

17  
29j

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"

RECIBIDA EN LA SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA  
AGOSTO 20 DE 1988

ANALISIS DE OPERACION DE UNA SUBESTACION  
DE RECTIFICACION DEL S.T.C. (SISTEMA DE  
TRANSPORTE COLECTIVO)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ALBERTO GARDUÑO OROZCO



México, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1988



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

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

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

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

## I N D I C E

1.- INTRODUCCION .....	1
1.1 Que es una Subestación de Rectificación .....	5
1.2 Generalidades .....	5
1.3 Alimentación a Subestaciones de Rectificación del Sistema de Transporte Colectivo S.T.C. ....	11
1.3.1 Alimentación para las líneas 1, 2 y 3 .....	12
1.3.2 Alimentación para las líneas 4, 5, 6 y 7 ....	16
2.- CONSTITUCION Y OPERACION DE UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION (S.R.) .....	20
2.1 Grupos que constituyen una Subestación de Rectificación .....	23
2.1.1 Gabinete Seccionador o Intersec .....	24
2.1.2 Gabinete Transformador Auxiliar .....	24
2.1.3 Grupo Transformador Principal .....	25
2.1.4 Grupo Rectificador .....	26
2.1.5 Grupo Ventilador .....	28
2.1.6 Seccionadores de 5000 u 8000 Amperes .....	28
3.- CIRCUITO SECCIONADOR EN CORRIENTE ALTERNA (C.A.) .....	29
3.1 Control y Protección de una Subestación de Rectifi- cación en 15 KV., para las líneas 1, 2 y 3 .....	38
3.2 Control y Protección de una Subestación de Rectifi- cación en 23 KV., para las líneas 4, 5, 6 y 7 .....	42

4.- TRANSFORMADOR AUXILIAR .....	48
4.1 Funciones del Transformador Auxiliar .....	50
4.2 Funciones de Relevó para protección del Transformador Principal .....	53
4.3 Funciones de Relevó para protección del Rectificador .....	55
 5.- TRANSFORMADOR PRINCIPAL .....	 57
5.1 Transformación Trifásica a Hexafásica .....	60
5.2 Teoría de las Transformaciones Hexafásicas .....	65
5.2.1 Transformación Estrella Hexafásica .....	67
5.2.2 Transformación Malla Hexafásica .....	70
5.2.3 Transformación Diametral Hexafásica .....	74
5.2.4 Transformación Doble "Estrella" Hexafásica ..	77
5.2.5 Transformación Doble "Delta" Hexafásica .....	79
5.2.6 Transformación Estrella-Delta Hexafásica ....	81
5.3 Datos de Placa Típicos del Transformador Principal .	84
 6.- RECTIFICADOR .....	 89
6.1 El Diodo de Alta Potencia .....	92
6.2 Teoría del Circuito Rectificador .....	95
6.2.1 Circuito Rectificador de Media Onda .....	99
6.2.2 Circuito Rectificador de Onda Completa .....	107
6.3 Circuitos Rectificadores Polifásicos .....	113
6.3.1 Rectificadores Trifásicos de Media Onda .....	114
6.3.2 Rectificadores Trifásicos de Onda Completa ..	117
6.4 Bobina de Equilibrio .....	127

7.- VENTILADOR .....	132
7.1 Ventiladores de Flujo Axial .....	135
7.2 Ventiladores Centrifugos .....	137
7.3 Nomenclatura de los Ventiladores .....	138
7.4 Presiones de un Ventilador .....	139
7.5 El Ventilador de la Subestación de Rectificación ..	141
8.- CIRCUITO SECCIONADOR EN CORRIENTE DIRECTA (C.D.) .....	144
8.1 Control y Protección en el Equipo de Tracción de 750 V.C.D. ....	146
8.2 Funciones de Relevo para Protección del Equipo de Tracción de 750 V.C.D. ....	152
9.- COSTOS ADMINISTRATIVOS .....	156
9.1 Contabilidad de Costos de Manufactura .....	161
9.1.1 Sistemas de Contabilidad de Costos .....	163
9.2 Material Directo .....	166
9.3 Mano de Obra .....	168
9.3.1 Mano de Obra Directa e Indirecta .....	169
9.4 Gastos Generales de Manufactura .....	171
9.4.1 Gastos Generales Fijos, Variables y Semivariables .....	173
10.- EVALUACION .....	175
10.1 Uso de las Transformaciones Polifásicas en la Conversión de Potencia .....	177
10.2 Rectificación Hexafásica de Media Onda usando Diodos .....	182

11.- CONCLUSIÓN .....	186
APENDICE "A" .....	191
APENDICE "B" .....	192
BIBLIOGRAFIA .....	196

CAPITULO 1  
"INTRODUCCION"

En la actualidad el único Sistema de Transporte y Suministro de Energía Eléctrica, tanto para utilización industrial - como doméstica, esta basado en el empleo de la corriente alterna, debido a sus ventajas de transformación a los niveles de tensión y corriente que se precisen en cada punto de consumo, propiedad que no presenta la corriente continua.

Sin embargo, sigue siendo necesario, para un innumerable conjunto de aplicaciones, disponer de un suministro adecuado - de corriente continua, a causa de que determinados procesos industriales y la gran mayoría de los equipos electrónicos necesitan para su funcionamiento esta forma de alimentación.

Es preciso, por tanto, recurrir a sistemas que produzcan un suministro adecuado de corriente continua, a partir de la corriente alterna que reciben de la red, situados en el mismo punto de utilización.

Estos Sistemas de Conversión de corriente alterna a corriente continua se denominan "Rectificadores".

Los Dispositivos Rectificadores, son elementos simples - que poseen la característica de conducir la corriente sólo en un sentido, anulando o corrigiendo el contrario.

Existen en la actualidad dos grandes ramas de "Rectificadores", y cada una de ellas comprende un amplio número de elementos.



La primera de ellas, es la de los "Rectificadores Electrónicos de Vacío" o comunmente denominados "Tubos Electrónicos o Bulbos de Vacío", y la segunda, es la de los llamados - "Rectificadores de Estado Sólido", estos últimos son el resultado del alto grado de desarrollo de la Electrónica.

#### CLASIFICACION DE LOS TUBOS ELECTRONICOS

A. De Acuerdo al Material Empleado de Envoltura

- 1.- Vidrio,
- 2.- Metal.

B. De Acuerdo al Tipo de Cátodo

- 1.- Termiónico,
  - a) Calentado Directamente
  - b) Calentado Indirectamente
- 2.- Ampolla de Mercurio,
- 3.- Cátodo Frío,
- 4.- Fotoemisivo.

C. De Acuerdo al Medio Encerrado por la Envoltura

- 1.- Vacío (Altamente Evacuado),
- 2.- Lleno de Gas.

D. De Acuerdo a los Electrodo

- 1.- Diodo (Tiene simplemente un cátodo y un ánodo),
- 2.- Triodo (Tiene un cátodo, un ánodo y una rejilla),
- 3.- Tetrodo (Tiene un cátodo, un ánodo y dos rejillas),

- 4.- Pentodo (Tiene un cátodo, un ánodo y tres rejillas),
- 5.- Multiánodo (Multipropósito o Multiánodo).

## CLASIFICACION DE LOS RECTIFICADORES DE ESTADO SOLIDO

### A. De Acuerdo al Control de la Rectificación

#### 1.- Rectificación No Controlada,

- a) Diodo de Cristal
- b) Diodo Zener
- c) Diodo Tunnel
- d) Diodo de Alta Potencia

#### 2.- Rectificación Controlada.

- a) SCR (Rectificador Controlado de Silicio)
- b) DIAC (Diodo de AC)
- c) TRIAC (Triodo de AC)

Debido al desarrollo tecnológico y a las mejores características que presentan los dispositivos de estado sólido, estos han ido sustituyendo progresivamente a los tubos electrónicos en sus múltiples aplicaciones, por lo que este tratado sólo enfocará los Dispositivos de Estado Sólido.

En este momento cabe hacer la siguiente aclaración. En el transcurso de esta obra se utilizará el término corriente directa (c.d.) en lugar de corriente continua, por considerar se el proceso de rectificación aquí analizado muy eficiente.

## 1.1 QUE ES UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION.

La SUBESTACION DE RECTIFICACION, es el Sistema Eléctrico en Alta Potencia, que transforma con la mayor eficiencia la Corriente Alterna (C.A.) en Corriente Directa (C.D.), utilizando como base de funcionamiento los Dispositivos Rectificadores.

En el caso de una SUBESTACION DE RECTIFICACION del Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.), los dispositivos rectificadores usados, corresponden a la clasificación de rectificadores de Estado Sólido, con la característica de no poseer control sobre la rectificación y denominados comunmente como "Diodos Semiconductores de Alta Potencia".

## 1.2 GENERALIDADES.

Debido a que el tema que vamos a desarrollar es una parte importante dentro de todo un gran Sistema, como lo es el "Metro" de la Ciudad de México, comenzaremos por dar sus características básicas de operación desde los Puestos de Control del Sistema.

La función principal del Puesto de Despacho de Carga (P.D.C.) es la de Control, Recepción y Distribución de la Energía Eléctrica que se suministra a todas las instalaciones y equipos del Sistema de Transporte Colectivo. Para lo cual los responsables de esta tarea, cuentan con dos tableros de control, uno de la Subestación de BUEN TCNO, en donde se en-

**TABLERO DE CONTROL DE RECEPCION Y DISTRIBUCION  
 DE LA ENERGIA ELECTRICA LINEAS 1, 2 Y 3**

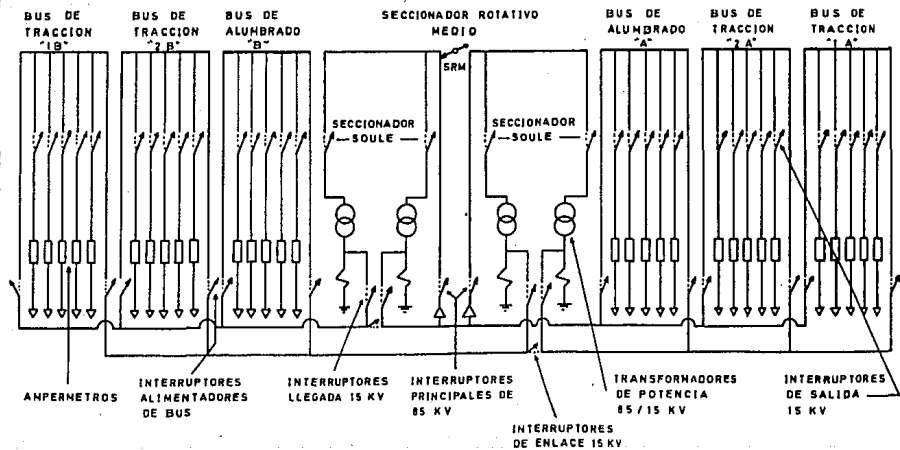


FIGURA No. 1.1

TABLERO DE CONTROL Y DISTRIBUCION DE LA ENERGIA  
ELECTRICA PARA LAS LINEAS 4, 5 Y 6.

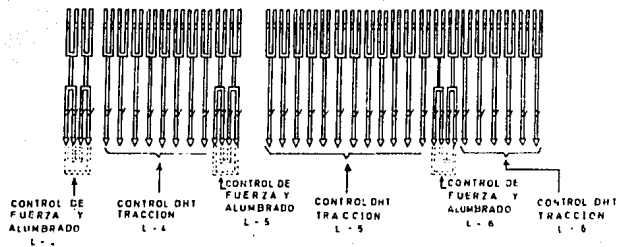


FIGURA No. 1.2

cuentran representados en forma esquemática todos los equipos en 85 K.V. y 15 K.V. de las líneas 1, 2 y 3 (ver figura No. - 1.1), y el otro para operar los equipos en 23 K.V. de las líneas 4, 5 y 6 ( ver la figura No. 1.2).

En el Tablero de Control del Puesto de Despacho de Carga de las líneas 1, 2 y 3, se observan 3 secciones que son:

- I. El diagrama unifilar de las 2 Subestaciones de 85/15 K.V. (observe la figura No. 1.3).
- II. Las platinas de señalización de averías (figura No. 1.4).
- III. Los botones de mando para la operación de los equipos.

## CONFIGURACION DEL SUMINISTRO DE ENERGIA DE LAS LINEAS 1,2 Y 3 (NORTE,CENTRO)

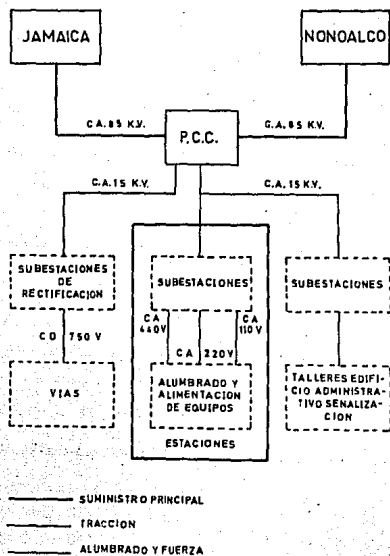
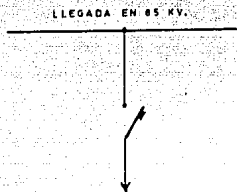


FIGURA No. 1.3

ESQUEMA DE PLATINA DEL  
INTERRUPTOR DE 85 KV.



SOBRE CORRIENTE	TIERRA
FALTA TENSION EN 85 KV	FALTA INTERRUPTOR PRESION
FALTA INTERRUPTOR MOTOR	INCENDIO EN LA LLEGADA ATA
	FALLA DEL HILO PILOTO

FIGURA No. 1.4



### 1.3 ALIMENTACION A SUBESTACIONES DE RECTIFICACION DEL S.T.C.

De lo anterior se deduce, que la alimentación de una -- Subestación de Rectificación, depende de la línea en que se -- encuentre ubicada, por lo tanto, tenemos que, para las subestaciones de las líneas 1, 2 y 3, la alimentación viene del -- Puesto Central de Control (P.C.C.), en 15 K.V. y que para -- las subestaciones de las líneas 4, 5, 6 y 7, la alimentación proviene directamente de Comisión Federal de Electricidad en 23 K.V.

### 1.3.1 ALIMENTACION PARA LAS LINEAS 1, 2 Y 3.

Como ya se mencionó, la alimentación para las Subestaciones de Rectificación de las líneas 1, 2 y 3, proviene del Puesto Central de Control, que a su vez, es alimentado por Comisión Federal de Electricidad (ver figura No. 1.3), con las siguientes características (ver tabla 1.1):

SUMINISTRO: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

TENSION SUMINISTRADA: 85 K.V.

MEDIO: DOS CABLES SUBTERRANEOS DE ALTA PRESION DE ACEITE CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO Y CALIBRE DE 800 M.C.M.

CAPACIDAD DE LOS CABLES: 600 AMP. + 20% DE SOBRECARGA (DOS HORAS) CADA UNO DE REGIMEN CONTINUO.

MODO: DOS SISTEMAS INDEPENDIENTES DE BOMBEO DE ACEITE JAMAICA M-1 Y NONOALCO M-2.

LONGITUD: 3610 METROS A JAMAICA Y 3260 METROS A NONOALCO.

PROTECCION: PRIMARIA: DIFERENCIAL, FALLA DE TIERRA Y SOBRE CORRIENTE (CORTO CIRCUITO).

PROTECCION ALTA TENSION: INTERRUPTOR A PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE EN 85 KV. Y CONTRA CORTO-CIRCUITO, FALLA A TIERRA Y FALTA DE POTENCIAL.

## ALIMENTACION

AL PCC PARA LAS LINEAS 1,2 Y 3

SUMINISTRO:	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
TENSION SUMINISTRADA:	85 K.V.
MEDIO:	DOS CABLES SUBTERRANEOS DE ALTA PRESION DE ACEITE CON AISLAMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO Y CALIBRE DE 800 M.C.M.
MODO:	DOS SISTEMAS INDEPENDIENTES DE BOMBEO DE ACEITE JAMAICA M-1 Y NONOALCO M-2.
CAPACIDAD DE LOS CABLES:	600 AMP. + 20% DE SOBRECARGA (DOS HORAS) CADA UNO DE REGIMEN CONTINUO.
LONGITUD:	3610 METROS A JAMAICA Y 3260 METROS A NONOALCO.
PROTECCION:	PRIMARIA: DIFERENCIAL Y FALLA DE TIERRA Y SOBRECORRIENTE (CORTO CIRCUITO).
PROTECCION ALTA TENSION:	INTERRUPTOR A PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE EN 85 KV. Y CONTRA CORTO CIRCUITO. FALLA A TIERRA Y FALTA DE POTENCIAL.
CAPACIDAD INTERRUPTIVA:	5000 M.V.A.
CORRIENTE NOMINAL:	1200 AMP.
CORRIENTE INTERRUPTIVA:	2 89 KA.
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA:	154 M.V.A.
DEMANDA MAXIMA	64.8 M.W.

TABLA 1.1

CAPACIDAD INTERRUPTIVA: 5,000 M.V.A.

CORRIENTE NOMINAL: 1,200 AMP.

CORRIENTE INTERRUPTIVA: 289 K.A.

CAPACIDAD TOTAL INSTALADA: 154 M.V.A.

DEMANDA MAXIMA: 64.8 M.W.

Cada Subestación de Rectificación es alimentada por un cable trifásico armado de 15 K.V., que cuenta con un hilo piloto que asegura la señalización y el telemando para los Tableros de Control Optico (T.C.O.) y del Puesto de Despacho de Carga (P.D.C.), el cuál sale desde el Puesto Central de Control (P.C.C.), (ver tabla 1.2).

## DISTRIBUCION

PARA LAS LINEAS 1,2Y3

TENSION DE DISTRIBUCION MODO:	15 KV CUATRO TRANSFORMADORES DE 38.5 M.V.A. C/U.
CONEXION DE TRANSFORMADORES:	Y/Δ CONECTANDO AL SECUNDARIO UNA BOBINA DE PUNTO NEUTRO.
DISTRIBUCION DE CARGA DE TRACCION:	CUATRO BUSES DISTRIBUYEN LOS ALIMENTADORES A LAS SUBESTACIONES DE RECTIFICACION.
DISTRIBUCION DE CARGA DE ALUMBRADO:	DOS BUSES GENERADORES DISTRIBUYEN LOS ALIMENTADORES A LAS SUBESTACIONES DE FUERZA Y ALUMBRADO.
INTERRUPTORES EN 15 KV. :	TIPO SECO, SOPLO MAGNETICO CON CAMARA DE SOLE - NARC Y AIRE POR FUELLE.
CORRIENTE NOMINAL:	400 AMP.
POTENCIA DE CORTE (SIMETRICO):	9 600 AMP.
INTENSIDAD DE CRESTA:	24 500 AMP.
CAPACIDAD INTERRUPTIVA:	200 M.V.A.
INSTALACION CABLES 15 KV :	EN GALERIAS, DUCTOS, TUNEL, CHAROLAS Y ENTERRADOS

TABLA 1.2

### 1.3.2 ALIMENTACION PARA LAS LINEAS 4, 5, 6 Y 7.

C.F.E., proporciona alimentación en 23 K.V., a una -- Subestación de Rectificación mediante dos llegadas indepen-- dientes entre sí, denominadas "PREFERENTE" y "EMERGENTE", pa ra garantizar el suministro de energía (ver figura No. 1.5).

La alimentación en 23 K.V. a las Subestaciones de Recti ficación para las líneas 4,5, 6 y 7, presenta las siguientes características (ver tabla 1.3):

SUMINISTRO: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

TENSION SUMINISTRADA: 23 K.V., 60 HZ.

MEDIO: 3 CABLES MONOPOLARES CON AISLAMIENTO DE 23 K.V., CALIBRE 240 mm<sup>2</sup> EN ALIMENTACION PREFERENTE Y -- 3 CABLES MONOPOLARES CON AISLAMIENTO DE 23 K.V., CALIBRE 240 mm<sup>2</sup> EN ALIMENTACION EMERGENTE, AMBOS CIRCUITOS PROPIEDAD DE C.F.E.

MODO: DOS SISTEMAS INDEPENDIENTES (PREFERENTE Y EMERGENTE) SUMINISTRADOS DESDE SUS ANILLOS DE 23 K.V.

CAPACIDAD DE CABLES: 400 AMP., CADA UNO

LONGITUD: VARIABLE, DEPENDIENDO DE LA CERCANIA DE LA SUBES- TACION DE RECTIFICACION AL ANILLO EN 23 K.V. MAS PROXIMO.

CONFIGURACION DEL SUMINISTRO DE ENERGIA  
PARA SUBESTACIONES DE RECTIFICACION  
ALIMENTADAS EN 23 KV POR C.F.E., EN LAS  
LINEAS 4,5,6 Y 7

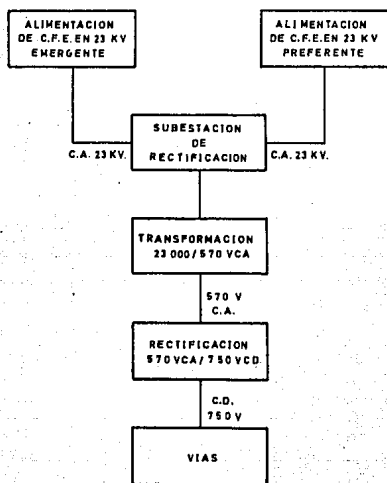


FIGURA No. 1.5

PROTECCION DE SOBRECORRIENTE: CONSISTE EN UNA CUCHILLA --  
TRIPOLAR DE PUESTA A TIERRA  
DE 400 AMP. Y 23 K.V.

PROTECCION DE MEDIANA TENSION: INTERRUPTORES EN AIRE CON -  
CAPACIDAD DE CORTE DE 1,000  
M.V.A., PARA SERVICIOS PRE-  
FERENTE Y EMERGENTE.

CAPACIDAD INTERRUPTIVA: 1,000 M.V.A.

CORRIENTE NOMINAL: 400 AMP. (OPERACION CON CARGA).

CAPACIDAD TOTAL INSTALADA: 176,000 K.W.



## ALIMENTACION

A SUBESTACIONES DE RECTIFICACION PARA  
LAS LINEAS 4,5,6 Y 7

SUMINISTRO:	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
TENSION SUMINISTRADA:	23 KV., 60 HZ.
M E D I O:	3 CABLES MONOPOLARES CON AISLAMIENTO DE 23 KV. CALIBRE 240 mm <sup>2</sup> EN ALIMENTACION PREFERENTE Y 3 CABLES MONOPOLARES CON AISLAMIENTO DE 23 KV CALIBRE 240 mm <sup>2</sup> EN ALIMENTACION EMERGENTE AMBOS CIRCUITOS PROPIEDAD DE - C.F.E.
M O D O:	DOS SISTEMAS INDEPENDIENTES (PREFERENTE Y EMERGENTE) SUMINISTRADOS DESDE SUS ANILLOS DE 23 KV.
CAPACIDAD DE CABLES:	400 AMP. CADA UNO.
L O N G I T U D:	VARIABLE, DEPENDIENDO DE LA CERCANIA DE LA SUBESTACION DE RECTIFICACION AL ANILLO EN 23 KV. MAS PROXIMO.
PROTECCION:	CUCHILLA TRIPOLAR DE PUESTA A TIERRA 400 A 23 KV Y SOBRE CORRIENTE (CORTO CIRCUITO).
PROTECCION MEDIANA TENSION:	INTERRUPTORES EN AIRE CON CAPACIDAD DE CORTE DE 1000 MVA PARA SERVICIOS PREFERENTE Y EMERGENTE.
CAPACIDAD INTERRUPTIVA:	1000 M.V.A.
CORRIENTE NOMINAL:	400A. (OPERACION CON CARGA)
CORRIENTE INTERRUPTIVA:	1000 M.V.A.
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA:	176 000 KW.

T A B L A 1.3

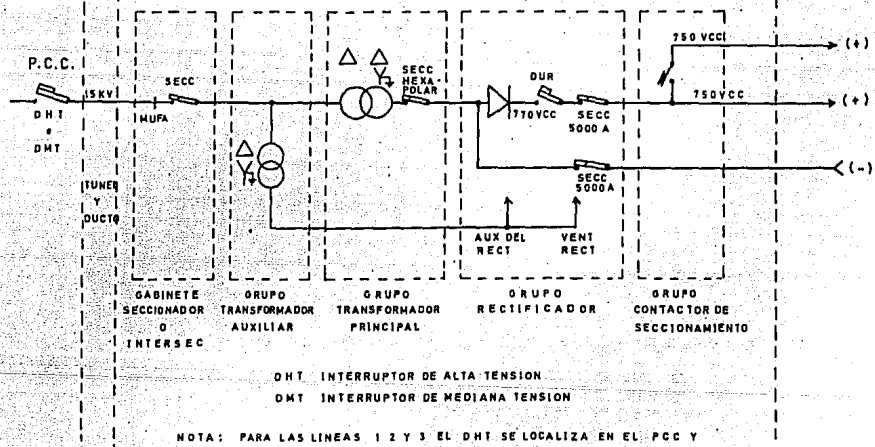
C A P I T U L O 2

CONSTITUCION Y OPERACION DE UNA SUBESTACION  
DE RECTIFICACION (S.R.).

Las Subestaciones de Rectificación están alojadas en locales situados en el exterior, independientes de las estaciones, y su instalación interior está formada por grupos o bloques móviles que permiten su cambio, en caso de avería, por otro similar. El equipo de control eléctrico es fijo y se conecta a los grupos o bloques móviles por medio de conectores de enchufe.

En la figura No. 2.1, se presenta el diagrama unifilar de una Subestación de Rectificación.

DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION  
DEL S.T.C. (METRO)



DHT INTERRUPTOR DE ALTA TENSION  
DMT INTERRUPTOR DE MEDIANA TENSION

NOTA: PARA LAS LINEAS 1 2 Y 3 EL DHT SE LOCALIZA EN EL PCC Y  
PARA LAS LINEAS 4 5 6 Y 7 LOS DMT SE LOCALIZAN EN LAS  
SUBESTACIONES DE RECTIFICACION.

FIGURA No. 2.1

## 2.1 GRUPOS QUE CONSTITUYEN UNA SUBSTACION DE RECTIFICACION.

Los grupos que constituyen una Subestación de Rectificación son:

- I. Gabinete Seccionador o Intersec.
- II. Gabinete Transformador Auxiliar.
- III. Grupo Transformador Principal.
- IV. Grupo Rectificador.
- V. Grupo Ventilador.
- VI. Seccionadores de 5,000 amperes u 8,000 amperes.

### 2.1.1 GABINETE SECCIONADOR O INTERSEC.

Este gabinete contiene una mufa terminal del cable -- alimentador de 15 K.V. ó 23 K.V. (dependiendo de la línea - en que se encuentre la subestación), y un seccionador tripo lar que tiene como función principal, aislar la subestación de rectificación con respecto al cable alimentador.

### 2.1.2 GABINETE TRANSFORMADOR AUXILIAR.

Este grupo esta conectado a las barras colectoras que salen del seccionador y esta constituido por un transformador que suministra energía a todos los circuitos auxiliares de la Subestación. Las características principales de este transformador son:

- Capacidad Nominal 25 K.V.A.

- Conexión  $\Delta - Y$  (Delta-Estrella).

- Relación de Transformación 15 K.V./220-127 V.C.A.

ó 23 K.V./220-127 V.C.A.

### 2.1.3 GRUPO TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

Este grupo esta conectado a las barras colectoras que - salen del seccionador y esta constituida por:

- a).- Un transformador dentro de un tanque lleno de piraleno. Se utiliza para alimentar el grupo rectificador que suministra la energía de tracción. El transformador cuenta con un cambiador manual de "TAPS", con el objeto de poder regular la tensión de salida del mismo.

