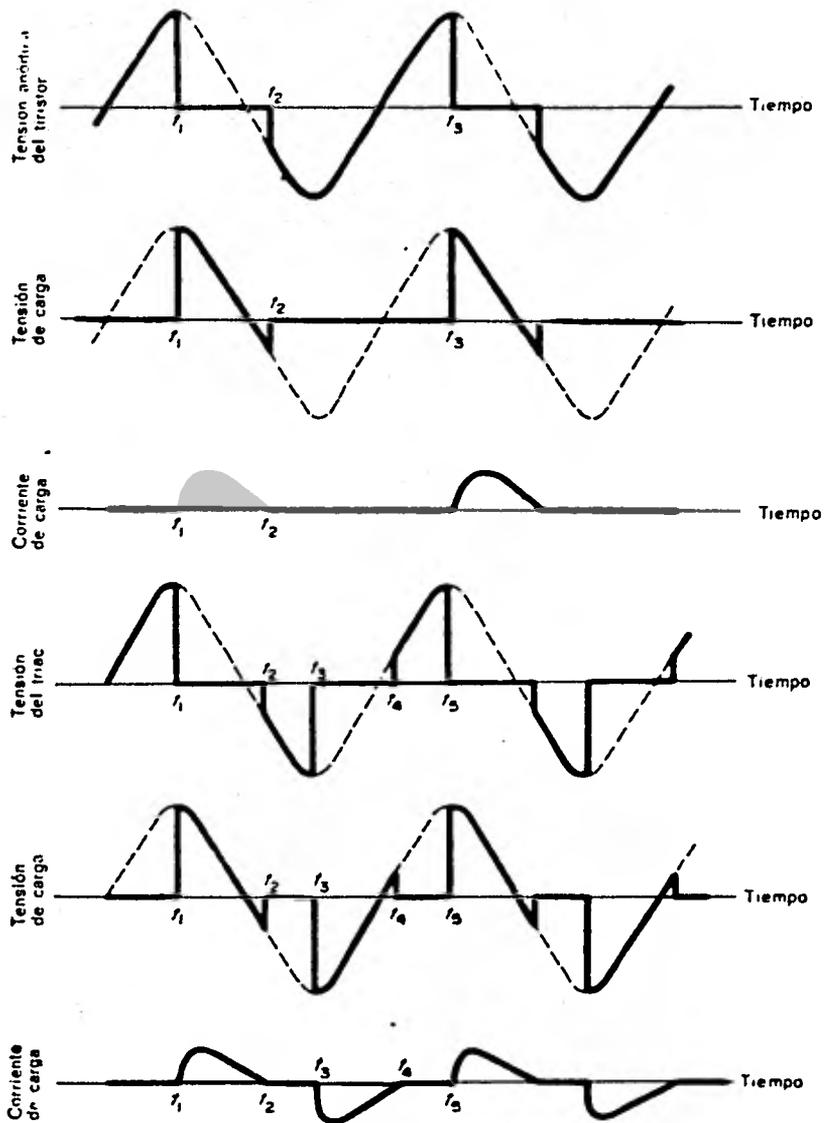


FIG. A.5

Formas de onda de tensión y corriente en un circuito monofásico con una carga inductiva.

A.4.- OTROS CIRCUITOS MONOFASICOS.

En la figura A.6, se representa una gama de circuitos monofásicos usuales. El circuito de toma central de la figura A.6a, proporciona control de C.C. de onda completa, permitiendo utilizar el transformador cuando se requiere una tensión de salida no estándar o cuando la carga ha de ser aislada eléctricamente de la fuente de alimentación. El circuito paralelo-inverso A.6b, proporciona control de onda completa de corrientes alternas y los circuitos puente A.6c y d, pueden utilizarse para control de cargas de C.A. o C.C., colocando las cargas en las posiciones indicadas. Generalmente, sólo se incluye una de las dos cargas, siendo sustituida la otra por un cortocircuito. El circuito A.6d, presenta para un tipo dado de tiristor, el doble de la corriente nominal del circuito de la figura c.

