

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN LA ESPECIALIDAD DE  
ELECTROTECNIA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**TABLEROS DE CONTROL Y MANIOBRA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LOS CHILLOS"**

EFRAIN MIER LUNA

Quito, Septiembre de 1965

Certifico que esta Tesis ha sido trabajada por el señor Efraim Mier  
Lana.

  
Ing. Honorato Placencia.

A mis padres

A mi esposa e hija.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO I

GENERALIDADES	Pág. N°
A.- Características de la Energía Eléctrica . . . .	1
B.- Características del Sistema de Generación (Plan ta hidroeléctrica "Los Chillos" . . . . .	6
C.- Características de la carga:	
a) Diagramas de carga . . . . .	8
b) Breve estudio y proyección de la de- manda del sistema eléctrico Quito . .	10
D.- Conclusiones y Recomendaciones . . . . .	13

CAPITULO II

TEORIA DE LAS MEDICIONES

A.- Importancia . . . . .	20
B.- Diversos Sistemas de Unidades Eléctricas . . .	22
C.- Análisis Funcional de las Mediciones . . . . .	31

### CAPITULO III

#### APARATOS DE LOS CUADROS DE DISTRIBUCION Y MANIOBRA

	Pág. N°
A.- Instrumentos de medida . . . . .	33
B.- Aparatos de Sincronización . . . . .	52
C.- Aparatos de Regulación . . . . .	63
D.- Transformadores de instrumentos . . . . .	79
E.- Aparatos de protección y maniobra . . . . .	91
F.- Equipo para el servicio auxiliar . . . . .	135
G.- Aparatos de aviso . . . . .	139

### CAPITULO IV

#### DISEÑO DE LOS CUADROS

A.- Cálculo de corrientes de corto circuito . . . . .	142
B.- Cálculos y especificaciones . . . . .	149
C.- Disposición de los aparatos de control y maniobra . . . . .	194
D.- Conexión a tierra del equipo . . . . .	214

BIBLIOGRAFIA . . . . .	219
------------------------	-----

C U A D R O S   Y   D I A G R A M A S

Quadro N°

Principales características del sistema eléctrico de. .	1
Factores técnicos . . . . .	2
Producción y consumo de energía eléctrica . . . . .	3
Demanda de energía . . . . .	4
Estimación del déficit y la demanda insatisfecha . . .	5
Caudales medios anuales . . . . .	6
Corrientes de corto circuito . . . . .	7
Tipo y amplitud de los relés de protección . . . . .	8
Requisitos para instrumentos indicadores de C. A. . . .	9

Figura N°

Diagramas de carga del sistema eléctrico de Quito . . .	1
Diagramas de carga de la central hidroeléctrica " Los Chillos" . . . . .	2
Crecimiento de la demanda del sistema eléctrico Quito .	3
Diagrama unifilar de la nueva central . . . . .	4
Mecanismos de atracción - repulsión para amperímetros y voltímetros de C. A. . . . .	5
Conexiones de amperímetros y voltímetros . . . . .	6
Conexiones de vatímetros y varímetros . . . . .	7
Alternadores trabajando en paralelo . . . . .	8
Indicador del F. de P. con aspa polarizada . . . . .	9
Esquema fundamental del sinoroscopia . . . . .	10
Indicador electrodinámico de frecuencia . . . . .	11

Mecanismo indicador de F. de P. con bobinas cruzadas. .	12
Indicador de F. de P. trifilar . . . . .	13
Regulador de voltaje Tirril . . . . .	14
Esquema simplificado del regulador de voltaje de contactos . . . . .	15
Regulador de las turbinas . . . . .	16
Servicio de la central . . . . .	17
Diagrama unifilar y de reactancias . . . . .	18
Factores para el cálculo de corrientes de cortocircuito	19 - 19 A.
Zonas de protección del sistema . . . . .	20
Esquema de protecciones del alternador . . . . .	21
Protección contra sobretensiones de origen interno . .	22
Protección contra sobre corrientes . . . . .	23
Protección vatimétrica . . . . .	24
Protección contra tierras en el rotor . . . . .	25
Protección contra cargas desequilibradas . . . . .	26
Protección diferencial del generador . . . . .	27
Protección vatimétrica de falla a tierra . . . . .	28
Protección de sobre corriente y sobre corriente a tierra de la línea de transmisión . . . . .	29
Protección diferencial de barras y transformadores . .	30
Esquema del dispositivo de imagen térmica . . . . .	31
Tablero principal de control - pupitre de control . . .	32
DIAGRAMA GENERAL DE LA CENTRAL . . . . .	33

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1-A.- CARACTERISTICAS DE LA ENERGIA ELECTRICA

Al contrario de lo que sucede con otros productos, la energía eléctrica no es susceptible de almacenamiento, ni retención, ni conservación a la disposición de eventuales adquirientes, por tan to, la electricidad no existe independientemente de suministro y a-bastecer energía eléctrica equivale a tanto como producirla en el mo mento de su uso y para la duración del mismo.