Sus características son:

- Capacidad Nominal 2,750 K.V.A.
- Conexión Delta/Delta-Estrella.
- Relación de Transformación 15 K.V./540 V.C.A.  
ó 23 K.V./540 V.C.A.

- b).- Un seccionador hexapolar que se encuentra conectado por un extremo al secundario del transformador antes descrito y por el otro, al grupo rectificador.

#### 2.1.4 GRUPO RECTIFICADOR.

Este grupo es el encargado de Rectificar la corriente - alterna (c.a.) de 540 volts, en corriente directa (c.d.) de 750 volts, la cual es suministrada a las barras guías (ver - la figura No. 2.2).

Esta constituida por:

a).- Un Rectificador Dodecafásico.

Formado por 168 diodos de silicio, montados en dos puen- tes de GRETS, conectados en paralelo, con seis grupos - de 7 hileras y cada hilera con dos diodos conectados en serie.

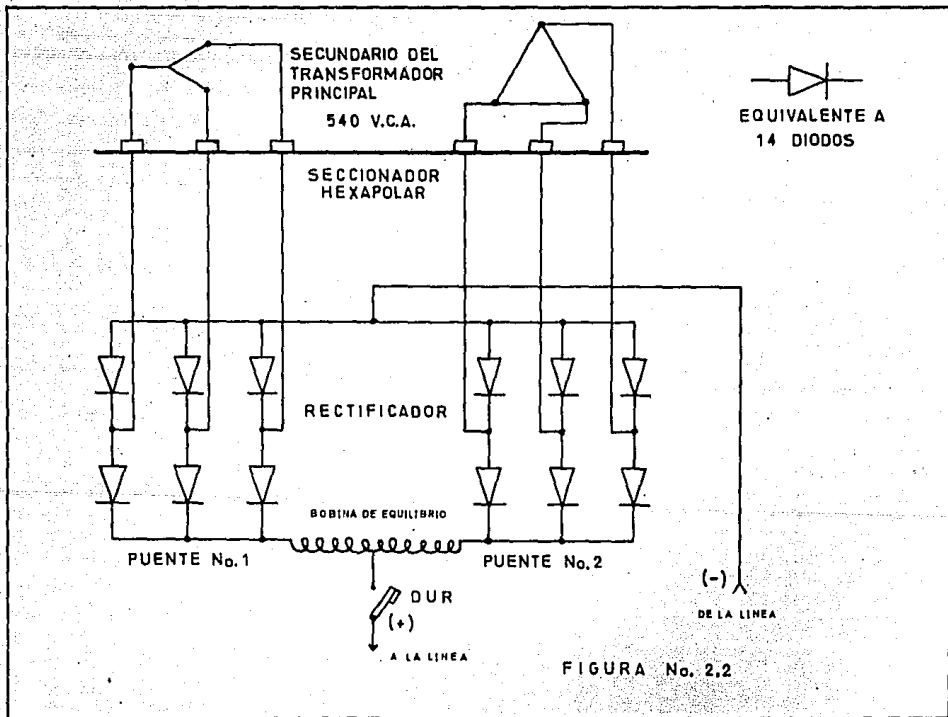
b).- Una Bobina de Equilibrio.

Esta bobina cuenta con aislamiento clase "B" y enfria- miento natural. Se encuentra conectado a la salida del Rectificador Dodecafásico y tiene como finalidad corre- gir el rizo que se obtiene de la corriente rectificada, haciendo más lineal su señal de salida (positivo).

c).- Disyuntor Ultra-Rápido (D.U.R.).

Este interruptor protege al grupo rectificador de las - sobrecargas o cortocircuitos que se producen en la línea y permite la alimentación desde el Grupo Rectificador a las barras guías a través del seccionador de 5,000 amp.





## Condiciones de apertura y cierre del D.U.R.

### 1.- Apertura.

- Por la apertura del D.H.T. ó D.M.T.
- Por incidente en línea.
- Por sobrecarga.

### 2.- Cierre.

- Por el cierre del D.H.T. ó D.M.T.

### 2.1.5 GRUPO VENTILADOR.

Este grupo con una capacidad de enfriamiento de  $11 \text{ m}^3/\text{seg}$  tiene como función, proporcionar el flujo de aire, a través de una cámara para enfriar el transformador principal y al grupo Rectificador.

### 2.1.6 SECCIONADORES DE 5,000 AMPERES ú 8,000 AMPERES.

Estos seccionadores se encuentran dentro de la Subestación y permiten alimentar o aislar a ésta de las barras guías, como se observa en la figura No. 2.2, y se localizan después del Disyuntor Ultra Rápido (D.U.R.).

C A P I T U L O 3

CIRCUITO SECCIONADOR EN C.A.

**CUCHILLAS DESCONECTADORAS**  
**(SECCIONADORES)**

La cuchilla desconectadora es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico.

Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga, hasta ciertos límites.

La clasificación de las cuchillas desconectadoras es la siguiente:

Por su Operación:

- a).- Con Carga (con tensión nominal).
- b).- Sin Carga (con tensión nominal).

Por el Tipo de Accionamiento:

- a).- Manual.
- b).- Automático.

A continuación se presentan algunos tipos de cuchillas - desconectadoras (ó seccionadores) y su empleo general.

- 1.- Cuchillas con tres aisladores, dos fijos y uno giratorio al centro (horizontal), llamado también de doble arco. Estas cuchillas se emplean sobre todo en subestaciones tipo intemperie con corrientes elevadas y tensiones del orden de 34.5 K.V.; son generalmente operadas en grupo, por mando eléctrico. No representan peligro para el operario, ya que es grande la separación entre polos. Ver la figura No. 3.1.

2.- Cuchillas con dos aisladores accionados con pértiga de --  
operación vertical (normal e invertida).

Este tipo de cuchillas es de los más usuales por su opera-  
ción simple, puede emplearse en instalaciones interiores  
o a la intemperie. Para usos interiores se recomienda --  
usarla en tensiones no mayores de 23 K.V., para operación  
con pértiga, el lugar donde se sitúe el operario para --  
efectuar la desconexión debe ser, de acuerdo con las nor-  
mas de seguridad, una madera con cepa de hule.

Para montaje a la intemperie puede usarse en cualquiera -  
de las tensiones normales, con mando por barra o motor --  
eléctrico. Ver la figura No. 3.2.

3.- Cuchillas con dos aisladores, uno fijo y otro giratorio -  
en el plano horizontal.

Este tipo de cuchillas es de uso a la intemperie general-  
mente. Presentan muchas ventajas cuando son accionados -  
neumáticamente; por tal razón, es conveniente emplearlos  
cuando se disponga de aire comprimido. Se usen para cual-  
quiera de las tensiones normales de operación. Pueden --  
accionarse también por barra o motor eléctrico, tienen el  
inconveniente de que la hoja de desconexión se desajusta  
después de varias operaciones, figura No. 3.3.

4.- Cuchillas tipo Pantógrafo o Separador de Tijera.

En la actualidad este tipo de cuchillas no se emplea con  
frecuencia, sobre todo en América. La razón es que su -  
mecanismo de operación es complicado y falla en ocasio--  
nes; además su costo es elevado y ocupa mucho espacio, -

SECCIONADOR CON TRES AISLADORES DOS FIJOS  
Y UNO GIRATORIO

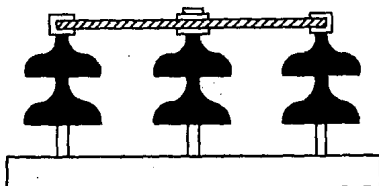


FIGURA No. 3.1

SECCIONADOR CON DOS AISLADORES  
ACCIONADOS CON PERTIGA

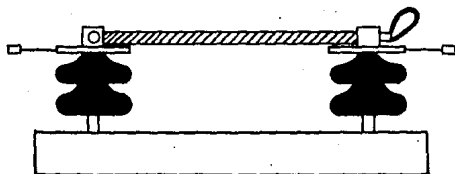


FIGURA No. 3.2

SECCIONADOR CON DOS AISLADORES  
UNO FIJO Y OTRO GIRATORIO.

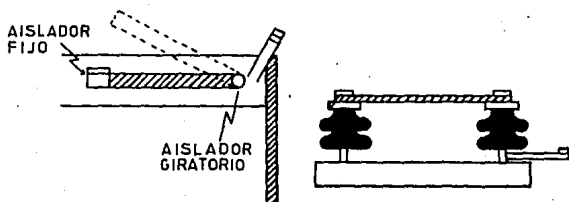


FIGURA No. 3.3

lo cual va en contra de la tendencia actual de reducir el espacio en las instalaciones. Ver la figura No. 3.4.

5.- Cuchillas con tres aisladores de doble arco (Tipo "AV"). Estas cuchillas se emplean en instalaciones de corrientes elevadas y tensiones medias; se operan generalmente por barra o motor eléctrico, pero también puede accionarse con aire comprimido. En sistemas de distribución a 23 y 33 K.V., se usan para interconexión de líneas. Vea la figura No. 3.5.

6.- Cuchillas de tres aisladores, con el aislador central desplazable por cremallera.

El rango de aplicación de estas cuchillas es semejante al de las cuchillas de operación vertical; debido a su tamaño, generalmente son accionadas por motor eléctrico, aunque se pueden accionar por barra o aire comprimido. Observe la figura No. 3.6.

7.- Cuchillas con cuernos de arqueado.

Estas cuchillas pueden ser de operación horizontal o vertical. Se usan por lo general en sistemas que operan en tensiones muy elevadas, por ejemplo 66, 68, 115 KV., etc. Su empleo es indispensable en líneas largas. Los cuernos de arqueado sirven para que entre ellos se forme el arco al desconectar las cuchillas, y a la conexión a tierra para disipar la energía del arco.

El arco se forma debido a la energía residual que conservan las líneas largas al quedar en vacío después de la --

SECCIONADOR  
PANTOGRAFO O SEPARADOR DE TIJERA

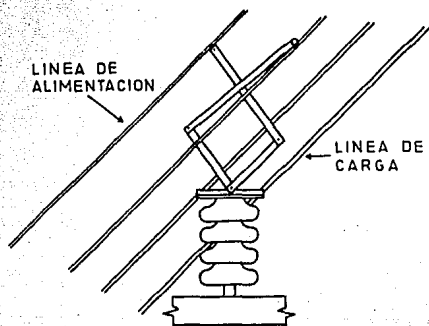


FIGURA No. 3.4

SECCIONADOR TIPO "AV"

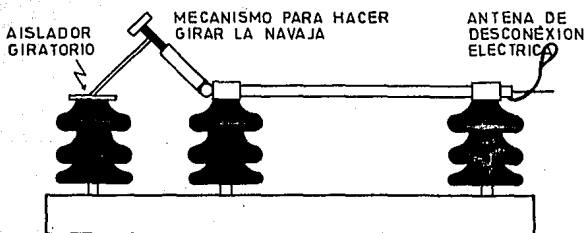


FIGURA No. 3.5



SECCIONADOR DE TRES AISLADORES  
EL DEL CENTRO MOVIBLE POR CREMALLERA.

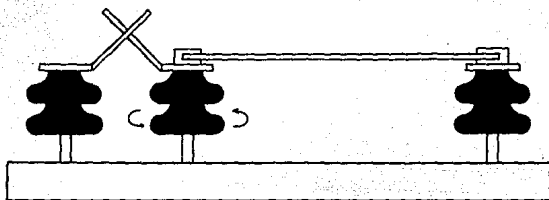


FIGURA No. 3.6

SECCIONADOR CON CUERNOS DE ARQUEO

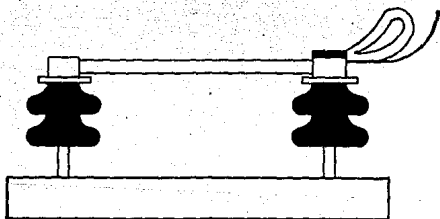


FIGURA No. 3.7

apertura del interruptor. Observe la figura No. 3.7.

### CUCHILLAS DE OPERACION CON CARGA

Existen cuchillas que pueden desconectar circuitos con carga. Estas cuchillas reciben generalmente el nombre de Seccionadores y son casi siempre cuchillas de operación vertical con accesorios especiales para desconexión rápida. Se fabrican para interrumpir corrientes hasta de 1000 Amp., a tensiones no mayores de 34.5 K.V.

#### ESPECIFICACIONES.

Los datos que se deben proporcionar para el pedido de -- cuchillas desconectadoras son básicamente los siguientes:

- 1.- Tensión nominal de operación.
- 2.- Corriente nominal.
- 3.- Corriente de corto circuito simétrica.
- 4.- Corriente de corto circuito asimétrica.
- 5.- Tipo de montaje (horizontal o vertical) y forma de mando.

Este último es el tipo usado en la alimentación a las -- Subestaciones de Rectificación del Metro y que comúnmente se le denomina "INTERSEC", del cuál a continuación se presentan los siguientes datos de placa:

MERLIN - GERIN

INTERRUPTOR: INTERSEC

TRIPOLAR TIPO K25

No. p 376 - 608

V Nom 25 KV 60 Hz

I Nom 400 Amp.

P de 400 Amp. 25 KV

OPERACION CON PERTIGA

Datos tomados de la Subestación de Rectificación  
ubicada en los talleres del Metro estación Zara-  
goza.

### 3.1 CONTROL Y PROTECCION DE UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION EN 15 K.V. PARA LAS LINEAS 1, 2 Y 3.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD alimenta al Puesto Central de Control (P.C.C.) en 85 K.V. y de ahí, se alimenta a cada una de las Subestaciones de Rectificación por medio de cable.

La tensión a la que se alimenta a las Subestaciones es de 15 K.V. y su señalización en el Tablero de Control, está representada por el Interruptor de Alta Tensión (D.H.T.).

#### Condiciones de Operación del Interruptor "D.H.T."

- I. U.R. (Lámpara Verde). El encendido de esta lámpara indica que se encuentra abierto el interruptor Ultra Rápido correspondiente a la Subestación.
- II.. R.M.F.S. (Lámpara Verde). Cuando se encuentra esta lámpara encendida, indica que el Relevador de Mantenimiento se encuentra desexcitado y esta anulada la función del corte de urgencia.
- III. U.R. (Lámpara Roja). Esta lámpara indica que el interruptor Ultra Rápido se encuentra cerrado.
- IV. R.M. (Lámpara Roja). Esta lámpara en color rojo indica que el Relevador de Mantenimiento se encuentra en servicio. Este relevador mantiene las condiciones de operación del Corte de Urgencia (accionamiento de ruptor y condiciones de zona).

Protecciones del Interruptor "D.H.T.", de los cables de Alimentación a Subestaciones de Rectificación.

- I. Corto Circuito. Esta protección opera cuando existe un corto circuito entre las fases del cable de 15 - K.V. que alimenta la Subestación correspondiente, - provocando su apertura.
  
- II. Incidente en Línea. Esta protección opera cuando - existe un corto circuito en las vías, el cuál provoca la apertura de los interruptores Ultra Rápidos - de las Subestaciones Rectificadoras que esten ali-- mentando esa zona, a su vez manda la apertura del - D.H.T.
  
- III. Cable a Tierra. Esta protección opera cuando alguna de las fases del cable de 15 K.V. que alimenta la - Subestación Rectificadora falla a tierra, provocan- do la apertura del interruptor D.H.T.
  
- IV. Avería de Grupo. Esta protección opera cuando se presenta alguna avería en los equipos de la Subestación de Rectificación, como:
  - a).- Falla en el Transformador Principal.
  - b).- Falla en el Grupo Rectificador.
  - c).- Falla en el Ventilador.

Al detectarse cualquiera de las fallas anteriores - se provoca la apertura del interruptor D.H.T., y -- por consiguiente la apertura del interruptor Ultra Rápido.

El Personal del Puesto de Despacho de Carga (P.D.C.), al percatarese de la operación de alguna de las protecciones deberá:

- I. Si se trata del funcionamiento del Relevador de Mantenimiento (R.M.) ó Incidente en Línea, confirmará la apertura de los interruptores que alimenten a -- los cables de 15 K.V. de las Subestaciones de Rectificación. Esperará indicaciones del personal del - Puesto Central de Control, para reenergizar los in-  
terruptores afectados.
- II. Si se trata de un Cable a Tierra, Corto Circuito de los cables de 15 K.V. ó Avería de Grupo, el perso--  
nal del P.D.C. deberá confirmar la apertura del ---  
D.H.T. afectado y notificará al personal responsa--  
ble para su intervención.

El Personal del P.D.C. cuenta para el control y operación de estos interruptores con:

- I. Botón Circular Rojo: cerrar el interruptor.
- II. Botón Circular Verde: abrir interruptor, y/o confir-  
mar apertura y cesar la alarma.
- III. Botón Circular Amarillo: borrar la falla y/o cesar  
la alarma.

- IV. Botón Cuadrado Amarillo: de prueba de Relevador de Mantenimiento.
- V. Botón Cuadrado Rojo: de puesta en servicio del Relevador de Mantenimiento.
- VI. Botón Cuadrado Verde: de puesta en Fuera de Servicio (F.S.) del Relevador de Mantenimiento.

#### Llaves de Bloqueo en el Tablero de Distribución del P.D.C.

El personal del P.D.C. cuenta con un sistema de llaves de bloqueo en los interruptores de enlace, interruptores de llegada de 15 K.V. e interruptores de buses de alumbrado y tracción, las cuales impiden la conexión del sistema alimentador en paralelo.

### 3.2 CONTROL Y PROTECCION DE UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION EN 23 K.V. PARA LAS LINEAS 4, 5, 6 Y 7.

Como ya lo mencionamos, C.F.E., proporciona alimentación en 23 K.V. a una Subestación de Rectificación mediante dos -- llegadas independientes entre sí, para garantizar el suministro de energía, estas son denominadas "Preferente" y "Emergente" y están representadas en el Tablero por dos barras, y la presencia de tensión en la propia Subestación se manifiesta -- por el encendido en rojo de la lámpara "C". La acometida -- preferente está situada en el ramal izquierdo, lámpara "A" y la emergente del lado derecho, lámpara "B". Observe la figura No. 3.8.

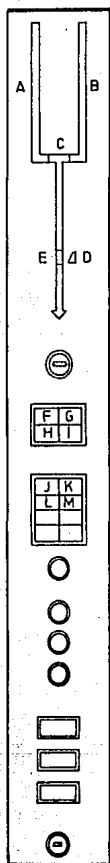
El Interruptor de Mediana Tensión (D.M.T.), de la Subestación de Rectificación, se representa por dos lámparas, una verde lámpara "D" para indicar la posición "ABIERTO", y otra roja lámpara "E" para indicar la posición "CERRADO", (ver la figura No. 3.8).

#### Condiciones de Operación del Interruptor "D.M.T."

- I. U.R. (Lámpara verde "F"). El encendido de esta lám para indica que se encuentra abierto el Interruptor Ultra Rápido correspondiente a la Subestación.
- II. R.W.F.S. (Lámpara verde "H"). Cuando se encuentra esta lámpara encendida, indica que el Relevador de Mantenimiento se encuentra des-excitado y ésta anula la función de corte de urgencia.



DIAGRAMA DE ALIMENTACION Y CONTROL DE UNA S.R. DE 23 KV.



- A-ALIMENTACION "PREFERENTE" DE LA C.F.E.
- B-ALIMENTACION "EMERGENTE" DE LA C.F.E.
- C-PRESENCIA DE TENSION
- D-DMT ABIERTO
- E-DMT CERRADO
- F-U.R. ABIERTO
- G-U.R. CERRADO
- H-R.M. FUERA DE SERVICIO
- I-R.M. EN SERVICIO
- J-INCIDENTE EN LINEA
- K-AVERIA DE GRUPO
- L-DETECCION DE INCENDIO
- M-FUNCIONAMIENTO R.M.

AMARILLO

ROJO

VERDE

ROJO R.M. EN SERVICIO

VERDE R.M. F. DE SERVICIO

FIGURA No. 3.8

III. U.R. (Lámpara roja "I"). Esta lámpara indica que el Interruptor Ultra Rápido se encuentra cerrado.

IV. R.M. (Lámpara roja "H"). Esta lámpara en color rojo, indica que el Relevador de Mantenimiento se encuentra en servicio. Este relevador mantiene las condiciones de operación del corte de urgencia (accionamiento de ruptor y condiciones de zona).

Protecciones que se señalizan en la Platina del Tablero del Puesto de Despacho de Carga (P.D.C.), para los Interruptores de Mediana Tensión (D.M.T.) en 23 K.V., vea la figura No. 3.9.

I. Incidente en Línea. Esta protección opera cuando -- existe un corto-circuito en las vías, el cual provoca la apertura de los interruptores ultra-rápidos de las Subestaciones de Rectificación que estén alimentando esa zona, a su vez manda la apertura del D.M.T.

II. Avería de Grupo. Esta protección opera cuando se -- presenta alguna avería en los equipos de las Subestaciones de Rectificación como:

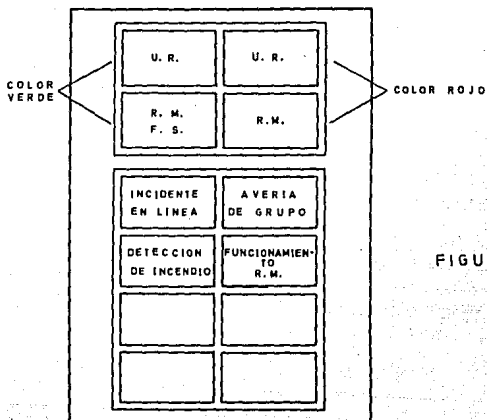
a).- Falla en el Transformador Principal.

b).- Falla en el Grupo Rectificador.

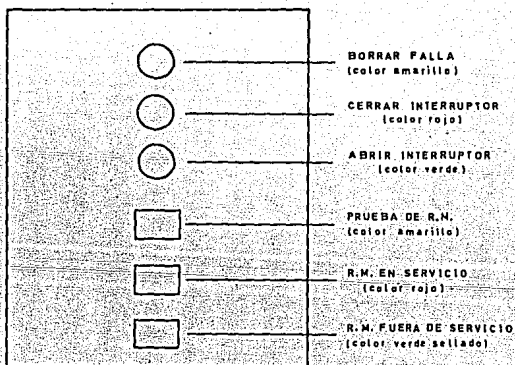
c).- Falla en el Ventilador.

III. Detección de Incendio. Esta señal indica cualquier falla interna en el Transformador Principal.

**ESQUEMA DE PLATINA  
ALIMENTACION TRACCION 23 KV**



**FIGURA No. 3.9**



Al detectarse cualquiera de las fallas anteriores, se -  
provoca la apertura del Interruptor D.M.T., y por consiguient-  
te, la apertura del Interruptor Ultra Rápido.

El Personal del Puesto de Despacho de Carga, al percatar  
se de la operación de alguna de las protecciones, deberá:

- I. Si se trata del funcionamiento del Relevador de Man  
tenimiento (R.M.) ó incidente en Línea, confirmará  
la apertura de los interruptores que alimenten a --  
los cables de 23 K.V. de las Subestaciones de Recti  
ficación de la zona afectada. Esperará indicaciones  
del personal del Puesto Central de Control, para re-  
energizar los interruptores afectados.
- II. Si se trata de una Avería de Grupo ó Detección de -  
Incendio, el personal del Puesto de Despacho de Car  
ga, confirmará la apertura del Interruptor de Media  
na Tensión afectado y notificará al personal respon-  
sable para su solución.

El Personal del Puesto de Despacho de Carga, cuenta para  
el control del Interruptor de Mediana Tensión (D.M.T.), con:

- I. Botón Circular Rojo: cerrar interruptor.
- II. Botón Circular Verde: abrir interruptor y/o confir-  
mar apertura y callar alarma.

- III. Botón Circular Amarillo: borrar falla después de haber sido intervenida y/o callar alarma.
- IV. Botón Cuadrado Amarillo: prueba de Relevador de Mantenimiento.
- V. Botón Cuadrado Rojo: de puesta en servicio del Relevador de Mantenimiento.
- VI. Botón Cuadrado Verde: de puesta en Fuera de Servicio del Relevador de Mantenimiento. (Sellado con Márchamo).

## C A P I T U L O 4

### TRANSFORMADOR AUXILIAR.

Es de todos conocido, que los grandes sistemas eléctricos actuales han contribuido enormemente a la productividad del - hombre, por tanto, es conveniente destacar el papel que representan los transformadores en un sistema, así como la forma - en que se estudian, al tratar de observar su comportamiento y efectos dentro del mismo sistema.

Un sistema de potencia consta de generadores, transformadores y cargas conectadas entre si por distintas líneas de -- transmisión. Según la magnitud de las potencias y las distancias a las que se van a transmitir por las líneas, existen diferentes voltajes que permiten resultados más económicos. En estas condiciones, se comprende que la aplicación de los transformadores con el fin de obtener distintos niveles de voltaje, es de vital importancia.

Debido a que el tema de este tratado no es el de la transformación de los niveles de voltaje, aunque el sistema involucra dos transformadores, no se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los mismos y sólo se toman en cuenta sus características generales de operación, tal es el caso del "Transformador Auxiliar".

En cuanto al "Transformador Principal", se analizará más a fondo, debido a que la transformación polifásica beneficia el proceso de Rectificación.

#### 4.1 FUNCIONES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR.

La función principal del Transformador Auxiliar, es alimentar los circuitos auxiliares del Grupo Rectificador y el motor del Ventilador.

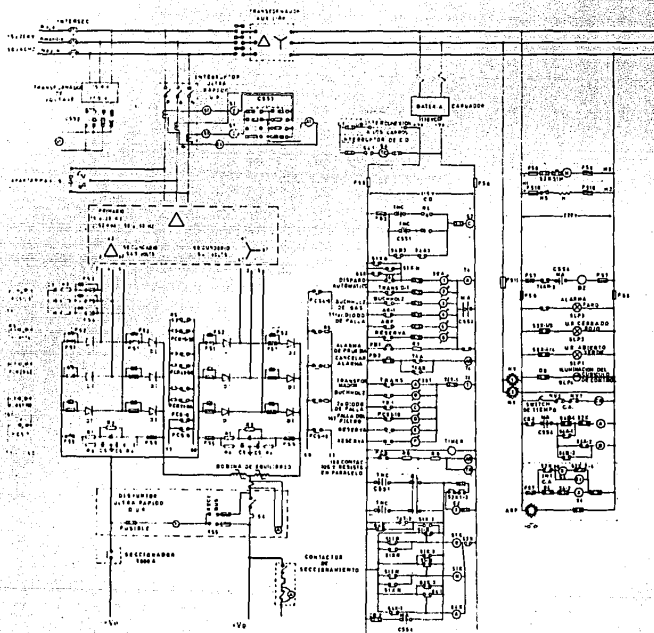
El ventilador que proporciona la aereación requerida por el Transformador Principal para su enfriamiento, al igual que el Grupo Rectificador para disipar el calor producido por el calentamiento de los diodos de alta potencia al manejar corrientes elevadas.

Los circuitos auxiliares del Grupo Rectificador, que mantienen en operación los dispositivos de Protección y Control de la Subestación de Rectificación y que establecen comunicación directa con el Puesto Central de Control (P.C.C.).

La figura No. 4.1, muestra el diagrama completo de operación de una Subestación de Rectificación, en la cual se observa como el transformador auxiliar, alimenta o carga una "Batería", la cual entrega un voltaje de 110 volts de corriente directa (c.d.).