Cuando la carga es inductiva, es aconsejable en el circuito A.6c poner la carga con un diodo volante en paralelo, para garantizar que la corriente del tiristor se reduzca a cero al final de los semiperíodos positivos. Si en la figura A.6d se utilizan tiristores en las posiciones A y C, con diodos en las posiciones A y D, el circuito funciona satisfactoriamente como rectificador de puente controlado y tiene la ventaja adicional de que los diodos quedarían correctamente conectados para actuar como diodos volantes.

La tensión media de salida de los circuitos A.6c y d, con una carga resistiva, es el doble de la de un circuito de media onda, por lo tanto:

$$V_L = \frac{V_M}{\pi} (1 + \cos \alpha) = 0,45 V_s (1 + \cos \alpha)$$

siendo V_s la tensión de alimentación eficaz.

El circuito de la figura A.6d, se conoce con el nombre de puente semicontrolado puesto que sólo se controlan una mitad de los dispositivos del puente. Los circuitos puente en los que todos los elementos son tiristores, se llaman circuitos puente completamente controlados; los puentes semicontrolados son apropiados para su empleo en aplicaciones de C.A. a C.C. (rectificador) mientras que los puentes completamente controlados pueden utilizarse en aplicaciones de C.C. a C.A. (inversor) así como en circuitos rectificadores.

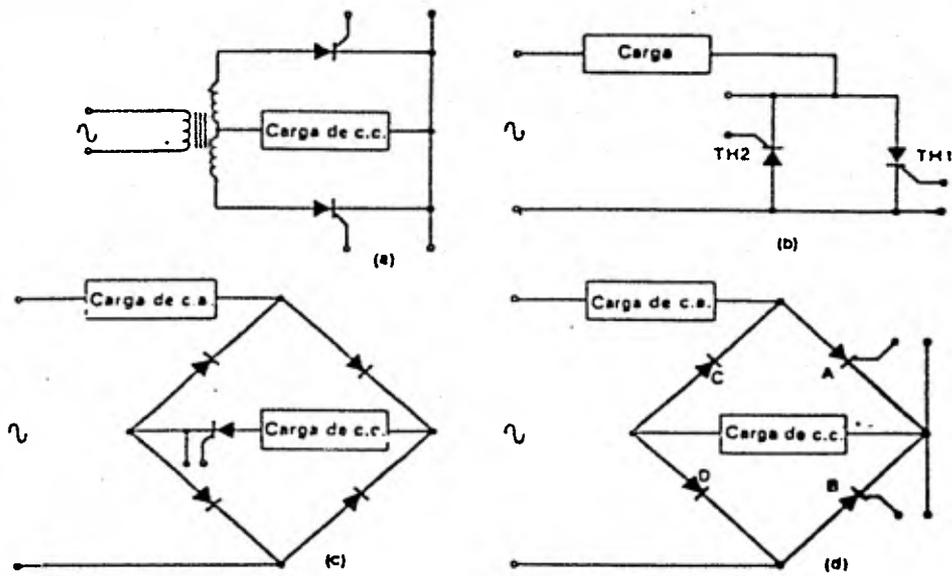


FIG. A.6

Circuitos usuales de tiristor, monofásicos de onda completa.

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

Instrucciones para tableros Metal Clad, con celdas para cortacircuitos DHEP.

Boletín IEM L.I-410-000

Instrucciones para cortacircuitos electromagnéticos tipo DS.

Boletín IEM L.I-380-000.

Transformadores HP

Editor Ing. Héctor M. Pacheco.

Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plant.

Standard 141-1976 IEEE.

Silicon Controlled Rectifier.

Designers Handbook, Westinghouse 1976.

Electrónica Industrial Avanzada.

Noel M. Morris "Marcombo".

Wide for Safety in Substation Grounding.

Institute of Eletrical and Electronic Engineers

Standard 80-1976 IEEE.

Manual de Alumbrado Westinghouse

3a. Edición. Editorial Dossat, S.A.

Manual de Aire Acondicionado.

Carrier International Limited "Marcombo".