Esta particularidad del servicio eléctrico, en el cual abastecimiento y producción quedan prácticamente confundidos, exige que las empresas productoras estén continuamente en condiciones de suministrar la electricidad que pueda requerir el consumidor o lo que es lo mismo, producirla en el momento preciso en que el consumidor, unilateralmente, sin previo aviso conecta cualquier aparato - sin molestarse en tomar energía en las horas en que le convendría a la empresa de suministro que lo hiciera.

En el abastecimiento de la energía eléctrica, la empresa realiza una doble prestación; una prestación permanente, para que el consumidor tenga siempre la posibilidad de obtener la corriente cuando la necesite y además, la producción suplementaria, en cada momento, de la cantidad de energía realmente utilizada por el consumidor, y la conducción de la misma hasta sus instalaciones.

Ahora bien, como la demanda de los consumidores no es continua sino intermitente, localizándose en determinadas horas del día, según puede constarse en los diagramas de carga que se re producirán más adelante, ello obliga a las empresas mantener costo sas instalaciones, utilizables solamente en su totalidad en los mo mentos de máxima demanda.

Una central eléctrica sólo puede trabajar económic mente mientras el consumo sea elevado y lo más constante posible . El carácter intermitente del consumo eléctrico y la total conver - gencia de la demanda de los clientes dentro de unas pocas horas, o rigina, en la práctica, es que los gastos necesarios para la pues - ta en marcha de la central sean sumamente elevados en relación con el valor de su producción anual.

En el lenguaje técnico para definir el grado de uti - lización de las instalaciones de una central, se usa el coeficien - te llamado FACTOR DE CARGA, el mismo que se obtiene dividiendo el número de KWH producidos en un determinado período de tiempo por - el número de KWH que se hubiesen producido en el mismo tiempo si la central hubiese estado trabajando siempre a la potencia máxima ocurrida en ese período. Este factor puede referirse a cualquier pa - rte determinada o parte de ella y puede tomarse por cualquier pe - ríodo de tiempo especificado como un día o un año. Desgraciadamen - te la mayoría de los aparatos no sólo no están conectados continua - mente, sino que tampoco toman su potencia o carga o demanda total durante el tiempo que lo están. La carga o demanda es por consi - guiente variable y la carga mayor que en algún momento pueda ocu - rrir se califica de DEMANDA MÁXIMA. Esta demanda máxima es la si -

fra que determina el esfuerzo exigido a la central productora. Al no estar esta demanda máxima aplicada continuamente origina una re ducción del factor de carga, (el factor de carga nos da también la relación de la potencia media  $P_m$  a la potencia de punta o demanda máxima  $P_o = P_m/P_{máx.}$ ). Para una central es desfavorable que el factor de carga sea pequeño puesto que aquella tiene que construir se para poder facilitar la potencia máxima, a pesar de lo cual no suministra más de la que suministraría una central ideal calculada para la potencia media ( $P_m =$  energía suministrada en un tiempo dividida para la duración del período).

Es fácil ver que el factor de carga de un consumi - dor individual será generalmente bajo. Afortunadamente estos bajos factores de carga individuales son compensados en buena parte por el hecho de que los consumidores diferentes, toman sus máximas en distintos momentos del día y distintas épocas del año. Por tan to, la demanda máxima de la central es siempre menor que la suma de las máximas de los consumidores por lo cual, el factor de carga de la estación es siempre mejor que el factor de carga del consumi - dor medio.

La suma de las máximas de los consumidores dividida por la máxima real que llega a la central se llama FACTOR DE DIVER SIDAD y opera en el sentido exactamente opuesto al factor de carga y es pues, el índice favorable por el cual el consumidor puede tener un factor de carga bajo y la empresa de suministro un factor de carga alto, simultáneamente. Es esto lo que posibilita a una central de suministro con una potencia pequeña servir a una clientela grande y fluctuante. El desarrollo de la electricidad se ha

caracterizado precisamente, por la reunión en una sola fuente de producción, la energía necesaria para el consumo de muchos.