Esta batería alimenta directamente, a todos los relevadores de protección relacionados con el Interruptor "D.H.T." -- (de las líneas 1, 2 y 3) ó "D.M.T." (de las líneas 4, 5, 6 y 7) y su señalización en el Tablero de Control (figura No. 3.8) y "Platina" (figura No. 3.9).





REF DEL  
DISEÑO

DESCRIPCION

- APROXIMADO DE C.A. 0-10 AMP.
- SELEADOR ALARMA/DESAPARADOR
- ALARMA DE RECIBIDO DE FALLA
- DE
- ALARMA SUBAMPO 10 MIL DE RESIMEN
- C1
- C2
- C3
- C4
- C5
- C6
- C7
- C8
- C9
- C10
- C11
- C12
- C13
- C14
- C15
- C16
- C17
- C18
- C19
- C20
- C21
- C22
- C23
- C24
- C25
- C26
- C27
- C28
- C29
- C30
- C31
- C32
- C33
- C34
- C35
- C36
- C37
- C38
- C39
- C40
- C41
- C42
- C43
- C44
- C45
- C46
- C47
- C48
- C49
- C50
- C51
- C52
- C53
- C54
- C55
- C56
- C57
- C58
- C59
- C60
- C61
- C62
- C63
- C64
- C65
- C66
- C67
- C68
- C69
- C70
- C71
- C72
- C73
- C74
- C75
- C76
- C77
- C78
- C79
- C80
- C81
- C82
- C83
- C84
- C85
- C86
- C87
- C88
- C89
- C90
- C91
- C92
- C93
- C94
- C95
- C96
- C97
- C98
- C99
- C100
- D1
- D2
- D3
- D4
- D5
- D6
- D7
- D8
- D9
- D10
- D11
- D12
- D13
- D14
- D15
- D16
- D17
- D18
- D19
- D20
- D21
- D22
- D23
- D24
- D25
- D26
- D27
- D28
- D29
- D30
- D31
- D32
- D33
- D34
- D35
- D36
- D37
- D38
- D39
- D40
- D41
- D42
- D43
- D44
- D45
- D46
- D47
- D48
- D49
- D50
- D51
- D52
- D53
- D54
- D55
- D56
- D57
- D58
- D59
- D60
- D61
- D62
- D63
- D64
- D65
- D66
- D67
- D68
- D69
- D70
- D71
- D72
- D73
- D74
- D75
- D76
- D77
- D78
- D79
- D80
- D81
- D82
- D83
- D84
- D85
- D86
- D87
- D88
- D89
- D90
- D91
- D92
- D93
- D94
- D95
- D96
- D97
- D98
- D99
- D100
- L1
- L2
- L3
- L4
- L5
- L6
- L7
- L8
- L9
- L10
- L11
- L12
- L13
- L14
- L15
- L16
- L17
- L18
- L19
- L20
- L21
- L22
- L23
- L24
- L25
- L26
- L27
- L28
- L29
- L30
- L31
- L32
- L33
- L34
- L35
- L36
- L37
- L38
- L39
- L40
- L41
- L42
- L43
- L44
- L45
- L46
- L47
- L48
- L49
- L50
- L51
- L52
- L53
- L54
- L55
- L56
- L57
- L58
- L59
- L60
- L61
- L62
- L63
- L64
- L65
- L66
- L67
- L68
- L69
- L70
- L71
- L72
- L73
- L74
- L75
- L76
- L77
- L78
- L79
- L80
- L81
- L82
- L83
- L84
- L85
- L86
- L87
- L88
- L89
- L90
- L91
- L92
- L93
- L94
- L95
- L96
- L97
- L98
- L99
- L100
- R1
- R2
- R3
- R4
- R5
- R6
- R7
- R8
- R9
- R10
- R11
- R12
- R13
- R14
- R15
- R16
- R17
- R18
- R19
- R20
- R21
- R22
- R23
- R24
- R25
- R26
- R27
- R28
- R29
- R30
- R31
- R32
- R33
- R34
- R35
- R36
- R37
- R38
- R39
- R40
- R41
- R42
- R43
- R44
- R45
- R46
- R47
- R48
- R49
- R50
- R51
- R52
- R53
- R54
- R55
- R56
- R57
- R58
- R59
- R60
- R61
- R62
- R63
- R64
- R65
- R66
- R67
- R68
- R69
- R70
- R71
- R72
- R73
- R74
- R75
- R76
- R77
- R78
- R79
- R80
- R81
- R82
- R83
- R84
- R85
- R86
- R87
- R88
- R89
- R90
- R91
- R92
- R93
- R94
- R95
- R96
- R97
- R98
- R99
- R100
- S1
- S2
- S3
- S4
- S5
- S6
- S7
- S8
- S9
- S10
- S11
- S12
- S13
- S14
- S15
- S16
- S17
- S18
- S19
- S20
- S21
- S22
- S23
- S24
- S25
- S26
- S27
- S28
- S29
- S30
- S31
- S32
- S33
- S34
- S35
- S36
- S37
- S38
- S39
- S40
- S41
- S42
- S43
- S44
- S45
- S46
- S47
- S48
- S49
- S50
- S51
- S52
- S53
- S54
- S55
- S56
- S57
- S58
- S59
- S60
- S61
- S62
- S63
- S64
- S65
- S66
- S67
- S68
- S69
- S70
- S71
- S72
- S73
- S74
- S75
- S76
- S77
- S78
- S79
- S80
- S81
- S82
- S83
- S84
- S85
- S86
- S87
- S88
- S89
- S90
- S91
- S92
- S93
- S94
- S95
- S96
- S97
- S98
- S99
- S100
- T1
- T2
- T3
- T4
- T5
- T6
- T7
- T8
- T9
- T10
- T11
- T12
- T13
- T14
- T15
- T16
- T17
- T18
- T19
- T20
- T21
- T22
- T23
- T24
- T25
- T26
- T27
- T28
- T29
- T30
- T31
- T32
- T33
- T34
- T35
- T36
- T37
- T38
- T39
- T40
- T41
- T42
- T43
- T44
- T45
- T46
- T47
- T48
- T49
- T50
- T51
- T52
- T53
- T54
- T55
- T56
- T57
- T58
- T59
- T60
- T61
- T62
- T63
- T64
- T65
- T66
- T67
- T68
- T69
- T70
- T71
- T72
- T73
- T74
- T75
- T76
- T77
- T78
- T79
- T80
- T81
- T82
- T83
- T84
- T85
- T86
- T87
- T88
- T89
- T90
- T91
- T92
- T93
- T94
- T95
- T96
- T97
- T98
- T99
- T100
- U1
- U2
- U3
- U4
- U5
- U6
- U7
- U8
- U9
- U10
- U11
- U12
- U13
- U14
- U15
- U16
- U17
- U18
- U19
- U20
- U21
- U22
- U23
- U24
- U25
- U26
- U27
- U28
- U29
- U30
- U31
- U32
- U33
- U34
- U35
- U36
- U37
- U38
- U39
- U40
- U41
- U42
- U43
- U44
- U45
- U46
- U47
- U48
- U49
- U50
- U51
- U52
- U53
- U54
- U55
- U56
- U57
- U58
- U59
- U60
- U61
- U62
- U63
- U64
- U65
- U66
- U67
- U68
- U69
- U70
- U71
- U72
- U73
- U74
- U75
- U76
- U77
- U78
- U79
- U80
- U81
- U82
- U83
- U84
- U85
- U86
- U87
- U88
- U89
- U90
- U91
- U92
- U93
- U94
- U95
- U96
- U97
- U98
- U99
- U100
- V1
- V2
- V3
- V4
- V5
- V6
- V7
- V8
- V9
- V10
- V11
- V12
- V13
- V14
- V15
- V16
- V17
- V18
- V19
- V20
- V21
- V22
- V23
- V24
- V25
- V26
- V27
- V28
- V29
- V30
- V31
- V32
- V33
- V34
- V35
- V36
- V37
- V38
- V39
- V40
- V41
- V42
- V43
- V44
- V45
- V46
- V47
- V48
- V49
- V50
- V51
- V52
- V53
- V54
- V55
- V56
- V57
- V58
- V59
- V60
- V61
- V62
- V63
- V64
- V65
- V66
- V67
- V68
- V69
- V70
- V71
- V72
- V73
- V74
- V75
- V76
- V77
- V78
- V79
- V80
- V81
- V82
- V83
- V84
- V85
- V86
- V87
- V88
- V89
- V90
- V91
- V92
- V93
- V94
- V95
- V96
- V97
- V98
- V99
- V100
- W1
- W2
- W3
- W4
- W5
- W6
- W7
- W8
- W9
- W10
- W11
- W12
- W13
- W14
- W15
- W16
- W17
- W18
- W19
- W20
- W21
- W22
- W23
- W24
- W25
- W26
- W27
- W28
- W29
- W30
- W31
- W32
- W33
- W34
- W35
- W36
- W37
- W38
- W39
- W40
- W41
- W42
- W43
- W44
- W45
- W46
- W47
- W48
- W49
- W50
- W51
- W52
- W53
- W54
- W55
- W56
- W57
- W58
- W59
- W60
- W61
- W62
- W63
- W64
- W65
- W66
- W67
- W68
- W69
- W70
- W71
- W72
- W73
- W74
- W75
- W76
- W77
- W78
- W79
- W80
- W81
- W82
- W83
- W84
- W85
- W86
- W87
- W88
- W89
- W90
- W91
- W92
- W93
- W94
- W95
- W96
- W97
- W98
- W99
- W100
- X1
- X2
- X3
- X4
- X5
- X6
- X7
- X8
- X9
- X10
- X11
- X12
- X13
- X14
- X15
- X16
- X17
- X18
- X19
- X20
- X21
- X22
- X23
- X24
- X25
- X26
- X27
- X28
- X29
- X30
- X31
- X32
- X33
- X34
- X35
- X36
- X37
- X38
- X39
- X40
- X41
- X42
- X43
- X44
- X45
- X46
- X47
- X48
- X49
- X50
- X51
- X52
- X53
- X54
- X55
- X56
- X57
- X58
- X59
- X60
- X61
- X62
- X63
- X64
- X65
- X66
- X67
- X68
- X69
- X70
- X71
- X72
- X73
- X74
- X75
- X76
- X77
- X78
- X79
- X80
- X81
- X82
- X83
- X84
- X85
- X86
- X87
- X88
- X89
- X90
- X91
- X92
- X93
- X94
- X95
- X96
- X97
- X98
- X99
- X100
- Y1
- Y2
- Y3
- Y4
- Y5
- Y6
- Y7
- Y8
- Y9
- Y10
- Y11
- Y12
- Y13
- Y14
- Y15
- Y16
- Y17
- Y18
- Y19
- Y20
- Y21
- Y22
- Y23
- Y24
- Y25
- Y26
- Y27
- Y28
- Y29
- Y30
- Y31
- Y32
- Y33
- Y34
- Y35
- Y36
- Y37
- Y38
- Y39
- Y40
- Y41
- Y42
- Y43
- Y44
- Y45
- Y46
- Y47
- Y48
- Y49
- Y50
- Y51
- Y52
- Y53
- Y54
- Y55
- Y56
- Y57
- Y58
- Y59
- Y60
- Y61
- Y62
- Y63
- Y64
- Y65
- Y66
- Y67
- Y68
- Y69
- Y70
- Y71
- Y72
- Y73
- Y74
- Y75
- Y76
- Y77
- Y78
- Y79
- Y80
- Y81
- Y82
- Y83
- Y84
- Y85
- Y86
- Y87
- Y88
- Y89
- Y90
- Y91
- Y92
- Y93
- Y94
- Y95
- Y96
- Y97
- Y98
- Y99
- Y100
- Z1
- Z2
- Z3
- Z4
- Z5
- Z6
- Z7
- Z8
- Z9
- Z10
- Z11
- Z12
- Z13
- Z14
- Z15
- Z16
- Z17
- Z18
- Z19
- Z20
- Z21
- Z22
- Z23
- Z24
- Z25
- Z26
- Z27
- Z28
- Z29
- Z30
- Z31
- Z32
- Z33
- Z34
- Z35
- Z36
- Z37
- Z38
- Z39
- Z40
- Z41
- Z42
- Z43
- Z44
- Z45
- Z46
- Z47
- Z48
- Z49
- Z50
- Z51
- Z52
- Z53
- Z54
- Z55
- Z56
- Z57
- Z58
- Z59
- Z60
- Z61
- Z62
- Z63
- Z64
- Z65
- Z66
- Z67
- Z68
- Z69
- Z70
- Z71
- Z72
- Z73
- Z74
- Z75
- Z76
- Z77
- Z78
- Z79
- Z80
- Z81
- Z82
- Z83
- Z84
- Z85
- Z86
- Z87
- Z88
- Z89
- Z90
- Z91
- Z92
- Z93
- Z94
- Z95
- Z96
- Z97
- Z98
- Z99
- Z100

RES. Cuantitad	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FIGURA No. 41
ESCALA:	SUBSTACION	FEBRERO 1988
ACOT:	DE	DARDURO ORZOCO
S.T.C. METRO	RECTIFICACION	ALBERTO
		ING. RAMIREZ

Siguiendo con el diagrama de la figura No. 4.1, a la derecha de la batería, se observa la alimentación en 220 Volts de corriente alterna, al motor que cierra en forma manual el interruptor Ultra Rápido (U.R.) y a sus dispositivos de protección, más abajo alimenta al zumbador de la alarma y a las lámparas indicadoras de "abierto" y "cerrado" del interruptor U.R., después alimenta a los relevadores estáticos de presencia de voltaje de c.a. de 220 V., y en seguida viene la protección contra cambio de frecuencia o fase (Hunting) y por último la alimentación a los relevadores y contactores del Contactador de Seccionamiento (C.S.) de c.d., coordinados con el interruptor U.R. y el Disyuntor Ultra Rápido (D.U.R.), y de los cuales también existe una señalización en el Tablero de Control Optico y en la Platina.

En los siguientes apartados, sólo se describe el modo de operación de las protecciones del Transformador Principal y los Rectificadores (Diodos), por considerarse para este estudio los más importantes, y además se hará sin mucho detalle, por no ser este tratado sobre esquemas de protección.

## 4.2 FUNCIONES DE RELEVO PARA PROTECCION DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

Como en el capítulo 3, apartados 3.1 y 3.2 solamente se describe el control y la protección de la Subestación de Rectificación, en este apartado definiremos el procedimiento de operación de los distintos dispositivos de Relevos, que intervienen en el buen funcionamiento de los equipos que conforman la Subestación y en particular del Transformador Principal.

Comenzaremos por el Interruptor Ultra Rápido (U.R.), el cual provee de protección diferencial la alimentación a la Subestación de Rectificación y en forma especial al Transformador Principal, por ser el primer elemento dentro del proceso de rectificación, su posición "ABIERTA" y "CERRADA", están representadas en la figura No. 4.1 (parte derecha), por dos lámparas "VERDE" SLP1 y "ROJA" SLP2 respectivamente.

Este interruptor protege contra Sobrecarga, Corto Circuito entre Fases (Relevador 51 y auxiliares 51I, 51X) y Falla a Tierra (Relevador 64 y auxiliar 64X), como se puede observar en la parte superior de la misma figura, además está coordinado para funcionar cuando se presente una Avería de Grupo, esto es, una falla en el Transformador Principal, en el Rectificador o en el Ventilador e interrumpir el suministro de energía.

Sus interruptores (relevadores y contactores), se ilustran en la parte inferior, junto al seccionador de c.d., y sus respectivas alarmas están más arriba.

Como ya sabemos, la protección diferencial, funciona como el principio de inducción, por medio de un equilibrio de la fuerza magnetomotriz (f.m.m.) y de la corriente en las bobinas principales, se puede decir que opera cuando la diferencia de dos ó más magnitudes eléctricas similares exceden una cantidad predeterminada.

A la salida en delta del secundario del transformador -- principal, se observa que existen dos fusibles (FS3 y FS4), - que junto con el resistor R3 y el capacitor C3, detectan la - falta de alimentación o una posible falla en el transformador, accionando el contacto de falla de c.a. (FCS1), el cual acciona las alarmas respectivas de señalización en la Platina del Tablero de Control Optico (T.C.O.) del Puesto Central de Control (P.C.C.), para que en él se realicen las operaciones de corrección pertinentes. Esto mismo se repite para la salida en estrella del transformador, aunque no se encuentre dibujado en la figura No. 4.1.

El transformador principal, esta protegido además, contra calentamiento por medio de un relevador de Gas "Buchholz", el cual detecta fallas en el "Núcleo del Transformador" y en las "Bobinas", y que esta coordinado con el interruptor U.R.

#### 4.3 FUNCIONES DE RELEVO PARA PROTECCION DEL RECTIFICADOR.

La protección de los Diodos Rectificadores de Alta Potencia, esta basada en "fusibles", existe un fusible principal - en cada uno de los 168 diodos que componen el arreglo del Grupo Rectificador denominados FS1 y conectados en serie con los diodos como se ilustra en la figura No. 4.1, recuerdese de la sección 2.1.4 (figura No. 2.2), que cada uno de los diodos de la figura No. 4.1, representa realmente a 14 diodos. Estos -- grupos tienen un fusible indicador de su funcionamiento FS2, el cual al ocurrir cualquier falla o desperfecto en alguno de los diodos, acciona el relevador correspondiente (FCR), el -- cual al estar por sección, acciona el relevador de alarma AR, indicando la parte a la que pertenece y mostrando la sección donde ocurrió la ruptura de diodo, posteriormente el relevador de disparo opera para sacar de funcionamiento la subestación de rectificación.

Del apartado anterior, sabemos que al ocurrir una Avería de Grupo (en este caso en el rectificador), se acciona el interruptor Ultra Rápido, saliendo de operación la subestación, pero no se crea que esto causa problemas al sistema, -- pues debido a las características que presenta cada una de -- las subestaciones, de poder soportar la carga de una subestación aledaña, por un período relativamente largo de tiempo -- (suficiente para el mantenimiento de un fusible o un diodo), esto no representa inconveniente alguno, además de realizarse casi todo en forma automática.

El tipo de fusible utilizado es el denominado de "alta tensión" (protección arriba de los 600 V.), son fusibles de material sólido, los cuales utilizan órganos de contacto de resorte, unidos al elemento fusible, los que aumentan el entrehierro entre los contactor cuando el fusible se funde, con lo que se extingue el arco, se utilizan junto a los interruptores de baja capacidad de ruptura, para aprovechar la ventaja de la alta capacidad de ruptura que poseen estos dispositivos.

Protegen contra cortocircuitos con corrientes de 25 veces el valor nominal, los elementos fusibles se funden en el espacio de un ciclo a 60 Hz, e interrumpen el circuito en el siguiente ciclo en 1/30 de segundo.

**C A P I T U L O 5**

**TRANSFORMADOR PRINCIPAL**

Existe cierto tipo de transformadores denominados comunemente como "Rectificadores", los cuales se utilizan única y exclusivamente para ayudar eficientemente en el proceso de --rectificación, éstos "Transformadores Rectificadores" proporcionan la potencia requerida a los dispositivos rectificadores, para que, a partir de una entrada de voltaje de corriente alterna (c.a.), se obtenga a la salida del rectificador un voltaje de corriente directa (c.d.) y su posterior utilización por algún proceso.

Son construidos en capacidades nominales arriba de los -1,500 KVA., el voltaje del secundario es generalmente bajo, -variando desde valores mínimos de 50 Volts, para algunos procesos electrolíticos, hasta valores tan altos como 1000 Volts para otras aplicaciones.

La corriente en el secundario, es por lo general alta y puede llegar a varios miles de amperes. Las altas corrientes son obtenidas por conexión en paralelo de muchas secciones de arrollamientos. La corriente es recolectada por un bus de barras interno y conducido a través de la tapa superior del ---transformador por boquillas guía de alta corriente.

Los Transformadores Rectificadores tienen conexiones cambiantes de fase (TAPS) que pueden ser usadas para producir -12, 24 ó más fases, para reducir las armónicas de la corriente en la entrada de c.a.



Cuando dos arrollamientos secundarios son usados (como ~ en el caso de los circuitos dobles que se estudian más adelante), la misma impedancia debe ser suministrada entre el primario y cada uno de los arrollemientos secundarios, para obtener ángulos de conmutación iguales y voltaje de c.d. en los dos circuitos secundarios.

Los transformadores rectificadores, alimentaban anteriormente a los rectificadores mecánicos o rectificadores de arco de mercurio, y actualmente ya se utilizan para alimentar a -- los rectificadores de estado sólido.

## 5.1 TRANSFORMACION TRIFASICA A HEXAFASICA.

Debido a su rendimiento relativamente elevado, los transformadores sirven como excelentes dispositivos de transformación polifásicos proporcionando sistemas polifásicos más elevados (generalmente) a partir de fuentes de alimentación trifásicas. Tales sistemas más elevados son particularmente útiles en la rectificación de "media onda y de onda completa", - debido a sus componentes de rizado relativamente bajas. Así, cuando se precisen grandes potencias de c.d., suelen convertirse los sistemas trifásicos a sistemas de 6, 12 o incluso - 24 fases usando transformadores y rectificadores a semiconductores adecuados de media onda u onda completa.

El tipo de transformador necesario para producir "Una -- Verdadera" transformación trifásica a hexafásica es el de dos secundarios de tensiones iguales. Como muestra la figura No. 5.1, se necesitan tres de tales transformadores monofásicos - individuales (aunque puede usarse un único transformador polifásico con 6 secundarios independientes). (Para una verdadera conversión dodecafásica, se necesitan transformadores que tengan 4 secundarios independientes; para 24 fases, 8 secundarios independientes, etc.).

Una verdadera transformación es la que produce un sistema polifásico (deseado) en los secundarios sin necesidad de - interconexión de los terminales del secundario con la carga.

TRANSFORMADOR TIPICO  
(UNO DE LOS 3 USADOS)

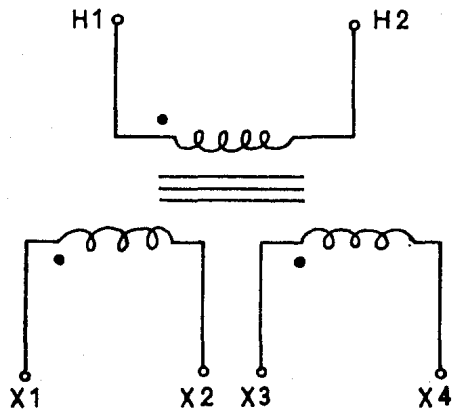


FIGURA No. 5.1

Sólo las conexiones en "estrella" y "malla" (triángulo ó delta), producen "verdaderos" sistemas polifásicos.

Los tres transformadores están conectados en delta ( $\Delta$ ) aunque podría usarse la estrella, a una alimentación trifásica, habiendo tenido en cuenta su polaridad instantánea, como se puede observar en la figura No. 5.2. Para las aplicaciones que se estudiarán, y para la última en particular que es la utilizada por la Subestación de Rectificación, se desea un sistema hexafásico de baja tensión, y por tanto, la alta tensión corresponde al primario y la baja tensión al secundario.

Observe que la polaridad instantánea en el secundario y el sentido del vector de la tensión inducida en cada uno de los secundarios puede verse en las figuras No. 5.3 y No. 5.4 respectivamente. Estas tensiones, como era de esperar, están a  $120^\circ$  ya que fueron producidas por una alimentación trifásica. Así, los terminales (con punto) mostrados en la figura No. 5.3 tienen el sentido del vector instantáneo indicado en el diagrama vectorial de la figura No. 5.4.

CONEXIONES DEL PRIMARIO

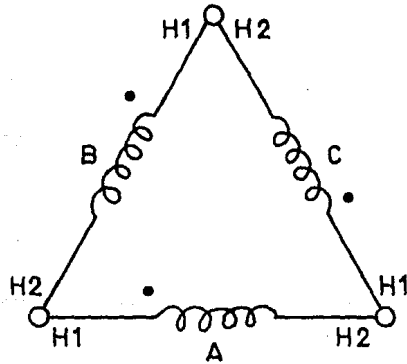


FIGURA No. 5.2

POLARIDADES DEL SECUNDARIO

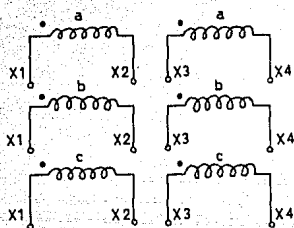


FIGURA No. 5.3

SENTIDOS VECTORIALES DE LA TENSION INDUCIDA

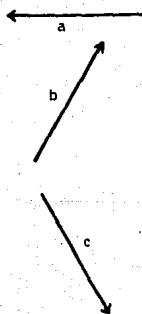


FIGURA No. 5.4

## 5.2 TEORIA DE LAS TRANSFORMACIONES HEXAFASICAS.

Aunque la teoría de las transformaciones de orden superior cae fuera del alcance de este tratado, este apartado sólo proporcionará una introducción a la teoría de la transformación polifásica, cubriendo las 6 transformaciones básicas de un sistema trifásico a uno hexafásico.

Se usará la misma conexión en el primario del transformador (la ilustrada en la figura No. 5.2), para todas y cada una de las 6 transformaciones hexafásicas consideradas, y en las figuras 5.6 a 5.11 sólo se mostrarán las conexiones del secundario, puesto que cada una de ellas es diferente.

En la figura No. 5.5, puede verse una carga hexafásica, conectada en malla. Esta carga con sus terminales 1 a 6, se usará como carga para todos los tipos de transformación hexafásica que se verán a continuación.

CARGA HEXAFASICA CONECTADA EN MALLA

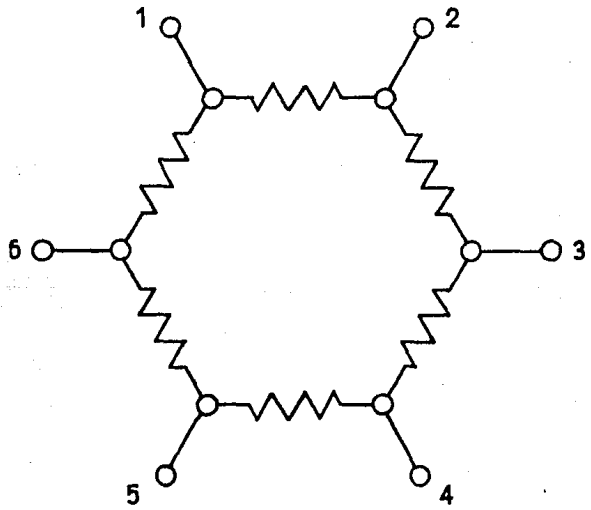


FIGURA No. 5.5



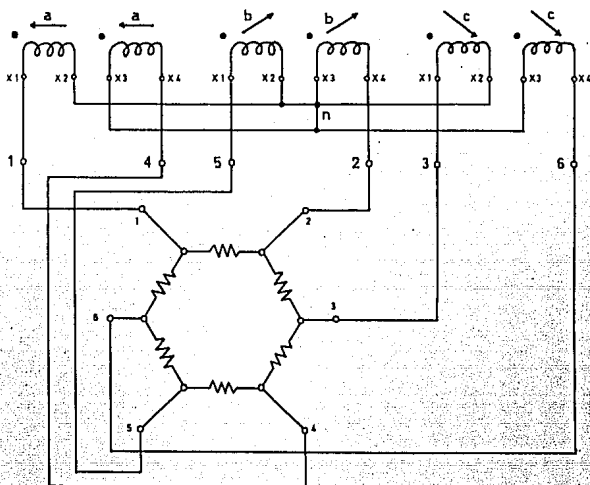
### 5.2.1 TRANSFORMACION ESTRELLA HEXAFASICA.