Debido a que en la producción de electricidad los gastos fijos constituyen el mayor porcentaje en los costos, el mejoramiento del factor de carga es una meta que hay que tratar de alcanzar lo cual se logra elevando el factor de carga individual o aumentando la diversidad, ofreciendo estas últimas posibilidades mucho mayores. El aprovechamiento de una central es más favorable - si se engloba grandes zonas de suministro alimentándolas con una sola central o con un número reducido de ellas, porque en cada gran distrito se reúnen las cargas para luz, fines comerciales, industriales y fines agrícolas. Como las distintas puntas no vienen a coincidir en el tiempo, la punta de la central resulta menor que la suma de las parciales (aumento de la diversidad) con lo cual mejora el factor de carga.

Un factor relacionado con el factor de carga es el llamado duración de aprovechamiento  $h$ , que da el número de horas que necesitaría la central para producir la potencia máxima y generar la energía suministrada durante un año:  $h = P_o / 8.760$ .

No es suficiente construir una central para la máxima potencia que aparezca durante el año, sino que hay que tener en cuenta que por varios motivos un grupo de máquinas puede quedar parado, lo que requiere disponer una reserva que lo sustituya.

La potencia instalada  $P_i$ , resulta, por tanto, mayor que la potencia de punta máxima,  $P_{máx}$ . y la relación por cociente de las dos da el factor de reserva  $r = P_i / P_{máx}$ . Cuando el sis-

tema, como sucede generalmente en la actualidad, está alimentado por varias plantas e interconectado con otro sistema, no tiene mucha importancia el concepto de las unidades de reserva, más siempre son necesarias por el hecho de que contingencias no previsibles pueden acarrear un aumento en la demanda de potencia, dando origen a que se rebase la punta prevista. Los criterios que se tengan para adoptar la reserva están influenciados por la clase y calidad de servicio que se quiera dar. Frecuentemente se utiliza para este servicio de reserva las máquinas de antiguas centrales que no trabajan tan económicamente como las modernas.

Relacionando la potencia media producida durante el año y la potencia instalada verdadera tenemos el factor de utilización llamado también FACTOR DE FABRICA,  $u = P_m/P_i$ , el cual está relacionado con el factor de carga y el de reserva según la igualdad:  $u = P_c/r$  y se referimos, como es costumbre actual, el número de horas de aprovechamiento a la potencia instalada  $P_i$  y no a la punta anual, este coeficiente es entonces  $h' = u.8.760$ . El factor de fábrica refleja en consecuencia el porcentaje de la capacidad instalada que se utiliza durante un intervalo de tiempo dado.

La potencia  $C$ , instalada en receptores, tomando en cuenta la totalidad de los consumidores, es mucho mayor que la potencia total instalada en una central de suministro, debido a que como dijimos anteriormente, nunca están al mismo tiempo en actividad todos los utensillos, lámparas, motores, etc. lo cual hace que en la época de pico no participen en los consumos más de un 20 ó un 30 % de la potencia instalada. Esta circunstancia se tiene en cuenta por el llamado FACTOR DE SIMULTANEIDAD,  $S = P_{m\acute{a}x}/C$ , que -

mientras más pequeño sea presenta más ventajas para la central.

Es necesario tener en cuenta que en toda explotación eléctrica intervienen como determinantes del coste de la energía producida, dos clases de gastos: los gastos fijos y los gastos variables.

Los primeros, gastos fijos, son aquellos que las empresas han de soportar tanto si el abonado consume o no energía (impuestos, amortización o intereses de los capitales invertidos en maquinarias y redes y gastos generales de administración). Estos gastos fijos son directamente proporcionales al número máximo de KW de carga de la central.

Los gastos variables son los originados por el suministro real de corriente eléctrica, es decir, por la producción suplementaria de la cantidad de energía real y efectivamente utilizada por el consumidor, gastos estos que tienen representados por el número de KWH producidos.

Se demuestra que el gasto por KWH suministrado es tanto más bajo cuanto mayor es el factor de aprovechamiento de la central, por consiguiente, si una central eléctrica ha de proporcionar fluido eléctrico barato, es necesario que el número de horas de aprovechamiento o el factor de carga, sea lo más elevado posible como ya anteriormente se manifestó. De igual manera los otros factores mencionados influyen, de una u otra forma, en el mencionado precio.