La primera transformación considerada es la estrella hexafásica. En la conexión genérica en estrella, un extremo de todas las bobinas está conectado a un arrollamiento común (así la  $\Upsilon$  es un caso "especial de la estrella"). Los terminales X2 de todas las bobinas secundarias se conectan entre sí y lo mismo se hace con los terminales X3 de todas las bobinas secundarias; entonces se conectan "ambos" a una unión "común", "n", como se muestra en la figura No. 5.6a. Los 6 terminales libres se llevan a los terminales 1 a 6 de la carga hexafásica, como muestra la figura No. 5.6a.

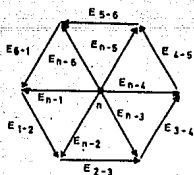
Incluso si los terminales libres no están conectados a la carga hexafásica, produce un "verdadero" sistema hexafásico por las siguientes razones:

1. La tensión  $E_{n1}$  entre el neutro y el terminal de la línea 1, tiene el sentido correspondiente al de la polaridad de "X2-X1" de la bobina "a", indicada en las figuras 5.6a y b.
2. La tensión  $E_{n2}$  entre el neutro y el terminal de la línea 2 tiene sentido opuesto que el correspondiente al de la polaridad de "X4-X3" de la bobina "b", indicada en las figuras 5.6a y b.

CONEXION DEL SECUNDARIO EN ESTRELLA HEXAFASICA  
Y DIAGRAMA VECTORIAL



a) CONEXION DEL SECUNDARIO PARA ESTRELLA HEXAFASICA Y CONEXIONES A UNA CARGA HEXAFASICA.



b) DIAGRAMA VECTORIAL DE LA ESTRELLA HEXAFASICA.

FIGURA No. 5.6

3. Por tanto, las tensiones  $E_{n1}$  a  $E_{n6}$  pueden dibujarse sobre el diagrama vectorial, como muestra la figura No. 5.6b.
4. Las tensiones de línea  $E_{61}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{23}$ , etc. se encuentran usando la notación de doble subíndice. - Así,  $E_{61} = E_{6n} + E_{n1}$ . Esto es lo mismo que dibujar una línea desde  $E_{n6}$  a  $E_{n1}$  en el diagrama vectorial de la figura No. 5.6b.
5. Obsérvese que para la conexión hexafásica en estrella, el valor de las tensiones de línea ( $E_{12}$ ,  $E_{23}$ , etc.) es el mismo que el de las tensiones de fase (medidas desde el neutro a una cualquiera de las líneas y que es igual a la tensión en bornes de cualquier bobina).
6. Así, incluso en ausencia de carga, existe la relación mostrada en el diagrama vectorial de la figura No. 5.6b, y por tanto la estrella hexafásica - constituye un verdadero sistema hexafásico.

Quando los terminales 1 a 6 de la alimentación hexafásica se conectan a los terminales 1 a 6 de la carga hexafásica, se aplica la misma tensión de línea en cada una de las cargas hexafásicas individuales conectadas en malla, como muestra la figura No. 5.6a, suponiendo que no existen caídas internas de impedancia debidas a la carga en los devanados del secundario del transformador.

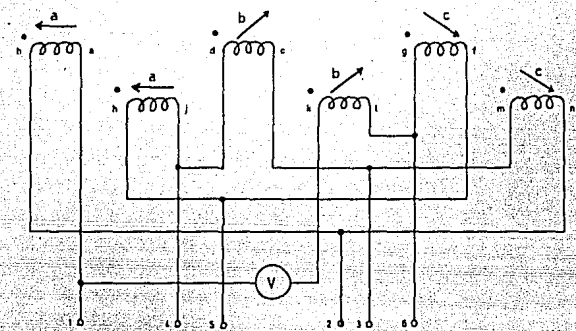
## 5.2.2 TRANSFORMACION MALLA HEXAFASICA.

Las conexiones secundarias para la malla hexafásica pueden verse en la figura No. 5.7a. Obsérvese que antes de cerrar la malla, como en cualquier caso de un secundario en triángulo, es necesario un voltímetro para asegurarse de que la suma vectorial de todas las tensiones de malla conectadas en serie es cero. En la figura No. 5.7b, se da una table de conexiones para simplificar éstas y también para comprobar el diagrama vectorial de la figura No. 5.7c. A los extremos de las bobinas se les han asignado letras para facilitar la referencia de las conexiones de los extremos.

El diagrama vectorial de la figura No. 5.7c se obtiene como sigue:

1. Empezar con la bobina "a-b" que sirve de referencia. Con "b" conectado a "n" (véase tabla 5.7b) la tensión n-m debe tener el sentido opuesto mostrado -- (puesto que la punta de la flecha corresponde al punto).
2. Con el terminal "m" conectado a "c", la tensión en la bobina "c-d" tiene el sentido indicado (la punta de la flecha corresponde al punto).
3. La tensión en la bobina "h-j" es la indicada, pero se desea la tensión "j-h", ya que "d" está conectada a "j". Por tanto el vector se invierte como puede verse en la figura No. 5.7c.

CONEXIONES DEL SECUNDARIO EN MALLA HEXAFASICA



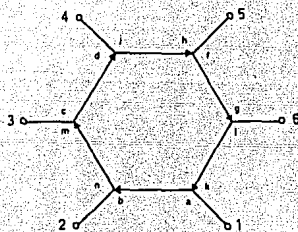
CONEXIONES A LOS BORNES DE UNA CARGA EN MALLA HEXAFASICA

a) CONEXIONES DEL SECUNDARIO PARA MALLA HEXAFASICA

TABLA DE CONEXION

b	a	n
m	a	c
d	a	j
h	a	f
g	a	l
k	a	ⓧ
ⓧ	a	a

b) TABLA DE CONEXION



c) DIAGRAMA VECTORIAL Y CONEXIONES A LOS BORNES DE LA CARGA.

FIGURA No. 5.7

4. Con "h" conectado a "f", el vector "f-g" tiene el -- sentido indicado.
5. Con "g" conectado a "l", el vector "k-l", tiene el -- sentido indicado. Pero queremos el vector "l-k", lo cual significa una inversión de fase. Esto nos vuelve a llevar a "a-b", que es la bobina de referencia.

Obsérvese que el diagrama vectorial de malla mostrado en la figura No. 5.7c, produce un verdadero sistema hexafásico de tensiones entre los terminales de línea 1 a 6, respectivamente, independientemente de su conexión a una carga hexafásica, y que las tensiones de fase y de línea de las mallas son iguales.

Por definición, esta relación es válida para cualquier sistema de malla (el triángulo trifásico, la malla hexafásica o dodecafásica, etc.), puesto que la tensión de fase de una malla es la misma que su tensión de línea.

Ocasionalmente, cuando se conecta la malla hexafásica (figura No. 5.7a), aparece una tensión armónica en el voltímetro si el primario del transformador esta conectado en estrella ( $\Upsilon$ ) y el neutro no esta puesto a tierra debido a la siguiente razón:

Todos los transformadores monofásicos cuando se excitan a tensión nominal producen un tercer armónico. Esto ocurre debido a que la curva de saturación de los núcleos de los --

transformadores reales aumenta de manera pronunciada y se sa tura rápidamente, haciendo que la corriente magnetizante se distorsione. Así, una tensión puramente sinusoidal a una fra frecuencia fundamental produce una corriente magnetizante que contiene la frecuencia fundamental más una fuerte componente de tercer armónico. En los transformadores monofásicos la co rriente magnetizante es pequeña comparada con la corriente de carga y la onda de corriente resultante está sólo ligeramente distorsionada.

En los transformadores trifásicos, sin embargo, las 3 corrientes magnetizantes están desplazadas  $120^\circ$  entre sí, -- pero las corrientes del tercer armónico están en "fase", así como los armónicos  $6^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $12^\circ$ , etc. El resultado es que en ausencia "de un circuito cerrado" (tal como un sistema en es trella o una malla abierta), esta triple componente del tercer armónico produce una onda de tensión secundaria en cada arrollamiento que contiene una elevada tensión de tercer armónico. Si se proporciona un circuito cerrado, tal como en una conexión en malla o en triángulo, por la que puedan circular los terceros armónicos, éstos se suprimen y no se produce distorsión de la tensión en el secundario.

Es por la anterior razón que el primario del transforma dor principal, es conectado en "delta".

En el caso de la estrella, basta con poner a tierra el neutro del primario y así proporcionar un camino a los terce ros armónicos y eliminarlos del secundario.

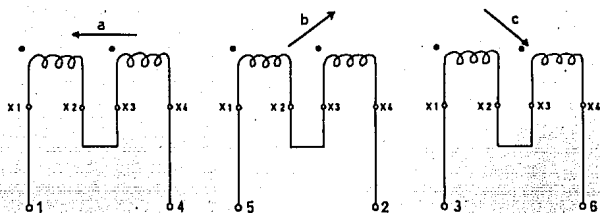
### 5.2.3 TRANSFORMACION DIAMETRAL HEXAFASICA.

El lector observador puede descubrir, examinando las figuras 5.6a y 5.7a, que las conexiones de la estrella y de la malla hexafásicas, respectivamente, se han llevado a la carga según un modelo particular (1-4-5-2-3-6). Los extremos opuestos del primer transformador conectado en estrella se han llevado a los terminales 1 y 4 de la carga. Los extremos opuestos del segundo transformador conectado en estrella se han llevado a los terminales 5 y 2 de la carga. Los extremos opuestos del tercer transformador conectado en estrella se han llevado a los terminales 3 y 6 de la carga. Esto sugiere la posibilidad de una transformación trifásica o hexafásica sin utilizar transformadores especiales ni transformadores con tomas centrales.

Esta posibilidad se realiza usando la conexión "Diametral" mostrada en la figura No. 5.8a. Si los terminales de polaridad opuesta (diametralmente) del secundario de cada transformador se conecta a los terminales de la carga en la secuencia 1-4-5-2-3-6, aparece una tensión de línea hexafásica en los terminales de la carga, como se ve en la figura No. 5.8b. Obsérvese que en ausencia de carga conectada, las tensiones inducidas en los secundarios de los transformadores "a, b y c" están desplazadas  $120^\circ$ , como muestran las figuras 5.8a y b. La conexión de los terminales diametralmente opuestos a los terminales de la carga en secuencia adecuada, como puede verse en el diagrama vectorial de la figura No. 5.8b, crea automáticamente 6 tensiones de línea que están desplaza

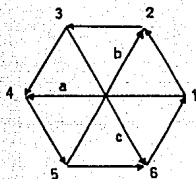


CONEXIONES DEL SECUNDARIO EN DIAMETRAL HEXAFASICA



CONEXIONES A LOS BORNES DE UNA CARGA EN MALLA HEXAFASICA

a) CONEXIONES DEL SECUNDARIO PARA DIAMETRAL HEXAFASICA.



b) DIAGRAMA VECTORIAL CUANDO SE INTERCONECTA CON UNA CARGA HEXAFASICA.

FIGURA No. 5.8

das adecuadamente para formar un sistema hexafásico:  $E_{12}$ , --  
 $E_{23}$ ,  $E_{34}$ , etc.

Como puede verse en la figura No. 5.8b, la relación entre la tensión inducida en cada arrollamiento secundario -- (completo),  $E_{14}$ , y una tensión de línea hexafásica cualquiera,  $E_{12} = E_{6\phi}$  es:

$$E_{12} = \frac{E_{14}}{2}$$

y por tanto;

$$E_{6\phi} = \frac{E_{3\phi}}{2} = E_F$$

donde  $E_{3\phi}$  es la tensión inducida secundaria total en cada transformador, y  $E_F$  es la tensión de "fase" inducida en cada bobina (X1-X2 ó X3-X4) de un transformador de dos devanados (si se usara).

La conexión diametral es quizás la más simple de todas las conexiones trifásicas o hexafásicas debido a que no se requiere interconexión entre los secundarios ni transformadores especiales (pueden usarse tres transformadores idénticos).

Sin embargo, "no" se produce un verdadero sistema hexafásico, y si uno de los conductores que alimentan la carga hexafásica se corta, o si se corta la malla de la carga hexafásica, la figura No. 5.8b vuelve a convertirse en un simple sistema trifásico.

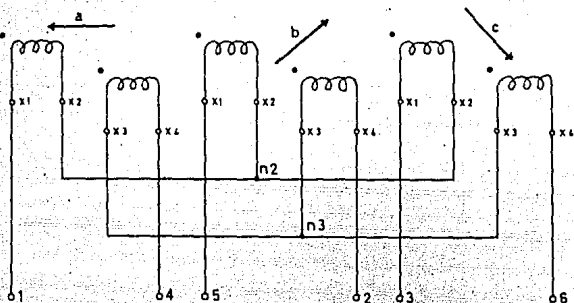
#### 5.2.4 TRANSFORMACION DOBLE "ESTRELLA" HEXAFASICA.

Otros tres sistemas, que tampoco son "verdaderos" sistemas hexafásicos, pueden verse en las figuras 5.9, 5.10 y 5.11. Estos sistemas (la doble "estrella", la doble "delta" y la "estrella-delta") requieren la interconexión a la carga para producir la tensión de línea hexafásica. Debido a que son algo más complicados en las conexiones necesarias del transformador, se usan raramente en comparación con el diametral, a no ser que se quiera una variación de la tensión de línea del secundario (como en el caso del doble triángulo).

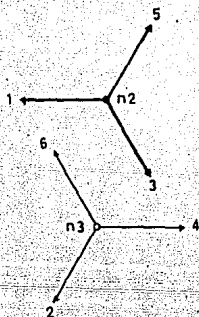
La "conexión doble estrella" puede verse en la figura No. 5.9a. Un examen atento revela que es casi igual que la estrella hexafásica (figura No. 5.6a), con una pequeña diferencia, los dos terminales neutros de las estrellas ( $n_2$  y  $n_3$ ) no están unidos a una unión común. Por tanto, como muestra el diagrama vectorial de la figura No. 5.9b, se producen dos sistemas independientes trifásicos en "Y" (estrella) en los terminales 1, 3 y 5 y en los 2, 4 y 6.

Al conectar la carga en la malla hexafásica se superponen los vectores (trifásicos) de la figura No. 5.9b, produciendo tensiones de línea desfasadas  $60^\circ$ , como en cualquier sistema hexafásico, tal como se indica en la figura No. 5.9c. Como en el caso de la estrella hexafásica, el valor de las tensiones de línea hexafásicas es igual que el de la tensión de fase (medido desde el neutro a cualquier línea), que es la misma que la tensión en bornes de cualquier bobina secundaria (X1-X2 ó X3-X4).

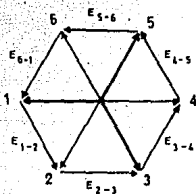
CONEXIONES DEL SECUNDARIO Y DIAGRAMAS VECTORIALES  
PARA LA DOBLE ESTRELLA HEXAFASICA ( $6\phi$ ).



a) CONEXIONES DEL SECUNDARIO PARA DOBLE ESTRELLA HEXAFASICA  
(CON LOS NEUTROS SIN CONECTAR).



b) DIAGRAMA VECTORIAL PARA  
LA DOBLE ESTRELLA



c) DIAGRAMA VECTORIAL PARA DOBLE  
ESTRELLA CUANDO SE INTERCONECTA  
A UNA CARGA EN MALLA HEXAFASICA.

## 5.2.5 TRANSFORMACION DOBLE "DELTA" HEXAFASICA.

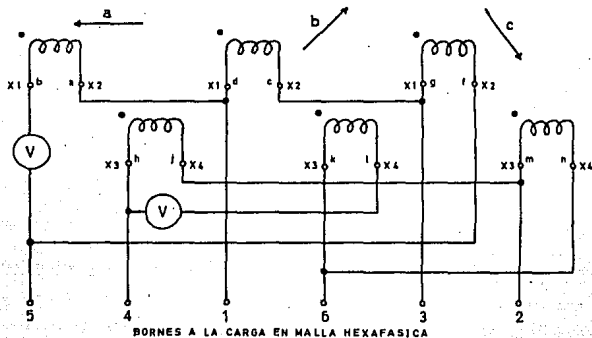
La doble delta es la malla análoga a la doble estrella. Se tienen dos conexiones independientes en triángulo trifásico con polaridad instantánea opuesta, como muestra la figura No. 5.10a. El primer grupo usa las bobinas X1-X2, mientras que el segundo usa las bobinas Y3-Y4. Como en el caso de cualquier sistema de malla, se precisan voltímetros antes de cerrar el triángulo, como se ve en la figura No. 5.10a y en la tabla de conexiones de la figura No. 5.10b. En la figura No. 5.10c pueden verse las relaciones de los vectores individuales en el triángulo trifásico para cada triángulo separado así producido por las conexiones del secundario, así como sus conexiones a los terminales de línea de la carga hexafásica.

Al conectar la carga en la malla hexafásica se superponen los vectores (trifásicos) de la figura No. 5.10c, sobre la carga hexafásica y sobre cada una de las otras, como muestra la figura No. 5.10d, produciendo tensiones de línea desplazadas  $60^\circ$ , como en cualquier sistema hexafásico. La doble delta difiere de todos los demás sistemas vistos anteriormente en un aspecto importante: produce una tensión de línea  $E_L$ , que es menor que la tensión de fase  $E_F$ , como muestra la figura No. 5.10d, la tensión de línea hexafásica,  $E_{L2}$ , es menor que la tensión en cada bobina trifásica  $E_{cd} = E_{13} = E_F$ , que es la tensión de fase. La relación entre ellas es:

$$E_L = \frac{E_F}{\sqrt{3}} = 0.577 E_F$$

en donde todos los términos se han definido anteriormente.

CONEXIONES Y DIAGRAMAS VECTORIALES PARA EL SECUNDARIO DE LA DOBLE DELTA HEXAFASICA (6φ).

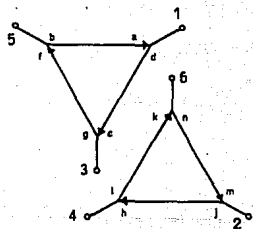


a) CONEXIONES DEL SECUNDARIO PARA DOBLE DELTA HEXAFASICA.

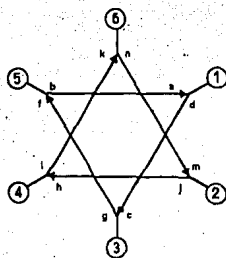
TABLA DE CONEXIONES

a	a	d
c	a	g
f	a	(V)
(V)	a	b
j	a	m
n	a	k
(V)	a	(V)
l	a	h

b) TABLA DE CONEXION.



c) DIAGRAMAS VECTORIALES PARA DOBLE DELTA.



d) DIAGRAMAS VECTORIALES PARA DOBLE DELTA INTERCONECTADA CON UNA CARGA HEXAFASICA.

### 5.2.6 TRANSFORMACION "ESTRELLA-DELTA" HEXAFASICA.

La conexión estrella-delta, es la combinación de las -- dos transformaciones anteriores. Se tienen, como en esos ca sos, 2 conexiones independientes, una en estrella trifásica y la otra en delta ó triángulo trifásico, con polaridades -- instantáneas opuestas, como se ilustra en la figura No. 5.11a.

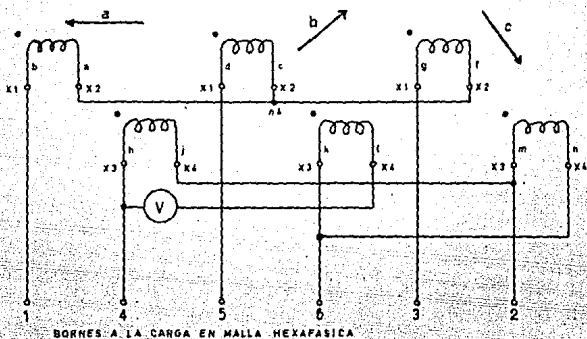
La conexión en estrella, utiliza las bobinas X1-X2, en tanto, que la conexión en delta, usa las bobinas X3-X4, y al igual que en las conexiones anteriores en delta, se coloca -- un voltímetro antes de cerrar la malla. En la figura No. -- 5.11b, pueden apreciarse los diagramas vectoriales individua les tanto de la estrella, como del triángulo, así como sus -- respectivas terminales de conexión a la carga hexafásica que se ha utilizado en todas las transformaciones (figura No. -- 5.5).

Como se menciona en el apartado 5.2.4 de este estudio, ésta conexión no proporciona un "verdadero" sistema hexafási co, pero presenta las ventajas de las dos transformaciones -- anteriormente estudiadas.

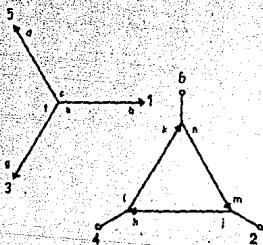
La estrella (terminales 1-3-5), proporciona un neutro, que conectado a tierra es fundamental para la supresión de -- los armónicos y que además ofrece las siguientes ventajas:

1. Un camino para las corrientes desequilibradas, debidas a las cargas desequilibradas.

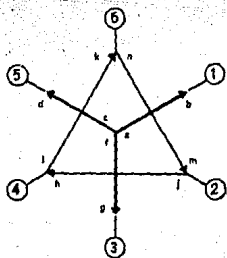
CONEXIONES Y DIAGRAMAS VECTORIALES DEL SECUNDARIO  
PARA ESTRELLA-DELTA HEXAFASICA (5ø).



a) CONEXIONES DEL SECUNDARIO PARA ESTRELLA-DELTA HEXAFASICA.



b) DIAGRAMAS VECTORIALES PARA LA ESTRELLA-DELTA HEXAFASICA.



c) DIAGRAMA VECTORIAL PARA LA ESTRELLA-DELTA INTERCONECTADA A UNA CARGA HEXAFASICA.

FIGURA No. 5.11



2. Un medio por el cual puede proporcionarse un servicio eléctrico "doble" (tanto la tensión trifásica superior para las potencias y cargas de motores mayores, como una tensión monofásica inferior para las cargas de iluminación).

3. Un medio por el cual las tensiones de fase - entre las cargas conectadas en  $\Delta$  o los --- transformadores conectado en  $\Delta$ , se equilibran en relación con las tensiones de línea.

La delta (terminales 2-4-6), suministra una variación - de la tensión de línea del secundario, donde el voltaje entre fases del secundario conectado en delta, es  $\sqrt{3}$  veces - el existente entre fases del secundario conectado en estrella.

Al conectarse los terminales a la carga hexafásica, se superponen los vectores de los dos sistemas trifásicos, como se muestra en la figura No. 5.11c, produciendo igualmente -- tensiones de línea desfasadas  $60^\circ$ , como en los anteriores -- sistemas hexafásicos.

Ahora bien, la carga del Transformador utilizado en la Subestación de Rectificación "no" esta conectada en malla, - se divide en dos partes; una para la conexión delta y otra - para la estrella, obteniéndose dos sistemas trifásicos por - separado, como se observa en las figuras 2.2 y 4.1.

### 5.3 DATOS DE PLACA TÍPICOS DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

"TRANSFORMADOR PRINCIPAL"

DATOS DE PLACA.

"A L S T H O M"

S A V O I S I E N N E

TRANSFORMADOR TRIFÁSICO N° 1935353

AÑO FABRICACION 1969

Frecuencia 50/60 Hz Servicio Interior

Régimen Continuo

Sumergido en Piraleno en Tanque Hermético

Enfriamiento por Aire Forzado

(Volumen de Aire 8 m<sup>3</sup>/seg.)

Para alimentación de Rectificadores al Silicio  
montados en 2 puentes de Gretz que trabajan en  
paralelo.

2750 KVA

15000 V prim.

PRIMARIO

SEGUNDARIO



/571 V entre fases en Vacío



Ciclo de funcionamiento 10 Horas

Comprendiendo:

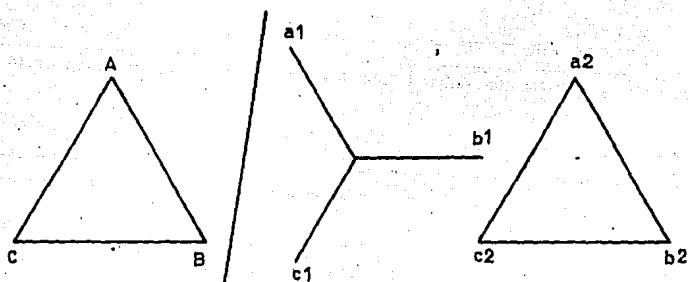
- Carga nominal a 3400 A. Durante 8 hrs.

- Sobrecarga durante 2 hrs. Compuesta por:

35 picos de 10,000 A. durante 20 seg.

1 pico de 12,000 A. durante 5 seg.

DIAGRAMA VECTORIAL



Pesos:

Sin Piraleno 8600 Kg.

Piraleno 3900 Kg.

Total 12500 Kg.

Al levantar

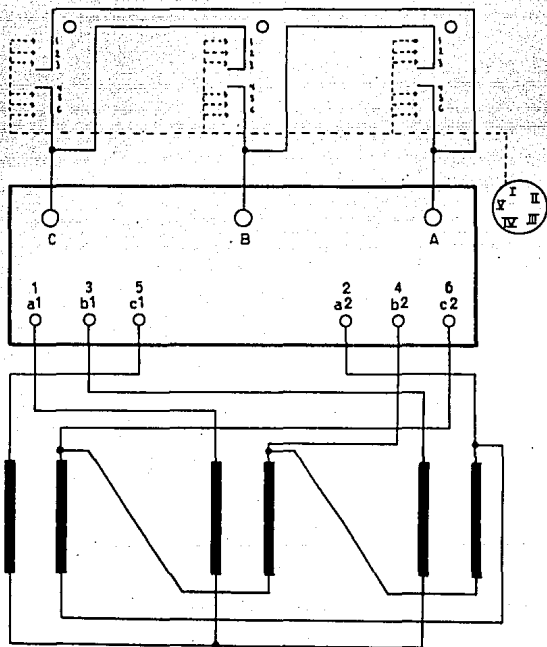
Inspección 5600 Kg.

PRIMARIO A.T.				SECUNDARIOS B.T.					
LINEA EN ABC				SECUNDARIO ESTRELLA B. T. 1			SECUNDARIO TRIANGULO B. T. 2		
CONEXION TRIANGULO				LINEAS EN a1, b1, c1			LINEAS EN a2, b2, c2		
VOLTAJE VOLTIOS	INTENSIDAD AMPERIOS	POSICION	CONEXIONES REALIZADAS	VOLTAJE EN VACIO ENTRE FASES VOLTIOS	INTENSIDAD POR FASE AMPERIOS	RELACION DE TRANS FORMACIO EN VACIO A T/B T 1	VOLTAJE EN VACIO ENTRE FASES VOLTIOS	INTENSIDAD POR FASE AMPERIOS	RELACION DE TRANS FORMACION EN VACIO A T/B T 2
15 000	100.5	I	3- 4	542		$47.92/\sqrt{3}$	542		27.67
	103	II	4- 2	557		$46.64/\sqrt{3}$	557		26.93
	106	III (N)	2- 5	571	1390	$45.5/\sqrt{3}$	571	802	26,27
	108.5	IV	5- 1	585		$44.4/\sqrt{3}$	588		26.54
	111	V	1- 6	600		$43.3/\sqrt{3}$	600		25

TABLA 5.1

# ESQUEMA DE CONEXIONES

PRIMARIO



SECUNDARIO

Transformador en conformidad con los  
reglamentos de U.T.E. C521006 1962

Debe ser puesto fuera de servicio antes de cual  
quier cambio de la relación de transformación.

Debe ser instalado en el interior.

Proceda sólo a las instalaciones del esquema.

Tomar todos los años muestra del líquido de  
inmersión.

Para examen y ensayos dieléctricos.

Piraleño 1467

Datos tomados de la Subestación de Rectificación  
ubicada en los Talleres del Metro estación Zara-  
goza.

C A P I T U L O 6

"RECTIFICADOR"

Los Sistemas de conversión de corriente alterna a corriente continua se denominan "Rectificadores". Su funcionamiento está basado en permitir la circulación de la corriente en un sólo sentido, anulando o corrigiendo el contrario, como se observa más adelante. Son posibles, entonces, dos tipos diferentes de Rectificadores, que se denominan de "Media Onda" y de "Onda Completa".

El primero aprovecha únicamente la alternancia o semiciclo en que la corriente alterna es positiva o negativa (según interese), eliminando el contrario. El resultado obtenido a la salida, es un conjunto de "pulsos" de corriente, separados por intervalos de no conducción.

El segundo se comporta como el primero (de Media Onda), - durante un semiciclo, e invierte el sentido de la corriente - del otro, obteniendo un mismo sentido para cualquiera de las dos alternancias que recibe a su entrada. La corriente que resulta está formada por "pulsos" semejantes al caso anterior, pero totalmente juntos sin existir ningún período en que cese la conducción.

Los Rectificadores pueden ser usados para suministrar corriente directa, desde cualquiera de las dos fuentes, ya sea monofásica o polifásica.

En muchas ocasiones es necesario recurrir a algún sistema adicional, que obtenga una corriente más uniforme a partir de la suministrada por el "Rectificador". Este Sistema se denomina "Filtro".



Los "Filtros" están compuestos por componentes capaces - de almacenar energía, bien sea en forma electrostática como - es el caso del condensador, o electromagnética, el caso de -- las bobinas o inductancias.

Su funcionamiento consiste en proporcionar una cierta -- cantidad de corriente durante los períodos en que el "pulso" producido por la alterna de entrada disminuye y se hace inferior a un determinado valor. En esos instantes, la carga almacenada por el filtro, produce una corriente adicional, lo-- grandando que la intensidad de salida sea muy uniforme, estando limitadas las variaciones residuales entre unos límites tan - estrechos como sea necesario.

## 6.1 EL DIODO DE ALTA POTENCIA.

El Dispositivo Rectificador utilizado en el Sistema de Transporte Colectivo (Metro), es el denominado comunmente como Diodo Rectificador de Alta Potencia y sus características se definen a continuación.

Los "Diodos" que son usados en circuitos de altas corrientes y que pueden ser capaces de resistir temperaturas relativamente elevadas durante largo tiempo, son los denominados de "Alta Potencia".

Son construidos con elementos "semiconductores", y son conocidos como células ó celdas de Silicio, ó "Diodos Rectificadores de Silicio". Una típica célula de silicio de alta potencia aparece en la figura No. 6.1.

Consiste en un disco de silicio, con indicios minusculos de impurezas añadidas. Este disco de silicio es colocado entre una placa de aluminio y soldado a alta temperatura. Luego, el disco es ensamblado a la base del tornillo de contacto y el ánodo es alambrado y soldado por medio de una conexión flexible.

Continuando con la unión de rectificación, está formada por la fundición del disco con la placa de aluminio a una muy alta temperatura. Finalmente la unidad es sellada a fin de prevenir su contaminación.

CONSTRUCCION DE UN DIODO DE SILICIO DE  
ALTA POTENCIA

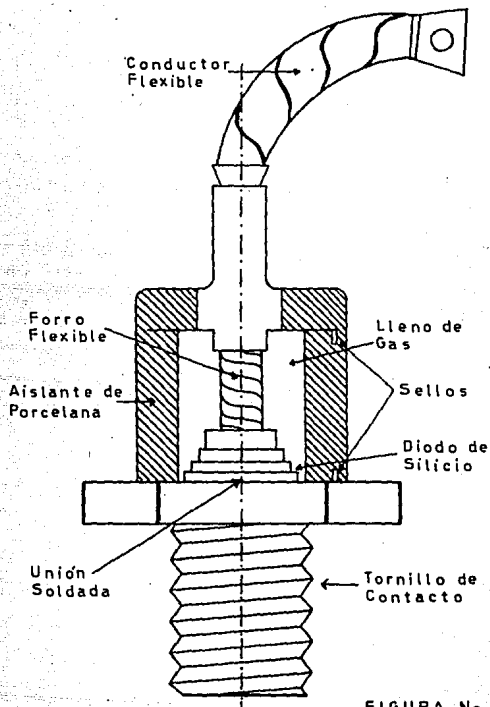


FIGURA No. 6.1

Un método efectivo de intercambiar el calor de la célula de silicio, es transferirlo a un mayor cuerpo enfriador o comúnmente denominado "disipador". Esto es realizado por contacto íntimo entre el ensamble y el disipador de calor. Cuando los niveles de corriente son extremadamente altos, la célula de silicio puede ser montada sobre agua enfriada, la cual sirve para los dos propósitos, que son el de conducir y el de disipar el calor.

Una simple célula de silicio de la configuración montada y ensamblada, puede manejar corrientes de alrededor de 400 -- amperes.

El voltaje inverso de ruptura clásico para células de silicio, extendiendo este rango de corrientes es de aproximadamente 700 volts. Las células de silicio son muchas veces conectadas en serie-paralelo, las cuáles permiten la combinación a cargar muy altas corrientes a altos voltajes.

## 6.2 TEORIA DEL CIRCUITO RECTIFICADOR.

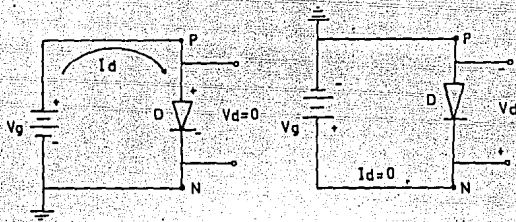
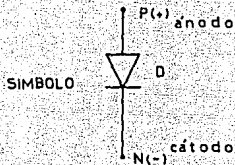
El Diodo Rectificador Ideal.

El Diodo "D", es un elemento electrónico "NO" lineal; - sus características Volts-Amper "NO" están dadas por la Ley de Ohm, por lo que sus circuitos requieren la aplicación de métodos particulares de solución. Su símbolo y gráfica de - operación no es una línea recta como se observa en la figura No. 6.2.

La Respuesta del Diodo es como sigue:

- a). Para un voltaje positivo ( $+V_g$ ) externamente aplicado de P hacia N (polarización directa) se genera una corriente positiva  $I_d$ , que circula de P a N, siendo la caída de - tensión directa  $V_d$  a través del diodo, de cero volts -- ( $R_d=0\ \Omega$  y  $V_d=0$  volts), independientemente de la magnitud de la corriente  $I_d$ , comportándose el diodo como un corto circuito.
  
- b). Para un voltaje negativo ( $-V_g$ ), externamente aplicado - de P hacia N (polarización inversa), no hay generación de corriente negativa, de N a P, siendo la corriente inversa  $I_d$  a través del diodo de cero amperes ( $R_d = \infty\ \Omega$  e  $I_d = 0$  amp.), independientemente de la magnitud de la - tensión  $-V_g$ , comportándose el diodo como un circuito -- abierto.

# EL DIODO IDEAL



OPERACION

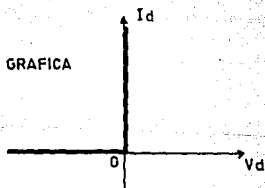


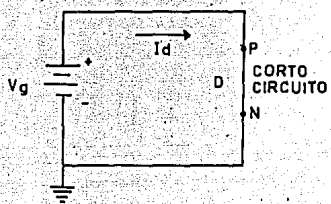
FIGURA No. 6.2

Por analogía con los diodos de tubos electrónicos, la terminal marcada con "+" es conocida con el nombre de ánodo y la marcada con "-", como cátodo. Utilizando estos términos y haciendo referencia al voltaje en lugar de la corriente, puede decirse que para que el diodo conduzca, es necesario que el ánodo "tienda" a estar a un voltaje más positivo que el cátodo. Se hace la aclaración de que se usa la expresión "tender a" porque una vez que se ha comprobado que circula corriente a través del diodo, éste se comporta como un corto circuito y por lo tanto el ánodo y el cátodo quedarían al mismo potencial.

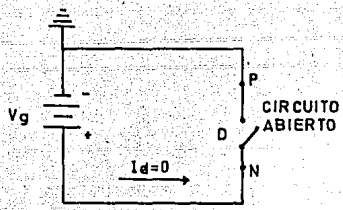
El diodo puede ser visto como un interruptor, controlado por la polaridad de la tensión  $V_g$  aplicada, (ver la figura No. 6.3.).

El interruptor diodo es cerrado para la polarización directa (de P hacia N) y es abierto para la polarización inversa (de N hacia P).

El modelo ideal del diodo es sumamente útil para el análisis cualitativo de los circuitos con diodos, dado que dicho análisis resulta bastante simple. Por otro lado, la aproximación obtenida es aceptable para un sinnúmero de aplicaciones prácticas. Aprovechando estas cualidades, a continuación se realiza un estudio más a fondo de los circuitos rectificadores que involucran diodos.



POLARIZACION DIRECTA



POLARIZACION INVERSA

FIGURA No. 5.3



### 6.2.1 CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA.

En la figura No. 6.4,  $R_o$  es la resistencia de salida o es la carga que siente el diodo.

- a). Para  $V_g(t)$  positivo,  $0 \leq wt \leq \pi$ , el diodo es polarizado directamente, conduce, circula  $I_d$  tal que:

$$I_d = \frac{V_g(t)}{R_o} \quad \therefore V_o(t) = R_o \cdot I_d = V_g(t)$$

- b). Para  $V_g(t)$  negativo,  $\pi \leq wt \leq 2\pi$ , el diodo es polarizado inversamente, no conduce,  $I_d = 0$  amp., tal que:

$$V_o(t) = R_o I_d = 0 \text{ volts}$$

desapareciendo en la salida el lóbulo negativo de  $V_g(t)$ , siendo el voltaje a través del diodo el voltaje inverso

$$V_d = -V_g(t).$$

Resumiendo:

$$V_o(t) = \left| V_{gm} \text{ Sen } wt \right| \text{ volts para } V_g(t) > 0$$

$$V_o(t) = 0 \text{ volts para } V_g(t) < 0$$

La onda de salida  $V_o(t)$  es periódica y puede ser representada por su serie de Fourier de la siguiente manera:

$$V_o(t) = \frac{1}{2}a_o + a_1 \text{ Cos } \omega t + a_2 \text{ Cos } 2\omega t + a_3 \text{ Cos } 3\omega t + \dots$$

$$+ b_1 \text{ Sen } \omega t + b_2 \text{ Sen } 2\omega t + b_3 \text{ Sen } 3\omega t + \dots$$

$$V_o(t) = \frac{1}{2}a_o + \sum_{i=1}^n (a_i \text{ Cos } i\omega t + b_i \text{ Sen } i\omega t)$$

$$\frac{1}{2}a_o = \text{Término de Directa}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{y} \quad \omega = 2\pi f$$

$T$  = Período de  $f(t)$

$f$  = Frecuencia de  $f(t)$

$\omega$  = Frecuencia Angular Fundamental

$$\left. \begin{array}{l} a_1 \text{ Cos } \omega t \\ b_1 \text{ Sen } \omega t \end{array} \right\} \text{ Armónicas Fundamentales}$$

$$\left. \begin{array}{l} a_n \text{ Cos } n\omega t \\ b_n \text{ Sen } n\omega t \end{array} \right\} \text{ n-ésimas Armónicas}$$

Donde:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V_o(\theta) \text{ Cos } n\theta d\theta$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Sen } n\theta d\theta \quad y$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Cos}(\theta) \theta d\theta \quad \delta$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta$$

Realizando el análisis para la forma de onda de salida de la figura No. 6.5, tenemos lo siguiente:

$$V_o(\theta) = \begin{cases} \text{Cos } \theta & -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2} \end{cases}$$

$$w = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Como la función (voltaje de salida) es par  $b_n = 0$ .

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \text{Cos } \theta d\theta$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Sen } \theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} \left[ \text{Sen } \frac{\pi}{2} - \text{Sen} \left( -\frac{\pi}{2} \right) \right]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} [1 - (-1)] = \frac{1}{2\pi} [2]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{\pi}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \cos n\theta d\theta$$

Para  $n = 1$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} (\cos 2\theta + 1) d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos 2\theta d\theta + \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos 2\theta d2\theta + \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{4\pi} \left[ \operatorname{Sen} 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} + \frac{1}{2\pi} \left[ \theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$a_1 = \frac{1}{4\pi} \left[ \operatorname{Sen} 2 \left( \frac{\pi}{2} \right) - \operatorname{Sen} \left( -\frac{\pi}{2} \right) \right] + \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi}{2} - \left( -\frac{\pi}{2} \right) \right]$$

$$a_1 = \frac{1}{4\pi} \left[ \operatorname{Sen} \pi - \operatorname{Sen} (-\pi) \right] + \frac{1}{2\pi} \left[ \pi \right]$$

$$a_1 = \frac{1}{4\pi} [0 - 0] + \frac{1}{2}$$

$$a_1 = \frac{1}{2}$$

Para  $n \neq 1$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } (n-1)\theta}{2(n-1)} + \frac{\text{Sen } (n+1)\theta}{2(n+1)} \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

Si  $n = 2$

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{2}}{2} + \frac{\text{Sen } \left(\frac{3\pi}{2}\right)}{6} - \frac{\text{Sen } \left(-\frac{\pi}{2}\right)}{2} - \frac{\text{Sen } \left(-\frac{3\pi}{2}\right)}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{6}\right) - \left(-\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \left[ 1 - \frac{2}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{4}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{2}{3\pi}$$

Si  $n = 3$

$$a_3 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \pi}{4} + \frac{\text{Sen } 2\pi}{8} - \frac{\text{Sen } (-\pi)}{4} - \frac{\text{Sen } (-2\pi)}{8} \right]$$

$$a_3 = \frac{1}{\pi} [0]$$

$$a_3 = 0$$

Si  $n = 4$

$$a_4 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{2\pi}{2}}{6} + \frac{\text{Sen } \frac{5\pi}{2}}{10} - \frac{\text{Sen}(-\frac{3\pi}{2})}{6} - \frac{\text{Sen}(-\frac{5\pi}{2})}{10} \right]$$

$$a_4 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{6} + \frac{1}{10} - \frac{1}{6} - \left(-\frac{1}{10}\right) \right]$$

$$a_4 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{2}{6} + \frac{2}{10} \right]$$

$$a_4 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{-4}{30} \right]$$

$$a_4 = -\frac{2}{15\pi}$$

Si  $n = 5$

$$a_5 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } 2\pi}{8} + \frac{\text{Sen } 3\pi}{12} - \frac{\text{Sen}(-2\pi)}{8} - \frac{\text{Sen}(-3\pi)}{12} \right]$$

$$a_5 = \frac{1}{\pi} [0]$$

$$a_5 = 0$$

Si  $n = 6$

$$a_6 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{5\pi}{2}}{10} + \frac{\text{Sen } \frac{7\pi}{2}}{14} - \frac{\text{Sen}(-\frac{5\pi}{2})}{10} - \frac{\text{Sen}(-\frac{7\pi}{2})}{14} \right]$$

$$a_6 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{10} + \left(-\frac{1}{14}\right) - \left(-\frac{1}{10}\right) - \frac{1}{14} \right]$$

$$a_6 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{2}{10} - \frac{2}{14} \right]$$

$$a_6 = \frac{2}{35\pi}$$

La serie de Fourier del voltaje de salida por lo tanto es:

$$V_o(t) = \left[ \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos wt + \frac{2}{3\pi} \cos 2wt - \frac{2}{15\pi} \cos 4wt + \frac{2}{35\pi} \cos 6wt + \dots \right] V_{om}$$

Las formas de onda se representan en la figura No. 6.5, así,  $V_o(t)$  consta de una componente de corriente directa, --  $V_{om}/\pi$ , y de componentes armónicas no presentes en  $V_g(t)$ , por ser múltiplos de la frecuencia de entrada " $w$ " (velocidad angular).

CIRCUITO RECTIFICADOR DE  
MEDIA ONDA

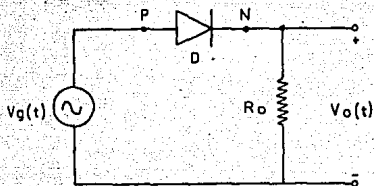


FIGURA No. 6.4

FORMAS DE ONDA

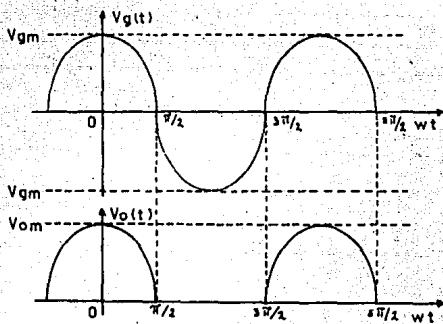


FIGURA No. 6.5



## 6.2.2 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA.

### A). Con Tap Central.

El circuito rectificador de onda completa con tap central se muestra en la figura No. 6.6.

El circuito consiste básicamente en dos rectificadores de media onda conectados a una sola resistencia de carga y tienen como señal de entrada  $V_i(t)$ . Durante el medio ciclo positivo de  $V_i$ ,  $D_1$  está polarizado en directa y actúa como un corto circuito;  $D_2$  queda polarizado en inversa y se comporta como circuito abierto,  $V_s = V_i$ . Durante el medio ciclo negativo de  $V_i$ ,  $D_2$  actúa como un corto circuito, y  $D_1$  como un circuito abierto y  $V_s = -V_i$  nuevamente. La forma de onda se observa en la figura No. 6.7.

El voltaje en la carga o de salida puede ser expresado como:

$$V_s \approx |V_i| \quad \text{recuérdese que } V_s \text{ es un poco menor de } V_i.$$

La serie de Fourier de la onda de salida es:

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA  
TAP CENTRAL

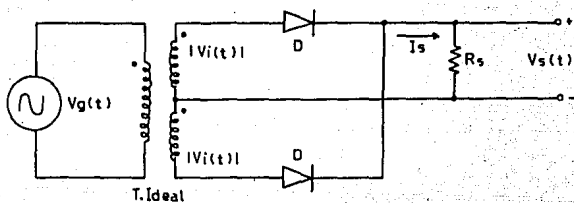


FIGURA No. 6.6

FORMA DE ONDA DE SALIDA

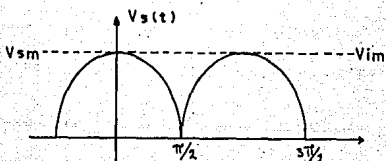


FIGURA No. 6.7

De acuerdo con la forma de onda de la figura No. 5.7, observamos lo siguiente:

$$V_s(t) = \begin{cases} \cos \theta & -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \\ \cos \theta & \frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2} \end{cases}$$

$$b_n = 0$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \, d\theta$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{\pi} \left[ \sin \theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{\pi} \left[ \sin \frac{\pi}{2} - \sin \left( -\frac{\pi}{2} \right) \right]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{\pi} [1 + 1]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{2}{\pi}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \cos n\theta \, d\theta$$

Para  $n = 1$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta \, d\theta + \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \cos^2 \theta \, d\theta$$

$$a_1 = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} (\cos 2\theta + 1) \, d\theta$$

$$a_{-1} = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos 2\theta \, d\theta + \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos 2\theta \, d\theta + \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} \left[ \sin 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} + \frac{1}{\pi} \left[ \theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} \left[ \sin \pi - \sin(-\pi) \right] + \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{2}\right) \right]$$

$$a_1 = \frac{1}{2\pi} [0] + \frac{1}{\pi} [\pi]$$

$$a_1 = 1$$

Para  $n \neq 1$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\sin(n-1)\theta}{2(n-1)} + \frac{\sin(n+1)\theta}{2(n+1)} \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

Si  $n = 2$

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\sin \frac{\pi}{2}}{2} + \frac{\sin \frac{3\pi}{2}}{6} - \frac{\sin(-\frac{\pi}{2})}{2} - \frac{\sin(-\frac{3\pi}{2})}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{1}{2} + \left(\frac{-1}{6}\right) - \left(-\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \left[ 1 - \frac{2}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{4}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{4}{3\pi}$$

y así sucesivamente, hasta obtener la serie de Fourier para -- el circuito rectificador de onda completa siguiente:

$$V_s(t) = \left[ \frac{2}{\pi} + \cos wt + \frac{4}{3\pi} \cos 2wt - \frac{4}{15\pi} \cos 4wt + \frac{4}{35\pi} \cos 6wt + \dots \right] V_{im}$$

de donde podemos observar que el voltaje  $V_s$  consiste en la suma de una componente de c.d. con magnitud " $2 V_{im} / \pi$ ", (el doble que en el rectificador de media onda) y un conjunto de componentes senoidales de frecuencias que son múltiplos enteros de " $w$ ", como en el caso anterior.

#### B). Tipo Puente.

Otro rectificador de onda completa es el llamado tipo puente y se muestra en la figura No. 6.8.

Como se observa en la figura, durante el semiciclo positivo de la tensión  $V_i(t)$ , la corriente pasa a través de  $D_1$ ,  $R_s$  y  $D_3$ .

Después, durante el semiciclo negativo de la tensión --  $V_i(t)$ , la corriente pasa a través de  $D_4$ ,  $R_s$  y  $D_2$ .

En ambos casos, la corriente pasa a través de  $R_s$  en la misma dirección de circulación.

La forma de onda obtenida para  $V_s$ , es la misma que la -- del caso anterior.

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA  
TIPO PUENTE

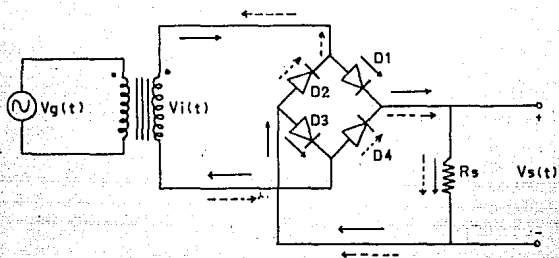


FIGURA No. 6.8

RECTIFICADOR TRIFASICO  
DE MEDIA ONDA

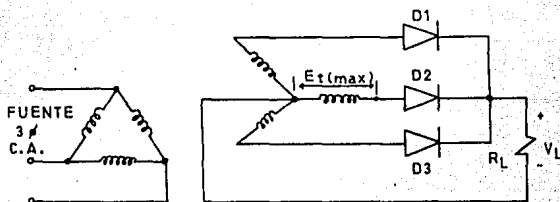


FIGURA No. 6.9

### 6.3 CIRCUITOS RECTIFICADORES POLIFASICOS.

Para los circuitos de baja potencia, puede resultar adecuada la alimentación desde la red monofásica (circuitos rectificadores monofásicos o bifásicos, como los vistos en el apartado anterior), si se consideran aceptables una baja frecuencia de rizo y un factor de rizo relativamente alto.

Pero si se necesita alta potencia de salida, resulta preferible la alimentación a partir de una red trifásica (circuitos rectificadores trifásicos o hexafásicos, como los que se verá a continuación), debido al menor factor de rizo y a una mayor eficiencia, aún cuando las pérdidas por conmutación sean mayores.

En los circuitos trifásicos, un bobinado del transformador está generalmente en conexión "delta", a fin de suprimir las armónicas (con la excepción especial del segundo circuito doble estrella).

### 6.3.1 RECTIFICADORES TRIFÁSICOS DE MEDIA ONDA.

La disposición trifásica de media onda, es el circuito rectificador trifásico más simple posible.

En la figura No. 6.9, se muestra el circuito, en el cual el ángulo de conducción de los diodos es de  $120^\circ$ .

En este caso, la corriente promedio y eficaz en cada diodo es:

$$I_{D(av)} = I_L / 3$$

$$I_{D(rms)} = (1/\sqrt{3}) I_{L(rms)}$$

El funcionamiento del circuito es el mismo que para el caso de los rectificadores monofásicos, conduce siempre el diodo que esté en la fase máxima.

La frecuencia de rizo es el triple de la frecuencia de la red de alimentación, y la tensión de cresta de trabajo que deben soportar los rectificadores está dada por:

$$2 E_{T(máx.)} \cos \frac{\pi}{6} = \sqrt{3} E_{T(máx.)}$$

La eficiencia de conversión de este circuito es alta -- comparada con la de los circuitos monofásicos, y la tensión de rizo se reduce a algo más de un tercio de la obtenida -- con el circuito monofásico de onda completa. Sin embargo, el factor de utilidad del transformador es pobre comparado



con el puente rectificador trifásico de onda completa, y este circuito se emplea cuando se requiere conversión de baja tensión.

En la figura No. 6.10, se presenta el circuito rectificador hexafásico de media onda.

En este, el ángulo de conducción de los diodos es de  $60^\circ$ , y las corrientes a través de cada diodo son:

$$I_{D(av)} = I_L / 3$$

$$I_{D(rms)} = (1 / \sqrt{6}) I_{L(rms)}$$

Como se observa, utiliza el doble del número de diodos que en el circuito anterior.

RECTIFICADOR HEXAFASICO  
DE MEDIA ONDA

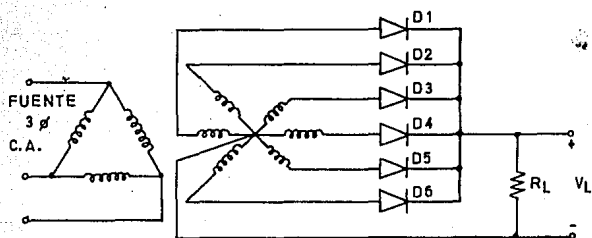


FIGURA No. 6.10

RECTIFICADOR TRIFASICO TIPO  
PUENTE DE ONDA COMPLETA

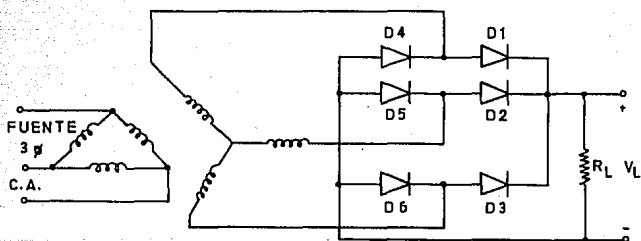


FIGURA No. 6.11

### 6.3.2 RECTIFICADORES TRIFÁSICOS DE ONDA COMPLETA.

#### A). Circuito Puente Rectificador de Onda Completa.

El circuito puente rectificador trifásico de onda completa se muestra en la figura No. 6.11.

Es uno de los circuitos más ampliamente utilizados para la conversión de alta potencia, cuando se emplean rectificadores de estado sólido.

En el circuito trifásico de onda completa, el devanado secundario del transformador puede conectarse en estrella o en delta. En el circuito de la figura No. 6.11, el devanado secundario del transformador se encuentra en estrella. Puesto que ambos montajes son idénticos en lo esencial, sus relaciones son iguales siempre que los voltajes en los secundarios sean idénticos: el voltaje entre las fases del transformador conectado en delta debe ser  $\sqrt{3}$  veces la del secundario conectado en estrella. Las fórmulas para las corrientes media y eficaz de cada diodo son iguales a las del circuito trifásico de media onda, es decir:

$$I_{D(av)} = I_L / 3$$

$$I_{D(rms)} = (1 / \sqrt{3}) I_{L(rms)}$$

Este circuito, tiene el más alto factor de utilidad del transformador, y por lo tanto, requiere mayor potencia alterna para obtener los valores deseados de tensión y corriente directa.