### I-B.- CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE GENERACION

**PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO  
DE QUITO**

NOMBRES	GUAPULO	LOS ONILLOS	GUANGOPOLO	CUMBAYA	CAROLINA
Año de Instalacion	1.905	1.922	1937-44-53	1.961	1.957
Tipo de Turbina	Felton	Felton	Francis	Francis	-
Caída Neta m.	54	180	70	133	-
Caudal Máx.útilis.	2.3	1.4	18	18	-
Nro.d'Generadores	4	2	5	2	20
Potencia KVA	1.150	2.200	11.500	22.222	9.822
Potencia Nominal KW	920	1.760	9.400	20.000	7.850
Tensión KV	6.6	2.3	2.3	4.16	0.48 - 0.24
Fases	3	3	3	3	3

**TRANSFORMADORES DE ELEVACION**

Número	-	3	6	3	21
Fases	+	1	1	3	3
Capital KVA	-	2.500	9.000	25.750	5.680
Tensiones	-	2.3-22	2.3-22	4.16-46-13.8	0.23-6

**LINEAS DE TRANSMISION**

NOMBRE	SUBESTACION	LONGITUD	CAPACIDAD	CALIBRE MATERIAL		TENSIONES
	d'LLSQUADA	Km.	MAXIMA.			
Guápulo	N° 3	5.1	-	4 AWG	Cu	6.6
Chillos	N° 3	19.5	-	1 AWG	Cu	22
Guangopolo	N° 1 y Sur	8.25	30.000	35 mm <sup>2</sup>	Cu	22
Cumbayá	Sur y Norte	5.5	40.000	495 MCM	AcSR	46
Machachi	N° 2	27.7	1.600	3/0 AWG	AcSR	22

CUADRO N°1

La central hidroeléctrica de Santa Ana, "Los Chillos" está ubicada en la Parroquia Sangolquí, Cantón Numakui, a una altura aproximada de 2.700 m.s.n.m.; fue instalada en el año 1.922. - El caudal es captado del Río Pita, afluente del Río San Pedro. Según aforos realizados por la Empresa Eléctrica Quito, tiene un caudal de estiaje de 0.8 m<sup>3</sup>/seg. El caudal máximo utilizado es de 1.4 m<sup>3</sup>/seg. La aducción está constituida por dos canales de sección trapezoidal, con una longitud total de 5.6 Km. revestidos de mampostería y hormigón simple, y un túnel de 2.5 Km. revestido con mampostería. No posee desarenador pero en cambio tiene un reservorio de una capacidad aproximada de 300.000 m<sup>3</sup>., con revestimiento natural y de regulación semanal.

Tiene una caída bruta de 184 m. La tubería es descubierto, su material chapa de acero y un diámetro promedio de 0.80 m. posee válvulas de entrada de aire automáticas para evitar los efectos de las sobrepresiones. La casa de máquinas es de hormigón armado y ladrillo.

Son dos grupos. Las características de las turbinas son las siguientes: tipo, Pelton; caída, 180 m.; marca The Pelton Water Wheel U.S.A.; potencia 1.325 C.V.; 300 RPM; posee regulador automático manual de velocidad.

Los generadores tienen las siguientes características: marca, General Electric; potencia, 1.100 KVA; factor de potencia, 0.8; tensión, 2.3 KV; amperaje, 227 A.; 300 RPM; frecuencia, 60 c/seg.; 3 fases; conexión delta.

Excitadora; potencia, 16 Kw.; 125 V.; 120 Amperios.

Los tableros de control tienen los aparatos indispensables: voltímetros, amperímetros, vatímetros, etc. El regulador automático se encuentra dañado.

La subestación de elevación está constituida por un banco de 3 transformadores monofásicos, marca General Electric de 833 KVA c/u; tensiones, 2.3/22 KV. con menos 10 % de derivación; 5 % de impedancia; refrigeración OA.

El estado general de las obras hidráulicas es regular, bueno el de los equipos, aunque debería hacerse un estudio más detallado para ver su verdadero rendimiento.

Para 1.962 la Empresa Eléctrica "Quito" estimó los siguientes datos económicos: valor actual, \$ 6'893.031; años de vida 17.56; porcentaje de depreciación 5.69; cuota anual 392.647.