## B). Circuito Doble Estrella con Reactor Interfásico.

Este circuito se muestra en la figura No. 6.12.

Un conjunto de voltajes trifásicos están desfasados  $60^\circ$  uno respecto del otro, para suministrar una salida hexafásica.

A pesar de lo anterior, el ángulo de conducción de los diodos se aproxima a  $120^\circ$ , debido a la presencia de la bobina de compensación o reactor. Las corrientes media y eficaz que circulan por cada diodo, son respectivamente:

$$I_{D(av)} = I_L / 6$$

$$I_{D(rms)} = (1/2\sqrt{3}) I_{L(rms)}$$

El circuito tiene un rizo hexafásico, pero una relación de tensiones trifásicas. Su empleo reduce la corriente de línea aproximadamente a la mitad de la necesaria para el circuito trifásico hexafásico de media onda, por lo cual pueden emplearse rectificadores con menor régimen de corriente pico.

Sin embargo, la tensión pico inversa que deben soportar los rectificadores es algo mayor.

Esta disposición puede utilizarse en aquellos casos en donde el costo del transformador interfásico, está compensado por el empleo de rectificadores con regímenes de corrien-

te relativamente bajos.

Se utiliza frecuentemente en plantas electrolíticas de baja tensión y alta corriente. El factor de utilidad del primario y del secundario es elevado, aunque el del secundario es inferior en  $\sqrt{2}$  al del circuito puente trifásico.

#### G). Circuito Trifásico de Onda Completa en Estrella-Delta.

En la figura No. 6.13, se muestra este circuito, donde el voltaje entre fases del secundario conectado en delta es  $\sqrt{3}$  veces el existente entre fases del secundario conectado en estrella.

Los dos conjuntos de voltajes trifásicos se hallan desfasados entre sí  $30^\circ$ , para producir una salida de doce fases, con lo cual se obtiene una tensión de salida casi exenta de rizo, aún cuando el ángulo de conducción de los diodos se aproxima a los  $120^\circ$ . Las corrientes media y eficaz de cada diodo son:

$$I_{D(\text{AV})} = I_L / 6$$

$$I_{D(\text{rms})} = (1/2\sqrt{3}) I_{L(\text{rms})}$$

Esta configuración también es conocida como "Fuente de - Gretz" y por tener la máxima eficiencia es la utilizada en las Subestaciones de Rectificación del Sistema de Transporte Colec

RECTIFICADOR TRIFASICO DOBLE ESTRELLA CON REACTOR INTERFASICO

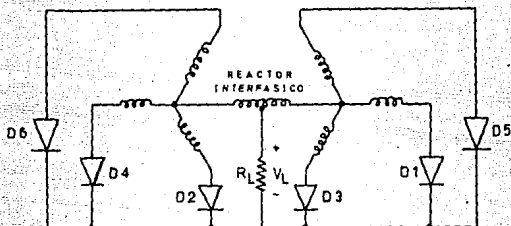


FIGURA No. 6.12

RECTIFICADOR TRIFASICO ONDA COMPLETA ESTRELLA-DELTA DOS PUENTES DE GRETS

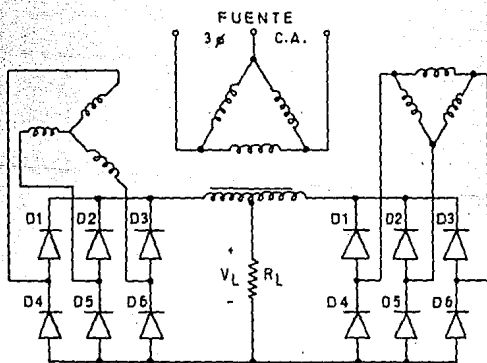


FIGURA No. 6.13

tivo (Metro) de la Ciudad de México.

El Grupo Rectificador de las Subestaciones de Rectificación, ya viene totalmente integrado en un gabinete, que actualmente sigue siendo de importación (Francesa).

A continuación se presentan los Datos de Placa Típicos de Un Grupo Rectificador.

A L S T H O M

TRACTION - TRK - MF

RECTIFICADOR DE SILICIO

TIPO	g - 390 319	TENSION =	730 Volts
FABRICACION	34/27 039	CORRIENTE =	3400 Amps.
NUMERO	20577	POTENCIA =	2500 Kw
ACOPLAMIENTO	2(6-2-7)G		
		CICLO DE SOBRECARGAS	
DIODOS TIPO	DASW 120	% I MEDIA	5490 Amps.
ENFRIAMIENTO	AIRE	% I EFICAZ	5680 Amps.
		% 5 Segundos	12000
TENSION AUX	220/240 V	3 FASES	CICLOS 50/60
MASA TOTAL	3150 Kg	MASA AL DESCUBIERTO	

La figura No. 6.14, muestra la forma de onda de salida -- del circuito rectificador trifásico de onda completa en Estrella-Delta, de la cual, realizando el análisis de Fourier, obtenemos lo siguiente:

$$V_s(t) = \text{Cos } \theta \quad - \frac{\pi}{12} < \theta < \frac{\pi}{12}$$

$b_n = 0$ , por ser la función par.

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{6}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \text{Cos } \theta d\theta$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{6}{\pi} \left[ \text{Sen } \theta \right]_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}}$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{6}{\pi} \left[ \text{Sen } \frac{\pi}{12} - \text{Sen} \left( -\frac{\pi}{12} \right) \right]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{6}{\pi} [0.2588 + 0.2588]$$

$$\frac{1}{2} a_0 = \frac{3.1056}{\pi}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \text{Cos } n\theta d\theta$$

$$a_n = \frac{6}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \text{Cos } \theta \text{Cos } n\theta d\theta$$



Para  $n = 1$

$$a_1 = \frac{6}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \cos^2 \theta \, d\theta.$$

$$a_1 = \frac{6}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \frac{1}{2} (\cos 2\theta + 1) \, d\theta$$

$$a_1 = \frac{6}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \cos 2\theta \, d\theta + \frac{6}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} \cos 2\theta \, d2\theta + \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} d\theta$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} \left[ \text{Sen } 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}} + \frac{3}{\pi} \left[ \theta \right]_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}}$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} \left[ \text{Sen } 2\left(\frac{\pi}{12}\right) - \text{Sen } 2\left(-\frac{\pi}{12}\right) \right] + \frac{3}{\pi} \left[ \frac{\pi}{12} + \frac{\pi}{12} \right]$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} \left[ \text{Sen } \frac{\pi}{6} - \text{Sen } \left(-\frac{\pi}{6}\right) \right] + \frac{3}{\pi} \left[ \frac{\pi}{6} \right]$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} [0.5 + 0.5] + 0.5$$

$$a_1 = \frac{3}{2\pi} + \frac{1}{2}$$

Para  $n \neq 1$

$$a_n = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } (n-1)\theta}{2(n-1)} + \frac{\text{Sen } (n+1)\theta}{2(n+1)} \right]_{-\frac{\pi}{12}}^{\frac{\pi}{12}}$$

Si  $n = 2$

$$a_2 = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{12}}{2} + \frac{\text{Sen } \frac{3\pi}{12}}{6} - \frac{\text{Sen}(-\frac{\pi}{12})}{2} - \frac{\text{Sen}(-\frac{3\pi}{12})}{6} \right]$$

$$a_2 = \frac{6}{\pi} [0.1294 + 0.11785 + 0.1294 + 0.11785]$$

$$a_2 = \frac{6}{\pi} [0.2588 + 0.2357]$$

$$a_2 = \frac{6}{\pi} [0.4945]$$

$$a_2 = \frac{2.967}{\pi}$$

Si  $n = 3$

$$a_3 = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{6}}{4} + \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{8}}{8} - \frac{\text{Sen}(-\frac{\pi}{6})}{4} - \frac{\text{Sen}(-\frac{\pi}{8})}{8} \right]$$

$$a_3 = \frac{6}{\pi} [0.125 + 0.1082 + 0.125 + 0.1082]$$

$$a_3 = \frac{6}{\pi} [0.250 + 0.2165]$$

$$a_3 = \frac{6}{\pi} [0.4665]$$

$$a_3 = \frac{2.799}{\pi}$$

Si  $n = 4$

$$a_4 = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{4}}{6} + \frac{\text{Sen } \frac{5\pi}{12}}{10} - \frac{\text{Sen}(-\frac{\pi}{4})}{6} - \frac{\text{Sen}(-\frac{5\pi}{12})}{10} \right]$$

$$a_4 = \frac{6}{\pi} [0.2357 + 0.1931]$$

$$a_4 = \frac{6}{\pi} [0.4288]$$

$$a_4 = \frac{2.5728}{\pi}$$

Si  $n = 5$

$$a_5 = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{4\pi}{12}}{8} + \frac{\text{Sen } \frac{\pi}{2}}{12} - \frac{\text{Sen}(-\frac{4\pi}{12})}{8} - \frac{\text{Sen}(-\frac{\pi}{2})}{12} \right]$$

$$a_5 = \frac{6}{\pi} [0.2165 + 0.1666]$$

$$a_5 = \frac{6}{\pi} [0.3831]$$

$$a_5 = \frac{2.2986}{\pi}$$

Si  $n = 6$

$$a_6 = \frac{6}{\pi} \left[ \frac{\text{Sen } \frac{5\pi}{12}}{10} + \frac{\text{Sen } \frac{3\pi}{12}}{14} - \frac{\text{Sen}(-\frac{5\pi}{12})}{10} - \frac{\text{Sen}(-\frac{3\pi}{12})}{14} \right]$$

$$a_6 = \frac{6}{\pi} [0.1931 + 0.1379]$$

$$a_6 = \frac{6}{\pi} [0.331]$$

$$a_6 = \frac{1.986}{\pi}$$

por lo tanto, el voltaje de salida es:

$$V_s(t) = \left[ \frac{3.1056}{\pi} + \left( \frac{3}{2\pi} + \frac{1}{2} \right) \text{Cos } \omega t + \frac{2.967}{\pi} \text{Cos } 2\omega t + \right. \\ \left. + \frac{2.799}{\pi} \text{Cos } 3\omega t + \frac{2.5728}{\pi} \text{Cos } 4\omega t + \right. \\ \left. + \frac{2.2986}{\pi} \text{Cos } 5\omega t + \frac{1.986}{\pi} \text{Cos } 6\omega t + \dots \right] V_{sm}$$

FORMAS DE ONDA DE ENTRADA Y SALIDA

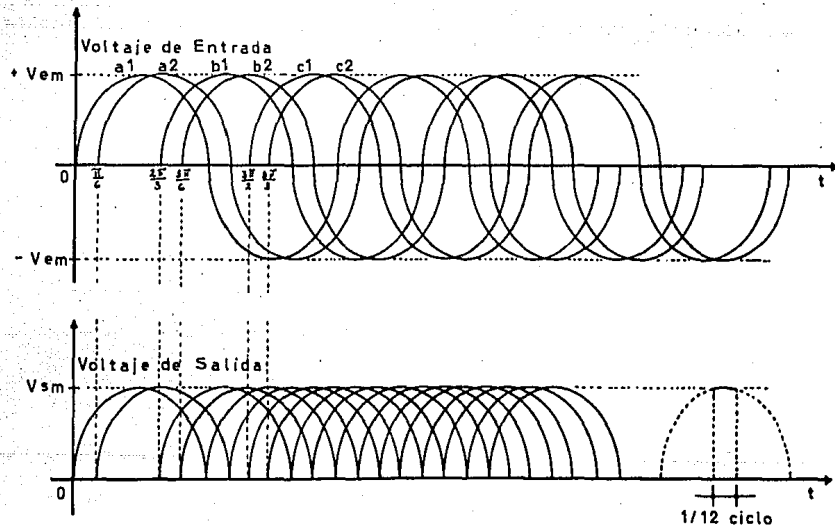


FIGURA No. 6.14

#### 6.4 BOBINA DE EQUILIBRIO.

La Bobina de Equilibrio, algunas veces también llamada - "Transformador de Interfase", es un dispositivo el cual almacena energía en forma electromagnética.

La energía almacenada se determina de la siguiente manera:

$$Q = 2 \times 10^{-3} f L I^2$$

$$Q = 9.84 \times 10^{-12} \frac{V B^2 f}{\mu}$$

donde:

Q = potencia nominal, KVA.

f = frecuencia, ciclos por segundo.

L = inductancia, henrios.

I = amperes (rms)

V = volumen de campo magnético, pulgadas cúbicas.

B = densidad de flujo máximo, líneas por pulgada cuadrada.

$\mu$  = permeabilidad (cte. de permeabilidad del material).

Su construcción es muy similar a la de cualquier transformador, un núcleo de hierro formado por placas de acero magnético, con la diferencia de que sólo tiene una bobina con una toma central, la que le da el nombre de "interfase", la cual divide en dos partes el circuito para filtrar la salida de potencia de c.d. del rectificador.

El transformador de interfase o "bobina de equilibrio", se utiliza en el proceso de rectificación para:

- 1) Actuar como un medio de igualar cualquier diferencia de tensión de corriente directa (c.d.) entre las dos mitades, proporcionando una reactancia elevada a la corriente alterna (c.a.), pero una resistencia baja a la c.d.
- 2) Mejorar la regulación de tensión del circuito (o sea, su capacidad para mantener su tensión de salida desde vacío hasta plena carga).

El cálculo de los parámetros del transformador de interfase es el siguiente:

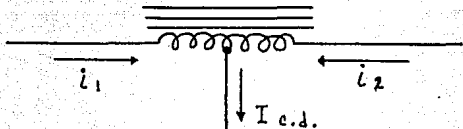
DATOS:  $V_{c.d.} = 750 \text{ V}$

$$VA_{c.d.} = 2500 \text{ Kw}$$

$$V_{c.a.} = 540 \text{ V}$$

$$VA_{c.a.} = 2150 \text{ KVA}$$

$$I_{c.d.} = \frac{VA_{c.d.}}{V_{c.d.}} = \frac{2500 \text{ Kw}}{750 \text{ V}} = 3,333 \text{ Amp.}$$



CORRIENTE QUE CIRCULA POR CADA BOBINA.

$$I_{rms} = \frac{I_{c.d.}}{2} = \frac{3,333 \text{ A}}{2} = 1,666.5 \text{ A}$$

De los datos

$$E_{c.d.} = 750 \text{ V}$$

$$I_{c.d.} = 3,333 \text{ A}$$

$$E_{sm} = \frac{E_{c.d.}}{0.825} = \frac{750 \text{ V}}{0.825} = 909.09 \text{ V}$$

$$E_s = \frac{E_{c.d.}}{1.17} = \frac{750 \text{ V}}{1.17} = 641 \text{ V}$$

CALCULO DE LA TERCERA ARMONICA O VOLTAJE DE EXCITACION.

$$E_{3m} = \frac{3\sqrt{3} E_{sm}}{4\pi} = \frac{3\sqrt{3} (909.09 \text{ V})}{4\pi} = 375.9 \text{ V}$$

Inductancia mínima del Transformador de Interfase.

$$L_{min} = \frac{0.39 E_s}{w I_{c.d.}} = \frac{0.39(641 \text{ V})}{2\pi(60)(3,333)}$$

$$L_{min} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ Hy.}$$

VOLTAJE PICO DEL TRANSFORMADOR.

$$E_{pico} = 0.5 ( E_{sm} ) = 0.5 ( 909.09 \text{ V} )$$

$$E_{pico} = 454.54 \text{ V}$$

VOLTS-AMPERES DEL TRANSFORMADOR.

$$VA = 0.212 E_{c.d.} I_{c.d.}$$

$$VA = 0.212 (750 V) (3,333 A) = 529.95 KVA$$

VOLTAJE rms

$$E_{rms} = \sqrt{(E_{c.d.})^2 + (E_{c.a.})^2}$$

$$E_{rms} = \sqrt{(750 V)^2 + (540 V)^2} = 924.17 V_{rms}$$

VOLTAJE DE PICO INVERSO DEL TRANSFORMADOR.

$$E_{p.i.} = 2.212 E_{c.d.} = 2.212 (750 V) = 1,659 V$$

VOLTS - AMPERES.

$$VA_{sec} = 6 [0.248 E_{c.d.} I_{c.d.}] = 6 [0.248(750 V)(3,333 A)]$$

$$VA_{sec} = 3719.28 KVA.$$

$$VA_{prim} = 3 [0.35 E_{c.d.} I_{c.d.}] = 3 [0.35(750 V)(3,333 A)]$$

$$VA_{prim} = 2624.73 KVA.$$

La "Bobina de Equilibrio", elimina por completo el rizo de la señal de salida que se observa en la forma de onda de la figura No. 6.14, haciendo más constante el voltaje de corriente directa (c.d.).



Los datos de placa típicos de una "Bobina de Equilibrio"  
son los siguientes:

A L S T H O M  
S A V O I S I E N N E

BOBINA DE ABSORCION MONOFASICA No.  
1935368

Servicio Interior Régimen Continuo  
Enfriamiento S.N. Aislamiento CLASE "B"

- 1a. ETAPA TENSION EFICAZ: 49.5 + 49.5 VCLTIOS  
Frecuencia: 300 HZ.
- 2a. ETAPA TENSION EFICAZ: 50.5 + 50.5 VCLTIOS  
Frecuencia: 360 HZ.

Intensidad de la Corriente Rectificada 1700X2 Amp.

Sobrecargas idénticas a las del transformador rectificador

Disposición Vertical

Esta bobina se integra al Grupo Rectificador, mediante -  
cables de conexión externos.

Datos tomados de la Subestación de Rectificación ubicada  
en los Talleres del Metro estación Zaragoza.

CAPITULO 7

" VENTILADOR "

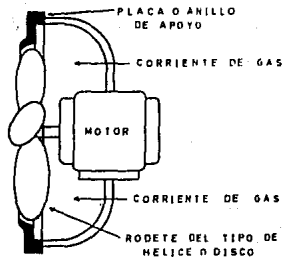
Cuando es preciso mover los gases venciendo presiones comprendidas entre 0 y 38 cm de agua, se recurre a los ventiladores, los cuales se emplean en gran extensión en las centrales térmicas, secaderos, instalaciones de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, conducción y refrigeración.

En esencia un ventilador consiste en una rueda o impulsor giratorio rodeado de una envolvente estática o carcasa.

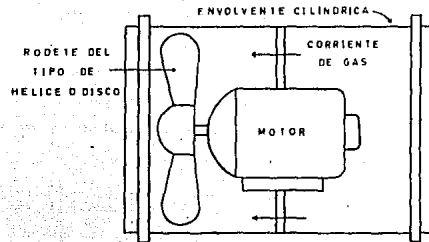
Una clasificación de los diferentes tipos de ventiladores, es la indicada en la figura No. 7.1.

En los ventiladores se comunica energía al gas trasegado mediante el impulsor o rodete, con lo cual se crea una diferencia de presión y se produce la corriente de gas. La palabra ventilador se suele aplicar a aquellos aparatos los cuales no aumentan la densidad del gas trasegado por ellos, más del 7 %. Los ventiladores -- también se conocen con el nombre de extractores. La diferencia entre un ventilador y un extractor consiste en que el primero descarga los gases venciendo una cierta presión en su boca de salida; -- el segundo, saca los gases de un recinto por aspiración y los descarga con una ligera presión. Ciertos tipos de ventiladores trabajando entre determinados límites de presión pueden servir como aspiradores y ventiladores. Los tipos de ventiladores representados en la figura No. 7.1, son de dos clases: Axiales (de hélice, tubo-axial, deflector-axial), y centrifugos o radiales.

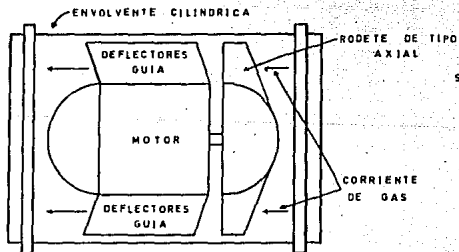
## TIPOS DE VENTILADORES



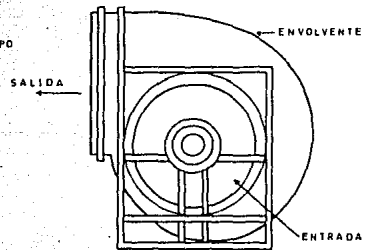
a) HELICE



b) TURBOAXIAL



c) PALETAS AXIALES



d) CENTRIFUGO

FIGURA No. 7.1

## 7.1 VENTILADORES DE FLUJO AXIAL.

En estos aparatos el flujo o corriente de fluido gaseoso es esencialmente paralelo al eje longitudinal o eje de giro de la hélice o rodete. Cada uno de los tipos representados en la figura No. 7.1, tiene su elemento impulsor montado en el eje del motor. Cuando interesa, la hélice puede montarse con eje propio y cojinetes independientes del motor, el cual se instala fuera de la corriente de los gases en una silleta solidaria de la carcasa del ventilador. En este caso la transmisión entre motor y hélice se efectúa con poleas acanaladas y correas trapeciales. Las paletas de los rodetes de los ventiladores axiales varían en cuanto a su número, forma, ajustabilidad, ángulo con respecto al eje de giro, material y forma de construcción, así como de la relación entre el diámetro del cubo y del rodete.

Los rodetes de los ventiladores de hélice figura No. 7.1a están centrados con un anillo o aro que rodea su periferia. La forma de este aro es muy importante, toda vez que su misión es evitar que retroceda el aire proyectado por el borde de las paletas, con la consiguiente disminución del rendimiento. En los ventiladores de hélice se emplean también paletas aerodinámicas, con ángulo de ataque variable y ajustable. Los ventiladores de hélice y de disco se emplean muchísimo para mover masas de aire venciendo pequeñas resistencias, como sucede en los aparatos de ventilación caseros, y para descargar aire en los espacios situados debajo de parrillas destinadas a quemar combustible sólido de gran tamaño.

Tanto los ventiladores tubo-axiales figure No. 7.1b, como los deflector-axiales figura No. 7.1c, tienen carcasas tubulares, paletas helicoidales montadas sobre grandes cubos, y pueden trabajar venciendo resistencias del orden de 22-25 cm. de agua. Los ventiladores tubo-axiales, no llevan paletas directrices de ninguna clase; en cambio los deflector-axiales tienen deflectores-guía fijos, emplazados en la corriente gaseosa, antes o después del rodete. Su misión consiste en dirigir el fluido gaseoso y reducir las pérdidas de energía ocasionadas por los torbellinos, aumentando, como consecuencia, el rendimiento del ventilador. La envolvente cilíndrica de estos tipos de ventiladores permite instalarlos formando parte de la red de canalizaciones a que están destinados. Esta disposición resulta muy ventajosa desde el punto de vista del espacio ocupado. Cualesquiera de estos ventiladores, cuando se instalan en la entrada de una canalización, pueden tener forma acampanada para disminuir los rozamientos y turbulencia del aire al entrar en ellos.

Otros tipos de ventiladores de flujo-axial están construidos de manera que la posición de los deflectores-guía se varía desde el exterior mediante una palanca. Esta disposición permite variar el caudal del ventilador cuando su rodete gira a velocidad constante.

## 7.2 VENTILADORES CENTRIFUGOS.

El equipo impulsor del aire o gas, en las instalaciones de tiro forzado o inducido, puede estar constituido por ventiladores centrífugos de los tipos siguientes:

- 1).- De Disco,
- 2).- De Paletas o Alabes Múltiples.

Todos los ventiladores centrífugos, figura No. 7.1a, están constituidos por un rodete que gira dentro de una carcasa o envolvente, construida generalmente de plancha metálica. Dicha envolvente tiene la forma de espiral, la cual permite que el aire sea lanzado de la periferia del rodete con pérdidas reducidas y ligera turbulencia.

Los rodetes de los ventiladores centrífugos tienen sus álabes situados en o cerca del borde de aquél. El efecto producido por un rodete al girar surge de la tendencia del gas, adyacente a las caras anteriores de las paletas, a desplazarse radialmente hacia afuera como consecuencia de la fuerza centrífuga, siendo lanzado desde los bordes de las paletas hacia la envolvente. Como resultado de este movimiento se origina una presión inferior a la atmosférica en el centro del rodete, y otra presión positiva en la envolvente que le rodea. Para reemplazar el descargado por el ventilador, el aire o gas fluye axialmente hacia dentro del rodete. De lo dicho se deduce que los ventiladores centrífugos pueden emplearse no solamente como aspiradores de aire o gases de canalizaciones conectadas a su boca de aspiración u "oido", sino que también pueden utili-

zarse para descargar el mismo aire o gases, a presiones de varios centímetros (6 pulgadas) de columna de agua, en canalizaciones unidas a su boca de salida o de descarga.

### 7.3 NOMENCLATURA DE LOS VENTILADORES.

Los ventiladores con rodete de disco y los de paletas múltiples se clasifican según:

- 1.- El número de bocas o entradas, en simples y dobles;
- 2.- La anchura del rodete, en simples y dobles;
- 3.- La boca de salida, en alta, baja, vertical, horizontal y angular;
- 4.- La carcasa o envolvente, en completa, siete octavos y tres cuartos; y
- 5.- El sentido de giro, a la derecha y a la izquierda, - visto desde la cara del accionamiento.

Un ventilador de envolvente completa es aquel en que la espiral del ventilador se halla totalmente encima de la base - sobre la cual descansa el ventilador. Los ventiladores con envolvente  $7/8$  y  $3/4$ , tienen su espiral extendiéndose por debajo de la parte alta de la base soporte. En los del tipo  $3/4$ , la espiral se extiende más por debajo de la línea de base que en los del tipo  $7/8$ .



#### 7.4 PRESIONES DE UN VENTILADOR.

Al funcionar los ventiladores desarrollan una "presión total", la cual está compuesta de dos sumandos, a saber, "presión dinámica" y "presión estática". En determinadas condiciones de funcionamiento una de estas dos componentes puede ser igual a cero, pero nunca las dos simultáneamente pueden ser nulas si el ventilador está funcionando. La "presión dinámica" se utiliza para crear y mantener la velocidad del aire o gas. La "presión estática" es la presión compresiva existente en el seno del fluido y sirve para vencer los rozamientos y otras resistencias ofrecidas al paso del aire o gas. Las presiones estática, dinámica y total están relacionadas entre sí. Por ejemplo, si el gas trasegado experimenta un aumento de velocidad en un punto de la canalización, parte de la presión estática disponible en dicho punto se transforma en la presión dinámica adicional requerida. Análogamente, si la velocidad se reduce en un determinado punto, parte de la presión dinámica en dicho punto se convierte en presión estática.

Los ventiladores que desarrollan una gran presión estática con relación a su presión total poseen mayor aptitud para vencer la resistencia ofrecida a la corriente de aire o gas, por los rozamientos de la canalización. Los ventiladores crean presiones más grandes que la atmosférica en el conducto unido a su boca de salida o de descarga, y generalmente más pequeñas que la atmosférica en los conectados a su oído o boca de aspiración. Esta particularidad es preciso tenerla en cuenta al -

hacer mediciones en las canalizaciones de entrada y salida.

La presión estática reinante en el interior de una canalización, puede medirse conectando un manómetro o un aparato medidor del tiro, de suficiente capacidad o tubuladuras, colocado en ángulo recto con el eje de la canalización; estas tubuladuras deben interconectarse exteriormente por medio de un anillo tubular denominado piezómetro. Debido a la turbulencia de la corriente de aire en el interior de la canalización el anillo-piezómetro permite obtener resultados más verdaderos que con una sola tubuladura. La presión dinámica se determina midiendo la presión total y restándole la presión estática, bien sea numéricamente o uniendo convencionalmente las tubuladuras correspondientes a las presiones total y estática.

## 7.5 EL VENTILADOR DE LA SUBESTACION DE RECTIFICACION.

El ventilador de una Subestación de Rectificación del Sistema de Transporte Colectivo (Metro), es del Tipo "Centrifugo" y descarga como se menciona en la sección 2.1.5, 11 m<sup>3</sup> de aire por segundo por su boca de salida, cuya superficie es de 1.172 m<sup>2</sup> y mantiene una presión estática de 12.7 cm. de agua. La temperatura del aire es de 21.1 °C, y la presión barométrica es de 760 mm. de mercurio.

Es de entrada simple, el rodete del ventilador es de plancha de acero, la boca de salida es horizontal baja y la carcasa o envolvente es de tres cuartos.

Suministra enfriamiento al transformador Principal y al Grupo Rectificador por medio de una canalización subterránea de sección rectangular, con las siguientes características:

Velocidad:

$$v = \frac{Q}{A}$$

donde:

Q = Caudal descargado, m<sup>3</sup>/seg.

A = Area de la sección de la canalización.

$$v = \frac{11 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.172 \text{ m}^2} = 9.4 \text{ m/seg}$$

Presión dinámica:

$$P_d = \frac{100 v^2 d}{2 g D}$$

donde:

d = Densidad del aire en la canalización,

$$= 1.205 \text{ Kg/m}^3$$

$g$  = Aceleración de la gravedad

$$= 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$D$  = Peso en Kg de  $1 \text{ m}^3$  de agua a la temperatura del aire = 999.29

$$P_d = \frac{(100)(9.4\text{m/seg})^2(1.205\text{Kg/m}^3)}{2(9.81\text{m/seg}^2)(999.29)}$$

$$P_d = 0.54 \text{ cm. de agua}$$

Presión total:

$$P_t = P_e + P_d$$

donde:

$P_e$  = Presión estática

$$P_t = 12.7 \text{ cm. de agua} + 0.54 \text{ cm. de agua}$$

$$P_t = 13.24 \text{ cm. de agua}$$

Potencia desarrollada:

$$\text{HP} = \frac{Q \times P_t \times D}{100 \times 4560}$$

donde:

HP = Potencia desarrollada en función de la diferencia de presión creada por el ventilador

$$\text{HP} = \frac{(660\text{m}^3/\text{min})(13.24\text{cm. de agua})(999.29)}{(100)(4560)}$$

$$\text{HP} = 19$$

El Diámetro del rodete es de 91 cm., el perimetro del rodete de 2.86 m. y gira a 1800 r.p.m (revoluciones por minuto), la potencia máxima al freno es igual a 2.35 por las revoluciones por minuto entre 500 al cubo, esto es:

$$P_f = 2.35 (r.p.m./500)^3$$

donde:  $P_f$  = Potencia al freno

r.p.m. = Revoluciones por minuto

$$P_f = 2.35 (1800r.p.m./500)^3$$

$$P_f = 109.6$$

El rodete del ventilador es accionado por un motor de dos velocidades, con el cual se obtiene un funcionamiento satisfactorio y control de la capacidad y presión óptimos.

**C A P I T U L O 8**  
**CIRCUITO SECCIONADOR EN C.D.**

Una vez que la corriente alterna ha sido rectificada o transformada en corriente directa, tenemos que distribuirla de tal forma que alimente adecuadamente la carga en cuestion.

Para que se realice una distribucion correcta, se debe contar con los dispositivos de "control y proteccion" necesarios que tengan la capacidad adecuada para interrumpir el circuito bajo cualquier condicion anormal, de modo que de proteccion al personal, al sistema electrico y a los equipos, ademas de proporcionar Flexibilidad y Confiabilidad en su operacion.

La Subestacion de Rectificacion (del S.T.C. Metro) aqui analizada, cuenta para la distribucion de la energía, con un interruptor general denominado Disyuntor Ultra Rápido (D.U.R. apartado 2.1.4c), que protege al rectificador de sobrecargas o cortocircuitos que se presentan en la línea (barras guías), y un seccionador de 5000 Amperes, los cuales alimentan al Circuito Seccionador en C.D.

El Circuito Seccionador de C.D., esta básicamente formado por un interruptor alimentador de C.D., llamado Contactor de Seccionamiento (C.S.) que distribuye la energía a las barras guías del sistema.

A continuacion se describe el Control y la Proteccion realizadas por el Contactor de Seccionamiento así como su operacion.

## 8.1 CONTROL Y PROTECCION EN EL EQUIPO DE TRACCION DE 750 V.C.D.

Las características técnicas de un Contactor de Seccionamiento (C.S.) son:

Tensión Normal	1 000 volts.
Corriente Nominal	4 000 amperes.

Condición de Apertura del Contactor de Seccionamiento - (C.S.).

Existe un conmutador de mando en el Tablero de Control - Optico (T.C.O.) del Puesto de Control Central (P.C.C.), que - confirma la apertura del C.S., éste abrirá automáticamente en el momento de existir ausencia de tensión en una de las zonas adyacentes.

Condición de Cierre del Contactor de Seccionamiento (C.S.)

El cierre del C.S., se logra a condición de que en el -- T.C.C. del P.C.C., se coloque en posición cerrado el conmutador y que exista presencia de tensión en las zonas adyacentes. Sin embargo, también es posible su cierre a través del "Mando Forzado", a condición de que una de las zonas adyacentes esté energizada, para lo cual es necesario oprimir durante 10 segundos dicho conmutador.

Causas que provocan la apertura del C.S.

- I. Ausencia de Tensión en cualquiera de las zonas adyacentes de 750 V.C.D.



II. Operación del Circuito Corte de Urgencia de Alimentación de Tracción (C.U.A.T.).

III. Incidente en Líneas.

IV. Falta de Alimentación de 220 V c.a.

Adicionalmente el Equipo de Tracción, posee otros interruptores de protección y control, pero que sólo se mencionarán por no estar incluidos dentro de la Subestación de Rectificación, y son los siguientes:

El P.C.C., dispone de una señal optica, por cada Contactor Tramo de Protección (C.T.P.), que opera de la siguiente manera:

- I. Cuando el P.C.C. telemanda el cierre del C.S. y cerrar también los C.T.P., las lámparas indicadoras permanecen apagadas.
- II. Cuando el P.C.C. telemanda la apertura del C.S. y cerrar también los C.T.P., las lámparas indicadoras permanecen encendidas.
- III. Cuando el P.C.C. telemanda el cierre o apertura del C.S. y uno de los dos C.T.P., no efectúan la operación respectiva, la(s) lámpara(s) indicadora(s) funciona(n) en forma intermitente indicando de esta manera que existe discordancia entre la posición real del equipo y la que debe tener de acuerdo a la ordenada.

Características del Contactador Tramo de Protección (C.T.P.)

I. Corriente Nominal 800 Amperes.

II. Tensión Nominal 1 000 V.C.D.

Control del Seccionador de Aislamiento Telemandado ----  
(S.I.T.) desde el Puesto Central de Control (P.C.C.).

El P.C.C. dispone de un conmutador luminoso el cual telemanda el cierre o la apertura del S.I.T., asimismo, la señal óptica del conmutador se utiliza para tener una indicación de la posición del equipo. En principio esta señal luminosa funciona de la siguiente manera:

- I. Cuando el Regulador telemanda el cierre del S.I.T. y éste efectúa la operación correcta, la señal luminosa permanece apagada.
- II. Cuando el Regulador telemanda la apertura del S.I.T. y éste efectúa la operación correcta, la señal luminosa permanece encendida.
- III. Cuando el Regulador telemanda la apertura o el cierre del S.I.T. y éste por alguna anomalía no efectúa la orden dada, la señal luminosa permanece en forma intermitente.

Características del Seccionador de Alimentación Telemandado (S.I.T.).

I. Corriente Nominal: 4 000 Amperes. Líneas 1, 2 y 3  
6 000 Amperes. Líneas 4, 5 y 6

II. Tensión Nominal: 1 000 V.C.D.

Operación del Seccionador de Aislamiento Telemandado ---  
(S.I.T.).

Para la operación del cierre o de la apertura del S.I.T.  
se dispone de tres posibilidades.

- I. Por mando a distancia desde el Tablero de Control  
Óptico (T.C.O.) del Puesto de Despacho de Carga -  
(P.D.C.).
- II. Por mando local eléctrico, por personal de baja -  
tensión.
- III. Por mando local manual, por el personal de baja -  
tensión.

Condiciones de Operación del Seccionador de Aislamiento  
Telemandado (S.I.T.).

- I. Cierre. El cierre debe efectuarse sin carga por  
mando a distancia o por mando local eléctrico. -  
Únicamente se puede operar por mando manual, --  
cuando el seccionador no se encuentre con ten---  
sión (750 V.C.D.); un circuito eléctrico de segu  
ridad evita la apertura de la puerta de acceso -  
al gabinete donde se encuentra este mando.
- II. Apertura. La apertura se puede efectuar por man  
do a distancia, mando local eléctrico y mando lo

cal manual, siempre y cuando no esté con tensión el equipo. Esto es debido a que su apertura es muy lenta y se dañaría el equipo si se efectuara esta operación con tensión o con carga. Para -- asegurar esta condición, en su operación se dispone de un sistema eléctrico de seguridad que no permite su apertura.

#### Características del Contactador de Terminal (C.T.).

- I. Corriente Nominal 3 000 Amperes.
- II. Tensión Nominal 1 000 V.C.D.

#### Características del Interruptor de Vía de Enlace (I.V.E.)

- I. Corriente Nominal 3 000 Amperes.
- II. Tensión Nominal 1 000 V.C.D.

El Interruptor de Vía de Enlace (I.V.E.), dispone de una protección magnética que detecta sobrecorriente, que se puede calibrar de acuerdo a las necesidades (3400 a 9000 Amperes.).

#### Características del Interruptor de Vía de Enlace a Talleres (I.V.E.T.).

- I. Corriente Nominal 4 000 Amperes.
- II. Tensión Nominal 1 000 V.C.D.

El Interruptor de Vía de Enlace a Talleres (I.V.E.T.), - dispone de una protección magnética que detecta sobrecorrien-

te y que se puede calibrar de acuerdo a las necesidades (4500 a 12000 Amperes.).

Características del Interruptor de Vías Secundarias ---  
(I.V.S.).

- I. Corriente Nominal 3 000 Amperes.
- II. Tensión Nominal 1 000 V.C.D.

El Interruptor de Vías Secundarias (I.V.S.), dispone de una protección magnética que detecta sobrecorriente y que se puede calibrar de acuerdo a las necesidades (3400 a 9000 -- Amp.).

Características de los seccionadores Manuales.

- I. Existen Seccionadores con las siguientes capacidades.
  - a). De 1,500 amperes
  - b). De 2,500 amperes
  - c). De 4,000 amperes
  - d). De 5,000 amperes
  - e). De 8,000 amperes

## 8.2 FUNCIONES DE RELEVO PARA PROTECCION DEL EQUIPO DE TRACCION DE 750 V.C.D.

Nuestro estudio se limita a lo ilustrado en las figuras 2.1 y 4.1, esto es, hasta el circuito seccionador en c.d., -- por lo que en este apartado sólo analizaremos la operación -- del contactor de seccionamiento.

Como acabamos de ver en el apartado anterior, el Contactor de Seccionamiento opera por las siguientes razones:

1. Ausencia de tensión de 750 V c.d. en cualquiera de las zonas adyacentes.
2. Operación del circuito de Corte de Urgencia de Alimentación de Tracción (C.U.A.T.).
3. Incidente en Líneas.
4. Falta de alimentación de 220 V c.e.

Cuando se detecta la falta de voltaje en una de las zonas adyacentes, el contacto de alimentación de c.d. respectivo es accionado, disparando el contactor auxiliar de c.d. -- 54X, sacando de operación el D.U.R. 54, a su vez se acciona el contactor 52X del interruptor Ultra Rápido, como se observa en la figura No. 8.1, accionando el contactor respectivo de la lámpara verde SLPl (posición abierto).

DETECCION DE AUSENCIA DE TENSION DE  
750 V.C.D. EN UNA ZONA ADYACENTE

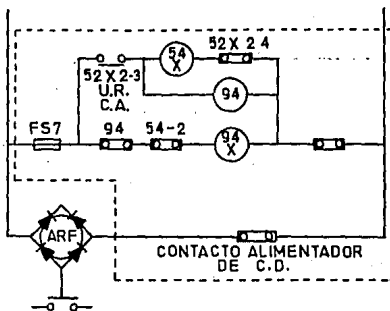


FIGURA No. 8.1

CIRCUITO DE CORTE DE URGENCIA DE LA  
ALIMENTACION DE TRACCION (C.U.A.T.)

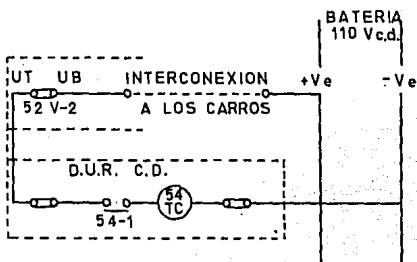


FIGURA No. 8.2

La operación del Corte de Urgencia de Alimentación de -- Tracción es manual, en cada uno de los carros del convoy, --- existen balanzas con interconexión a las barras guías, que al momento de ser accionada cualquiera de ellas, accionan contactores auxiliares del Disyuntor Ultra Rápido 54-1 y 54TC, quitando el suministro de energía. En el Tablero de Control Optico del P.C.C., existe una lámpara indicadora de la zona en -- donde ha ocurrido el corte, observe la figura No. 8.2.

Incidente en líneas, abarca sobrecargas en las barras -- guías, cortocircuitos en la alimentación de tramos de vías -- protegidos por el Contactor Tramo de Protección (C.P.T.), y - cualquier accidente no previsto que pudiera ocurrir en las barras guías.

La presencia de alimentación de 220 V c.a., es detectada por un relevador estático denominado comparador puente rectificador ó comparador de "amplitud" (vea la figura No. 8.3), - el cual al percibirse de la falla, acciona primero el switch de tiempo y luego los contactores "NV2 C.A." y "NV1 C.A.", -- que energizan el relevador de control auxiliar CR, abriendo - CR-1 y CR-2, conectados directamente al Switch Selector de -- Control del interruptor Ultra Rápido CSS4, sacándolo de operación (CSS1), observe la figura No. 8.3.





C A P I T U L O 9

"COSTOS ADMINISTRATIVOS"

Antes de iniciar el tema de los costos, hemos de recordar lo siguiente:

Una "Empresa" esta caracterizada por dos fines fundamentales y que son a saber:

- Un fin "industrial" y conseguir un beneficio máximo.
- Un fin "social", para prestar un servicio económico en las mejores condiciones.

La empresa ha de ofrecer un servicio o producto, pero para obtenerlo necesita:

- a) Bienes de utilización y de consumo, que pueden proceder de aportaciones de sus dueños (capitales propios) o de prestaciones externas. Su suministro, por utilizar un término vulgar, es un problema a la vez de financiación y de organización técnica.
  - ha de existir "que adquirir"
  - ha de haber "con que pagar"
- b) Necesita aplicar unas ideas y unos procedimientos.
- c) Ha de emplear un trabajo y una energía.
- d) Ha de subordinar estos elementos a una dirección ejecutiva.

Todos estos elementos a través de un proceso interno y particular de cada explotación económica, dan lugar a la producción.

Es por esto que el consumo de los valores económicos determinan el costo de un producto.

Desde un punto de vista estrictamente económico, el costo puede admitirse como:

- a) La suma de bienes y servicios que deben usarse para llevar a cabo determinado acto productivo.
- b) El consumo, "valorado en dinero", de bienes y servicios utilizados para la producción y que constituyen el objetivo de la empresa.

De acuerdo con el concepto primero, la idea de costo de un producto surge de considerar en su propia esencia los valores económicos (bienes y servicios) sacrificados, como por ejemplo; kilos de algodón necesarios para fabricar unas piezas de tela; horas de trabajo de unas máquinas; horas de trabajo de unos obreros de tal o cual categoría, etc., sin que, por su propia heterogeneidad, podamos concretar en una sola cifra el costo de un producto dado.

El conocimiento de este primer concepto de costo es necesario para pasar al segundo, el cual es propiamente contable, con el que buscamos dar una homogeneidad a las distintas presencias que concurren en la obtención de un producto mediante su valoración en dinero.

El "costo contable" estará motivado por dos variables:

1. Consumos Técnicos y,
2. Valor Monetario de tales consumos.

El control contable que habremos de establecer en este capítulo, tendrá solamente en cuenta, la primera de las dos variables antes mencionadas.

Antes de seguir adelante, conviene hacer la siguiente aclaración. La mayor parte de este capítulo, estará dedicada a los "costos de manufactura", por considerar que ha sido precisamente en la industria en donde mayor desarrollo han tenido. Ha sido en el sector manufacturero en donde se han obtenido las principales experiencias, y gracias a ello ha sido posible que esta importante rama de la contabilidad se haya extendido a otros campos, incluso en todo tipo de organización de las denominadas de no fabricación, tales como entidades municipales, departamentales y nacionales, bancos, hospitales, seguros, universidades, etc.

En relación con los "costos de servicios", por ser ésta un área bastante especializada y nuestro análisis de la Subestación de Rectificación caer dentro de esta área, por ser parte del Sistema de Transporte Colectivo (Metro), el cual presta un servicio, solamente se dirá que con los fundamentos que se obtengan en el estudio de los costos de "manufactura" (producción), se dispondrá del material necesario para adelantar cualquier estudio de esta naturaleza.

Volviendo a los dos conceptos inicialmente señalados de costo: sacrificio que hay que realizar y consumo valorado, podemos establecer además otra diferenciación que nos será luego de gran importancia.

Tendremos pues, los siguientes aspectos:

1. La medición de consumos en unidades técnicas.
2. La valoración de tales consumos.
3. La previsión de consumos necesarios para poder obtener un producto.
4. La financiación de tales previsiones.

Los dos primeros aspectos constituyen el objeto del cálculo de costos en sentido estricto, y el primero en particular como ya lo mencionamos objetivo principal de nuestro estudio; los dos últimos, llevados a su más depurado análisis, -- constituyen la programación industrial y económica de una empresa. En su grado menos evolucionado da lugar a los costos presupuestados en sus varias modalidades, pero debido a que este no es un tratado de economía, queda fuera del alcance de este estudio.

## 9.1 CONTABILIDAD DE COSTOS DE MANUFACTURA.

Puede definirse la contabilidad de costos de manufactura, como todo sistema o procedimiento contable que tiene por objeto conocer, en la forma más exacta posible, lo que cuesta producir un artículo cualquiera.

Una definición más concreta podría ser la siguiente:

Es un sistema que utiliza la contabilidad financiera para registrar y luego interpretar, de la manera más correcta posible, los "costos por materiales directos", "mano de obra directa" y "gastos generales de manufactura", que son necesarios para elaborar un producto.

Los costos de manufactura, como su nombre lo indica, son propios de las "industrias manufactureras", o sea de aquellas empresas que convierten la materia prima, con la ayuda de los trabajadores y de las máquinas, en productos terminados.

En el costo de un artículo, en un proceso de manufactura de una parte específica del producto, se aprecian los siguientes tres elementos:

1. Costo del Material Directo.
2. Costo de la mano de Obra Directa.
3. Gastos Generales de Manufactura.

Los tres elementos antes mencionados, son los factores fundamentales para determinar el costo de producción y la parte principal de nuestro estudio.

La suma de los costos por concepto de mano de obra directa y gastos generales de manufactura, es conocida con el nombre de "costos de conversión", o sea los necesarios para convertir los materiales en partes específicas del producto, de un departamento de producción a otro, hasta llegar al producto final.

La idea anterior también puede expresarse diciendo que - el costo de producción de un artículo está formado por:

- 1) Cargos Directos, y
- 2) Cargos Indirectos.

Los primeros son aquellos que, como su nombre lo indica, integran directamente el costo del artículo, mientras que los segundos, indirectamente contribuyen a su formación.

Un análisis un tanto más profundo de los elementos del - costo de producción (Material Directo, Mano de Obra y Gastos Generales de Manufactura), es realizado en los apartados 9.2, 9.3 y 9.4 de este capítulo, y tratados en función del tema -- principal de este trabajo (la Subestación de Rectificación) - lo mejor posible.



### 9.1.1 SISTEMAS DE CONTABILIDAD DE COSTOS.

Los sistemas de contabilidad de costos se pueden clasificar de la siguiente manera:

(1) Sistemas de Costos Históricos.

(2) Sistemas de Costos Estándar.

Un sistema de costos que registra y resume dichos costos a medida que éstos se originan, y que a su vez determina los costos totales solamente después de que se han realizado las operaciones de fabricación o se han prestado los servicios, se dice que es un sistema de "costos reales o históricos". Los sistemas de costos históricos acumulan los costos por órdenes o por procesos, una vez que los costos se han incurrido, y por consiguiente, sólo pueden computarse al final de un periodo de costos.

Los sistemas de costos estándar, por el contrario, incorporan los costos presupuestados a la contabilidad y continuamente comparan los costos reales contra los costos presupuestados. Los costos estándar se pueden definir como aquellos costos que se planean por la administración para obtener un nivel de operaciones rentables. En un sistema de costos estándar se calculan una serie de variaciones o diferencias entre los costos reales y los costos estándar, procediéndose a un análisis de dichas variaciones y a su contabilización.

## ESQUEMA DE LOS SISTEMAS CONTABLES DE COSTOS DE PRODUCCION

De acuerdo con la forma de Producción de la Industria.

### ORDENES

Producción de artículos específicos. Son localizables y cuantificables la materia prima y la mano de obra directa.

### PROCESOS

Producción continua y en masa, medida en kilos, metros, litros, cajas, etc. Se obtiene el costo unitario a base de promedios de costos incurridos en un periodo determinado.

### COMBINADOS

Ciertos departamentos producen en masa y otros producen unidades específicas.

Orden precisa para la producción del artículo o de partes y ensamble. Ej. Inds. de Calzado, Artes Graficas, Juguetería, Automotriz.

CLASES: Orden que agrupa productos similares en cuanto a su forma de fabricarse, presentación y costo. Ej. Ind. Farmaceutica y Fcas. de Focos, etc.

CONTINUOS: Producción en masa en un proceso. Ej. Cemento, Azúcar, Panificadora, Pinturas, Vidrios, etc.

Por departamentos u operaciones. El producto se obtiene a través de varios procesos, acumulando el costo del proceso anterior en el siguiente, hasta llegar al último proceso. Ej. Hilados y Tejidos, Cerámica, Ind. Dulcera, Cigarrera, etc. En el caso de operaciones, el costo de cada una, se conjunta al final de la producción. Ej. Fca. de Clavos, Tornillos, etc.

Ordenes y Procesos.  
Ej. Industria Hulera.

Por cuanto al tiempo en que se obtiene.

### COSTOS HISTORICOS

### COSTOS PREDETERMINADOS

Estimados

Estándar

Los jefes de departamentos y demás administradores en las grandes organizaciones frecuentemente se confunden por el excesivo detalle y por la falta de estructuración de las cifras generadas por un sistema de costos históricos. Debido a la cuantía del trabajo que se requiere y a los gastos que éste entraña, han sido muchas las críticas en los últimos años en contra de los sistemas de costos sobre la base del costo real. Derivado de lo anterior, surge la necesidad de costos estándar.

El sistema de costos usado en este capítulo, es el de costos históricos, ya que utilizar un estudio de costos estándar involucra el análisis de un mayor número de elementos para la determinación del costo de un producto, los cuales no son de interés debido a que el enfoque que se pretende dar a los siguientes apartados es puramente teórico, donde todo se trata a "precios actuales" porque como los equipos usados en el proceso de Rectificación de la Subestación son de importación, se tendría que manejar adicionalmente los conceptos de "Inflación" y "Devaluación", que son demasiado extensos para ser incluidos en este tratado.

## 9.2 MATERIAL DIRECTO.

El primer elemento de costo de todo artículo producido, lo constituye el material directamente utilizado en su transformación. El costo de este material comprenderá su importe - más todos los gastos necesarios para llevar dicho material a los almacenes de la fábrica, como son los fletes, acarreos, - derechos de importación, cambios, corretajes, etc.

El Material Directo admite tres divisiones: la "materia prima", es aquella sujeta al proceso de transformación con el fin de obtener un producto manufacturado, como por ejemplo, - el algodón en la industria textil, el hierro en la industria pesada, y en nuestro caso particular, la energía eléctrica -- (corriente alterna) en la Subestación de Rectificación del -- Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C. Metro). La segunda división, la constituyen las "partes compradas", las cuales no sufren cambio alguno al obtener el producto, sino simplemente se agregan a éste. En muchas ocasiones no es posible manufacturarlas debido a su patente o bien porque el costo de producción sería más elevado si se quisieran manufacturar dentro de la misma fábrica; ejemplo, en la industria de perfumes, los - envases y las etiquetas no sufren transformación alguna y se compran en otras empresas.

En el caso que estamos estudiando, puede considerarse -- que no existen estos costos, por ser la conversión de corriente alterna en corriente continua un proceso limpio, llámese - proceso limpio, el caso en el que la materia prima no sufre - un cambio sustancial en su estructura.

La tercera clasificación se refiere a los "accesorios de producción", los cuales comprenden materiales esenciales para la manufactura, como por ejemplo, en la industria mueblera -- los clavos, los tornillos y la cola; estos accesorios van directamente a formar parte del producto manufacturado, pero no deben confundirse con los Accesorios Generales de Producción, constituidos por el aceite, la grasa, los cepillos, los cuales prestan un servicio general a la fábrica y deben considerarse dentro de la partida Gastos de Producción. En resumen, el Material Directo es la parte sustantiva del producto manufacturado, y el Material Indirecto, es todo aquel de naturaleza consuntiva para el buen funcionamiento de la fábrica.

### 9.3 MANO DE OBRA.

El pago de los trabajadores y demás personas que laboran en una empresa constituye la mano de obra, cuya incidencia sobre la producción, ya sea directa o indirecta, es notoria desde todo punto de vista. Gracias a la mano de obra, en su acción sobre equipos y máquinas, los materiales se convierten en partes específicas o en productos terminados.

A diferencia de los materiales, la mano de obra no queda representada finalmente en el producto, y de ahí que por lo tanto, su naturaleza sea muy diferente; es, en realidad, un servicio integrado por numerosos factores, la mayoría de ellos humanos, que deben ser analizados en todos sus aspectos si se quiere obtener resultados óptimos.

El pago de la mano de obra ha constituido desde hace siglos, uno de los problemas más delicados, y bien sea se efectúe a través de un Departamento de Personal, o de una sección de nómina o de pagos, según la envergadura de la empresa, el hecho es que existen innumerables formas de remunerar a los trabajadores y demás personas que laboran en toda clase de organizaciones.

### 9.3.1 MANO DE OBRA DIRECTA E INDIRECTA.

Se especifica como "mano de obra directa" a la remuneración que se da a los trabajadores que intervienen directamente en la elaboración del producto, es decir, el pago que se da a los obreros que trabajan en los diferentes departamentos de producción. Debe quedar bien claro, que se hace referencia a la mano de obra directa en la fábrica o planta, por que en el estudio de los costos de mercadeo (de distribución y ventas) también habrá discriminación entre la mano de obra directa e indirecta, aunque de una naturaleza diferente de la que surge de manufactura.

El costo de los salarios de los obreros de producción y sus correspondientes prestaciones sociales, constituye el segundo elemento del costo..

Con respecto a la mano de obra indirecta, en la fábrica, puede decirse que es el salario que se paga a trabajadores y empleados que ayudan de alguna manera a la elaboración del producto, aunque no en forma directa. Sobre el particular existen muchos puntos de vista en cuanto a la determinación de los salarios que son mano de obra indirecta, y el criterio de la gerencia, o de los altos ejecutivos de una empresa, -- priva en estos casos.

En el caso presente se consideran como mano de obra indirecta, los salarios de los trabajadores de mantenimiento y reparación, almacenistas, barrenderos, celadores, etc., así como las prestaciones sociales de los mismos.

Por ejemplo, si por alguna circunstancia uno de estos obreros es utilizado durante una o dos horas para barrer los pisos de la planta o a realizar una labor de mantenimiento de las máquinas, los salarios que le correspondan por tal concepto (los mismos que recibiría si estuviera laborando sobre la conversión de la corriente eléctrica) se considerarán como un costo indirecto y se contabilizarán (como se ve más adelante) junto con los demás costos indirectos como un gasto general de manufactura.



#### 9.4 GASTOS GENERALES DE MANUFACTURA.

Se define como gastos generales de manufactura, también conocidos con los nombres de "costos indirectos", "gastos generales de producción o de fabricación", "carga fabril", y -- más apropiadamente como "costo de los gastos generales de fabricación", a todos aquellos costos que se presentan en una, empresa, necesarios para la buena marcha de la producción, pero que de ninguna manera se identifican con el producto que se está elaborando. De manera que todos aquellos costos que no son materiales directos y mano de obra directa, ni gastos de administración y de ventas, son gastos generales de producción y constituyen el tercer elemento de costo.

A través de todo este apartado, se utilizará el término "gastos generales de manufactura", en lugar de "costo de los gastos generales de fabricación", pero recordando muy bien -- que "costo" es todo "gasto" que tenga que ver con el volumen de producción, y "gasto" será todo desembolso que tenga relación con el volumen de ventas.

Debe quedar bien claro que siempre que se hable de gastos generales de producción, o gastos generales de manufactura, o gastos generales de fabricación, se está hablando del tercer elemento de costo.

Una de las divisiones más generalizadas en cuanto a los gastos generales de manufactura es la siguiente:

1. Materiales Indirectos: hacen parte de los materiales indirectos los combustibles, los lubricantes, las he-

rramientas de poco valor y los suministros de fábricas como tornillos y pegamento.

2. Mano de Obra Indirecta: se catalogan dentro de este renglón los siguientes costos; salarios de empleados de oficina de administración de la fábrica, tomadores de tiempo, empleados de superintendencia, empleados de almacén y ayudantes, conductores, empleados de mantenimiento mecánico y eléctrico, salarios de capataces, etc.
  
3. Otros Costos Indirectos: dentro de este renglón figurarán los siguientes; depreciación de edificios y máquinas; impuestos; seguros; alquileres; servicios públicos (agua, luz, teléfono); repuestos de maquinaria; prestaciones sociales de los obreros de producción in directa; costo de fletes en compra de materiales; conservación de edificios, de maquinaria, de muebles y enseres, de equipo y automotores, etc.

En el caso que nos toca, el servicio público de luz, esta debidamente separado del suministro de energía eléctrica como materia prima en la Subestación de Rectificación.

#### 9.4.1 GASTOS GENERALES FIJOS, VARIABLES Y SEMIVARIABLES.

Los gastos generales de manufactura, así como cualquier gasto de administración y de ventas de una empresa, se clasifican en tres importantes renglones: fijos, variables y semi variables.

1. Gastos Generales Fijos: Son aquellos que permanecen constantes por un período relativamente corto, generalmente el ciclo contable de la empresa. Desde un punto de vista teórico, puede decirse que no existen costos fijos puesto que tarde o temprano todo cambia; sin embargo, se catalogan como fijos los siguientes:

Impuestos (diferentes del impuesto sobre la renta y complementarios).

Alquiler.

Seguros.

Depreciación (en línea recta).

Salarios de Superintendencia.

Salarios Fijos de Supervisión.

2. Gastos Generales Variables: Son aquellos que varían en forma proporcional al volumen de producción o de ventas, es decir, si estos aumentan en un 50 %, los gastos aumentarán en la misma proporción, y si por el contrario, la actividad disminuye en un 20 %, en el mismo porcentaje disminuirán los gastos.

Los más variables de todos los costos son sin duda alguna los materiales directos y la mano de obra di-

recta. Otros gastos variables son los siguientes:

Suministros.

Seguro de Accidentes.

Reparaciones.

Seguro Social (ISSSTE).

Fuerza, Calefacción, Energía.

3. Gastos Generales Semivariables: Dentro de esta denominación entran algunos gastos que no pueden catalogarse en forma definitiva como fijos o variables, -- puesto que aún dentro de un ciclo contable encierran elementos fijos y variables.

Pueden definirse los gastos generales semivariables (podría hablarse de ellos como gastos generales semi fijos), como aquellos que aumentan y disminuyen con los cambios de producción o de ventas, pero no en -- una forma proporcional al volumen de actividad, como era el caso de los gastos variables, ni permanecen -- fijos a cualquier nivel, como en el caso de los gastos fijos.

Como ejemplo tenemos, el consumo de energía eléctrica, los medios de comunicación, los gastos por teléfono, -- la mano de obra indirecta, la propaganda, etc., los -- cuales son gastos que pueden ser fijos durante un período específico aunque aumente o disminuya la producción.

C A P I T U L O 10

" EVALUACION "

Resultaría un trabajo demasiado extenso evaluar cada uno de los dispositivos que conforman la Subestación de Rectificación del Sistema de Transporte Colectivo aquí estudiada, ya - que involucra demasiados elementos, además de no ser uno de - nuestros objetivos.

Vamos a evaluar en este capítulo, únicamente los dos equi- pos primordiales en este proceso de rectificación de alta po- tencia, aunque los demás no dejan de ser menos importantes.

Estos equipos son el Transformador Principal y el Recti- ficador.

El Transformador Principal, porque aumenta el número de fases, convierte la alimentación trifásica en alta tensión en polifásica de baja tensión, lo cual permite que el proceso de rectificación sea más eficiente.

El Rectificador, por ser el dispositivo que convierte o transforma la corriente alterna (c.a.) en corriente directa - (c.d.), la que se utiliza para alimentar la carga, en este -- caso, alimenta a los motores de c.d. de los carros del tren.

## 10.1 USO DE LAS TRANSFORMACIONES POLIFASICAS EN LA CONVERSION DE POTENCIA.

Además de usarse en la transformación trifásica de la corriente alterna (c.a.) a altas tensiones para el transporte a larga distancia y en la subsiguiente transformación a tensiones más bajas para la distribución de energía eléctrica, los transformadores, también se usan para la conversión de corriente alterna en corriente directa (c.d.). Las transformaciones polifásicas de tres a seis, e incluso mayor número de fases, constituyen una etapa en el proceso de "Rectificación". Pueden citarse varias ventajas de la rectificación polifásica respecto a la monofásica, a saber:

- 1.- Menor contenido de rizado en la componente fundamental y en los armónicos de orden superior en la onda de salida, lo que requiere filtros de alisado menos complejos.
- 2.- Los transformadores se usan con más rendimiento ya que la relación entre potencia en c.d. y KVA del transformador es más elevada para la conversión polifásica.
- 3.- Al aumentar el número de fases aparece una relación entre tensiones de c.d. y de c.a., superior (media a eficaz).
- 4.- El rendimiento total del proceso de conversión aumenta. Esto es importante cuando deben convertirse grandes cantidades de potencia de c.a. en c.d.

Por consiguiente, es mucho mejor, para una compañía eléctrica, suministrar c.a. a un abonado industrial que requiera grandes cantidades de c.d., enviando energía por líneas de transporte trifásicas a alta tensión. Se usan entonces los transformadores para:

- 1). Proporcionar una tensión secundaria adecuada para la rectificación, y
- 2). Transformar la alimentación trifásica a hexafásica o con mayor número de fases para obtener las ventajas citadas anteriormente.

La tabla 10.1, muestra una comparación de los distintos factores que intervienen en la elección del número de fases que deben usarse para una rectificación óptima. La primera fila muestra la relación entre tensiones de salida en c.d. y tensiones de fase en c.a.,  $V_{c.d.}/V_{c.a.}$ .

Esta relación aumenta al aumentar el número de fases hasta un máximo teórico de 1.414. Representa, en efecto, una medida de la c.d. útil respecto a la componente de rizado de c.a. presente. Así resulta que si se usara una rectificación dodecafásica (o incluso de 24 fases), prácticamente se alcanza el valor teórico máximo, correspondiente a una diferencia menor del uno por ciento. Observese que para cualquier onda senoidal,  $E_{máx}$  es igual a 1.414 el voltaje de fase ( $E_{máx}=1.414 E_f$ ), en la que  $E_f$  es la tensión de fase eficaz del secundario del transformador, y este valor es el valor límite de c.d.



La segunda fila de la tabla 10.1, muestra la relación --  $E_h / V_{c.d.}$  (la amplitud del armónico principal a la tensión de salida de c.d. sin filtrar) al aumentar el número de fases.

Nuevamente al aumentar el número de fases, se reduce el contenido armónico, reduciéndose pues considerablemente el rizado de c.a. Este factor, también, tiende a aconsejar el uso de conversiones y rectificaciones utilizando transformadores polifásicos de gran número de fases.

La última fila de la tabla 10.1, es una relación entre - la potencia rectificada y la potencia aparente nominal, VA, - del arrollamiento del secundario del transformador. Esta relación se denomina a veces "factor de utilización". Un factor de utilización bajo significa un coste más elevado del transformador para la cantidad de potencia de c.d. producida. El - factor de utilización puede considerarse como máximo teóricamente para 2.7 fases. Así, resulta que la rectificación trifásica proporciona una conversión con mayor rendimiento en -- función del coste del transformador, a pesar de su elevado -- contenido de rizado y su baja relación entre tensión de c.d. y tensión eficaz de c.a.

La figura No. 10.1, muestra el uso de una conversión -- (delta-estrella), con primario de alta tensión y secundario - de baja tensión, usando rectificación de media onda y semiconductores. El primario es un triángulo para suprimir los armónicos. El neutro del secundario esta puesto a tierra por la misma razón. Para la mayoría de aplicaciones comerciales en

COMPARACIONES ENTRE SISTEMAS POLIFASICOS  
DE RECTIFICACION

NUMERO DE FASES $n$	1	3	6	12	$\infty$
	ONDA COMPLETA				
$\frac{V_{c.d.}}{V_f}$	0.9	1.17	1.35	1.4	1.414
$\frac{E_h}{V_{c.d.}}$	0.667	0.25	0.057	0.014	0
$\frac{P_{c.d.}}{VA}$	0.54	0.675	0.551	0.004	0

TABLA 10.1

RECTIFICACION TRIFASICA DE MEDIA ONDA

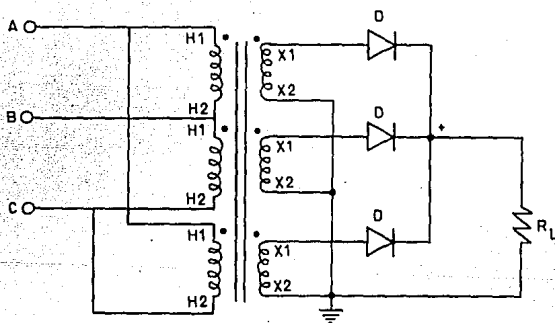


FIGURA No. 10.1

las que se manejan grandes potencias de c.d., el circuito de la figura No. 10.1 es muy poco satisfactorio, a pesar de su elevado factor de utilización del transformador. La corriente de c.d. tiene siempre el mismo sentido en cada devanado del secundario, lo que provoca una corriente de excitación excesivamente elevada debido a la magnetización que produce la c.d. en el núcleo de hierro. El efecto resultante es un sobrecalentamiento de los transformadores. Esto, junto con las desventajas de un contenido mayor de rizado y una relación menor entre la tensión de c.d. y la tensión eficaz de c.a., aconseja el uso de la rectificación hexafásica, a pesar de que el factor de utilización del transformador es algo inferior.

## 10.2 RECTIFICACION HEXAFASICA DE MEDIA ONDA USANDO DIODOS.

En la mayoría de las transformaciones trifásica a hexafásica se prefiere la conexión hexafásica en estrella debido a que proporciona un neutro (que puede ser puesto a tierra), -- así como un verdadero sistema hexafásico. Se usan un total de 6 rectificadores a semiconductores con una "tensión inversa de cresta" (PRV) y una corriente nominal adecuados para proporcionar una salida rectificada de media onda de la tensión hexafásica secundaria.

Cuando se realizó esta investigación, existían en el mercado "diodos rectificadores de silicio" de elevada intensidad, con valores nominales de hasta 500 A., con una PRV de hasta 1200 V. (G.E. tipo G290PB).

Si se desea regular la tensión de salida de c.d., se utilizan comunmente dos métodos en función del coste relativo y de la potencia. Puede usarse un "variac" trifásico en la entrada para variar la tensión de alimentación de los tres transformadores conectados en triángulo, cambiando así la tensión de fase de salida en el secundario  $E_f$  y la tensión de salida de c.d.  $V_{cd}$  en la figura No. 10.2. Otra solución, consiste en usar en lugar de los diodos  $D_1$  a  $D_6$ , rectificadores controlados de silicio (SCR), junto con un circuito desfasador para controlar la tensión de salida de c.d.

Análogamente a los diodos rectificadores de silicio, existen también "rectificadores controlados de silicio" de elevada intensidad, de 470 A., eficaces con una PRV de hasta ---

CONEXIONES PARA RECTIFICACION 3 A 6 $\phi$  DE MEDIA ONDA  
USANDO UNA ESTRELLA 6 $\phi$

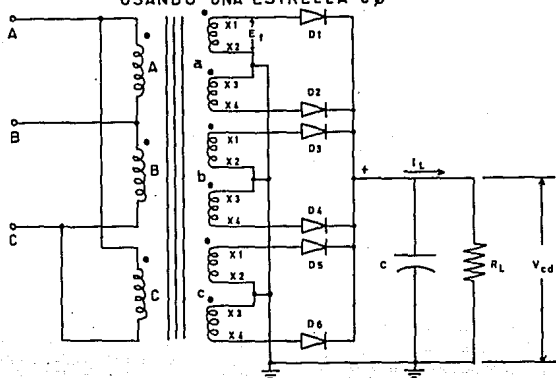


FIGURA No. 10.2

ONDA DE SALIDA EN BORNES DE  $R_L$  SIN CONDENSADOR  
DE FILTRO

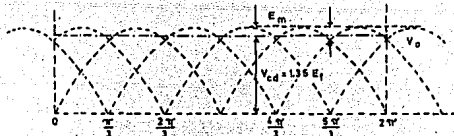


FIGURA No. 10.3

ONDA DE SALIDA EN BORNES DE  $R_L$  CON CONDENSADOR  
DE FILTRO

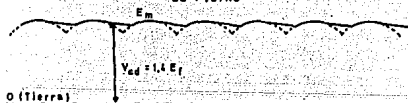


FIGURA No. 10.4

1200 V. (G.E. tipo A295PN).

La onda producida por los seis diodos puede verse en la figura No. 10.3, en ausencia del condensador de filtro "C" -- (mostrado en la figura No. 10.2). El efecto de la onda de sa lida al añadir un condensador de filtro puede verse en la figura No. 10.4.

Obsérvese que la onda de salida de la figura No. 10.3 -- contiene una componente de rizado relativamente pequeña, variando pues de  $E_m$  a  $E_x$ , siendo  $E_m = 1.414 E_f$ .

El valor medio de la c.d. rectificada para la onda de sa lida de la figura No. 10.3 es :

$$V_{c.d.} = 1.35 E_f$$

Puede demostrarse que para "n" fases (2 ó más) la siguien te relación se cumple:

$$\frac{V_{c.d.}}{E_f} = \frac{2n}{\pi} \left( \text{Sen } \frac{180^\circ}{n} \right)$$

Sustituyendo  $n=6$  en esta expresión se obtiene 1.35 como se ve en la tabla 10.1 y en la fórmula del valor medio anterior.

Como muestra la tabla 10.1, este valor de c.d. es algo superior al valor comparable obtenido con la rectificación -- trifásica ( $1.17 E_f$ ), pero con un contenido de rizado armónico considerablemente menor.

Se obtiene un rizado considerablemente menor y una relación de salida de tensión de c.d. superior, shuntando  $R_L$  con un condensador de tamaño y tensión nominal adecuados, como muestra la figura No. 10.4. En tales circunstancias, el condensador resulta más que justificado debido a que produce la misma relación entre  $V_{c.d.}$  y  $E_f$  que la que se obtendría con la rectificación dodecafásica (véase tabla 10.1) sin presentar la reducción del factor de utilización del transformador que aparece si se usa la conversión dodecafásica y sin necesidad de utilizar 6 rectificadores adicionales.

La ractificación de onda completa requiere 12 diodos, uno en cada lado de los 6 devanados del transformador que muestra la figura No. 10.2. Esto implica la posible pérdida del neutro en el caso de que se averíe un diodo del lado del neutro. Por tanto, las transformaciones de media onda dodecafásicas pueden resultar mejor que las transformaciones de onda completa hexafásicas que usan el mismo número de diodos (12) a pesar de ser algo menor el factor de utilización del transformador.

C A P I T U L O 11

" CONCLUSION "



El desarrollo tecnológico de la "electrónica" ha sido -- realmente notable, no sólo por el hecho de haber sustituido -- en un tiempo relativamente corto a los "Tubos Electrónicos" -- (mejor conocidos como "Bulbos"), por los dispositivos "Semi-- conductores", sino por extender la capacidad de los mismos a rangos de potencia que se creían inalcanzables, por lo que -- rápidamente los Bulbos fueron sustituidos de sus múltiples a-- plicaciones, como las de "Rectificación", "Control de Veloci-- dad de Motores", "Osciladores", etc., y así entrar de lleno -- los dispositivos semiconductores o de "Estado Sólido" en la -- Electrónica de Potencia.

La Subestación de Rectificación del Sistema de Transpor-- te Colectivo (Metro) de la Ciudad de México, la cuál es el te-- ma principal de este estudio, es sin lugar a dudas en la ac-- tualidad, uno de los Sistemas de Rectificación en Alta Poten-- cia de mayor eficiencia en nuestro país.

Los Rectificadores, que como se aprendió durante este -- tratado, son elementos que poseen la característica de dejar circular la corriente sólo en una dirección, nos ofrecen un -- sinnúmero de aplicaciones actualmente en la industria y un se-- guro desarrollo en la Electrónica de Potencia, ya que actual-- mente en México esta poco desarrollada esta rama de la elec-- trónica, en la que hay mucho por investigar para obtener un -- mayor provecho de uso de estos dispositivos semiconductores.

Debido a que el Sistema de Transporte Colectivo, es de -- importación (Manufactura "Franco-Alemana"), y a que el desa--

rrollo de la electrónica de potencia ha sido pobre, se sigue importando todo lo relacionado a la Subestación de Rectificación, aún a la fecha de elaboración de este trabajo.

En cuanto a los circuitos rectificadores, el circuito -- puente rectificador, es el más usado de los circuitos rectificadores de onda completa. Se le emplea generalmente en aquellos casos en que la tensión de salida deseada es aproximadamente igual a la tensión eficaz aplicada. El circuito de onda completa con terminal se emplea en aplicaciones de baja -- tensión y baja potencia, donde además se desea poco factor de rizado.

En el circuito rectificador trifásico de media onda, la eficiencia de conversión es alta comparada con la de los circuitos monofásicos y el factor de rizo se reduce a algo más -- de un tercio de la obtenida con el circuito monofásico de onda completa. Sin embargo, el factor de utilidad del transformador, es pobre comparado con el circuito puente rectificador trifásico de onda completa, y este circuito sólo se emplea -- cuando se requiere conversión de baja tensión.

El circuito rectificador trifásico puente, tiene el más alto factor de utilidad del transformador (es el utilizado -- por la Subestación de Rectificación), y por lo tanto requiere menor potencia alterna para obtener los valores deseados de -- tensión y corriente directa.

Se le emplea en los cargadores de baterías de alta ten--

sión, fuentes de alimentación industriales, operación de plantas electrolíticas de cualquier tensión (excepto valores muy bajos), en Sistemas de Transporte Eléctrico (como el Metro), y generalmente en todas aquellas aplicaciones en donde se necesita la conversión de alta potencia en forma eficiente y económica.

El circuito rectificador trifásico de media onda hexafásico, tiene el principal atractivo de que todos los rectificadores están conectados a un terminal común, y por lo tanto, pueden montarse con extrema simplicidad sobre un único disipador, pero debido al bajo factor de utilidad del secundario -- del secundario del transformador no se utiliza en la Subestación de Rectificación aquí analizada, este circuito se emplea únicamente para conversión de baja potencia.

El circuito rectificador de doble estrella con reactor interfásico, puede utilizarse en aquellos casos en donde el costo del reactor interfásico (en nuestro estudio denominado Bobina de Equilibrio), este compensado por el empleo de rectificadores (diodos) con regímenes de corriente relativamente bajos. Se le emplea frecuentemente en plantas electrolíticas de baja tensión y alta corriente. Los factores de utilidad del primario y del secundario del transformador son elevados, pero el del secundario es inferior en  $\sqrt{2}$  al del circuito puente trifásico.

Los tiristores son utilizados como rectificadores, ya sea monofásicos como trifásicos, con la diferencia de los an-

teriores de que esta rectificación es "Controlada", pudiéndose se obtener diferentes niveles de potencia en la carga.

Los tiristores o denominados comunmente "SCRs", también se utilizan en los circuitos llamados "Choppers", para obtener un control de velocidad más eficaz, sobre los motores de corriente directa, los cuales se están poniendo de moda, debido al auge de nuevos dispositivos semiconductores de alta potencia, como el DIAC y el TRIAC (Diodo de Alta Potencia en Corriente Alterna y Triodo de Alta Potencia también en Corriente Alterna, respectivamente), mencionados al principio de esta obra.

## A P E N D I C E "A"

### TELECOMUNICACIONES

Sistema de comunicaciones que comprende una red telefónica interna que enlaza todos los puntos de la línea, así como las oficinas, y Puesto Central de Control (P.C.C.), se cuenta también con un sistema de comunicación directa entre el P.C.C. y la línea, equipo auxiliar para la operación, que comprende los teléfonos de señales, además se tiene el sistema de telefonía entre el P.C.C. y los trenes que circulan en línea, dicha comunicación se realiza por zonas y por último el sistema de sincronización, sistema para la transmisión de mensajes -- desde P.C.C. o taquillas a las estaciones, así como para la difusión de música ambiental.

### E Q U I P O.

TELEFONOS AUTOMATICOS	{ P.C.C. Oficinas, Cabeceras, Anden Locales Técnicos, 2 Conmutadores con 1200 y 100 líneas con 22 líneas Troncales.
TELEFONOS DIRECTOS	{ De maniobra, de alarma, de llamada general, de Platina de los T.C.O. y Puesto de Maniobra.
RADIO Y TELEFONIA	{ Transceptores de tren, armarios de zona y dispositivos de Control.
SONORIZA- CION	{ Un amplificador por estación Un microfono y varias bocinas Distribuidas uniformemente.

## A P E N D I C E "B"

### ABREVIATURAS DE LAS INSTALACIONES FIJAS

C.A.	Corriente Alterna.
C.A.L.	Contactador de Alimentación a Línea.
C.A.T.	Contactador de Alimentación Tracción.
C.A.Z.	Contactador de Alimentación de Zona.
C.C..	Centro de Comunicaciones.
C.C.	Gambio de Cabina (Placa).
C.D.	Corriente Directa.
C.D.V.	Circuito de Vía.
C.F.E.	Comisión Federal de Electricidad.
C.G.T.	Contactador de Garage y Taller.
C.L.F.C.	Compañía de Luz y Fuerza del Centro.
C.P.P.	Contactador Plataforma de Pruebas.
C.S.	Contactador de Seccionamiento.
C.T.	Contactador de Terminal.
C.T.P.	Contactador Tramo de Protección.
C.T.R.	Contactador Talleres El Rosario.
C.U.A.T.	Corte de Urgencia Alimentación de Tracción.
C.U.F.S.	Corte de Urgencia Fuera de Servicio.
C.Z.	Contactador de Zona.
D.B.O.	Despacho Bajo Orden.
D.H.T.	Interruptor de Alta Tensión.
D.M.T.	Interruptor de Mediana Tensión.
D.O.	Destrucción Ordenada.
D.T.P.	Destrucción de Trazo Permanente.

D.U.	Destrucción de Urgencia.
D.U.R.	Disyuntor Ultra Rápido.
E.	Señal de Entrada.
E.P.	Señal de Entrada Permisible.
F.	Franqueable.
F.U.	Frenado de Urgencia.
I.	Señal (de Espaciamiento) Intermediaria.
I <sub>2</sub> .	Señal (de Espaciamiento) Intermediaria 2.
A.I <sub>2</sub> .	Señal Advertidor de la Intermediaria 2.
I.F.V.	Interruptor Fosa de Visita.
I.L.V.	Indicador Límite de Velocidad.
I.V.A.	Indicador Velocidad Autorizada.
I.V.E.	Interruptor Vías de Enlace.
I.V.E.T.	Interruptor Vías de Enlace con Talleres.
I.V.G.	Interruptor Vías de Garage.
I.V.S.	Interruptor Vías Secundarias.
I.V.T.	Interruptor Vías de Talleres.
J.D.A.	Junta de Desbloqueo Acelerado.
J.P.A.	Junta de Puesta en Amarillo.
K.V.	Kilo-volt.
K.V.A.	Kilo-volt-Ampere.
K.W.	Kilo-watts.
L.M.	Límite de Maniobra (Placa).
M.V.A.	Mega-volt-Ampere.

N.F.	No Franqueable.
P.A.	Pilotaje Automático.
P.C.C.	Puesto Central de Control.
P.D.C.	Puesto Despacho de Carga.
P.G.T.	Programadora General de Tráfico.
P.M.	Puesto de Maniobras.
P.M.L.	Puesto de Maniobras Local.
R.A.	Regulación Automática.
S.	Señal de Salida.
S.I.T.	Seccionador de Aislamiento Telemandado.
S.P.	Servicio Provisional.
S.R.	Subestación de Rectificación.
S.R.M.	Seccionador Rotativo Medio.
S.S.	Servicio de Seguridad.
S.S.O.	Servicio de Seguridad Bajo Orden.
S.V.E.	Seccionador Vía "E".
S.V.F.	Seccionador Vía "F".
S.V.Y.	Seccionador Vía "Y".
S.V.Z.	Seccionador Vía "Z".
T.C.O.	Tablero de Control Optico.
T.P.	Trazo Permanente.
U.R.	Interruptor Ultra Rápido.
V.1.	Vía Uno de Origen a Destino.
V.2.	Vía Dos de Destino a Origen.



V.C.A. Volts Corriente Alterna.

V.C.D. Volts Corriente Directa.

**BIBLIOGRAFIA:**

Standard Handbook for Electrical Engineers  
Donald G. Fink, H. Wayne Beaty  
Mc. Graw-Hill

American Electrician's Handbook  
Terrel Cruft, John H. Watt, Clifford C. Carr  
Mc. Graw-Hill

Manual del Ingeniero Electricista  
Singer Francisco L.  
Mc. Graw-Hill

Fundamentos de Protección de Sistemas Electricos  
por Relevadores  
Gilberto Enriquez Harper  
Ed. Limusa

C N C F S A  
Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril S.A.  
Sistema de Control Electrónico Empleado en Coches  
del Metro de la Ciudad de México.