La central hidroeléctrica "Los Chillos" forma parte del sistema eléctrico de la EE.Q., cuyas principales características constan en el cuadro N° I-1

#### I-G.- CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA.

##### a.- DIAGRAMAS DE CARGA.

Un diagrama de carga nos muestra en forma clara las distintas características y variaciones de consumo durante un tiempo especificado, siendo utilizados para la obtención de los diferentes factores que intervienen en la determinación de la capacidad de un sistema de suministro.

# DIAGRAMAS DE CARGA DEL SISTEMA ELECTRICO QUITO

JUEVES 5 de Sete. 1963 (VERANO)

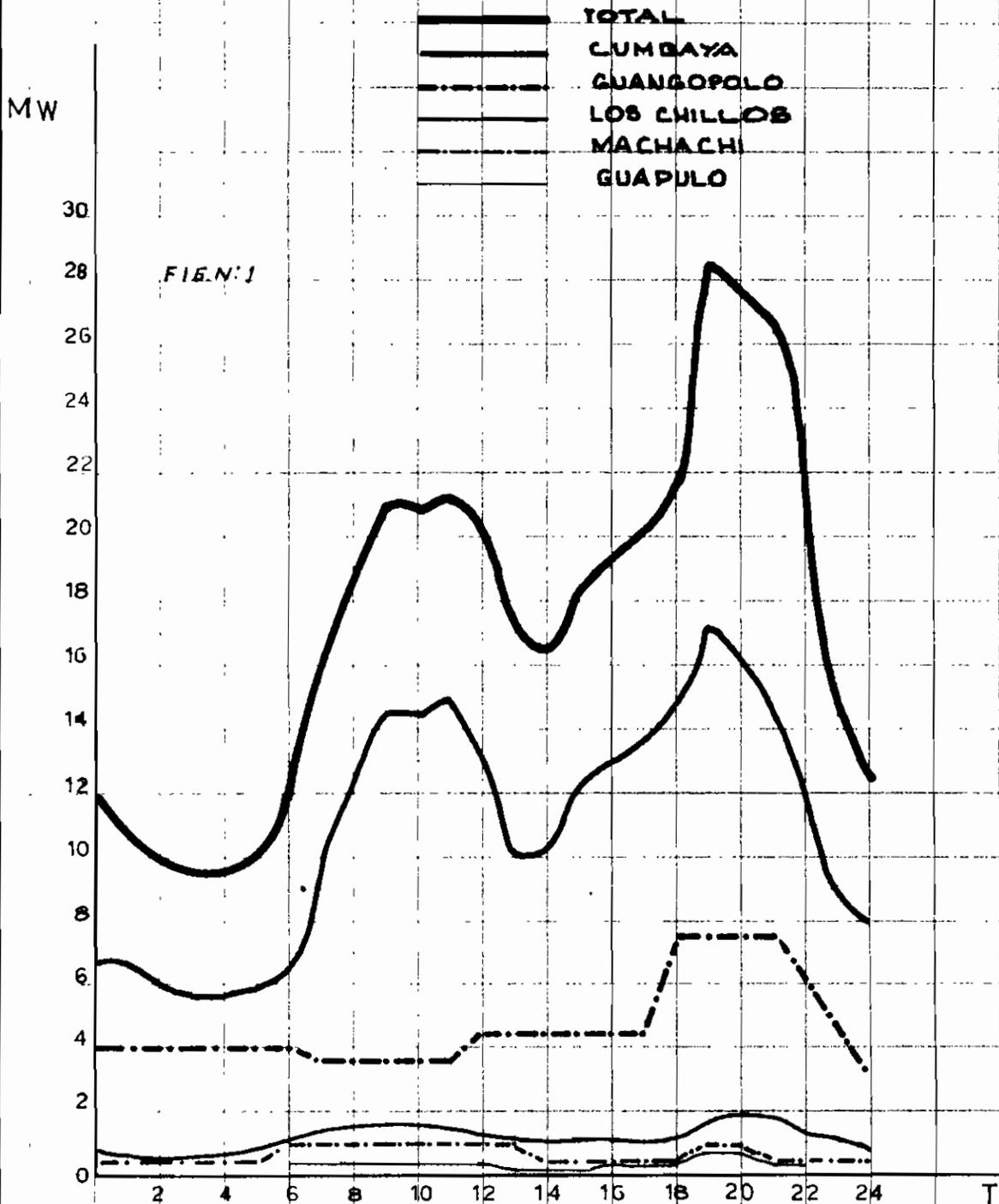


FIG. N: 1

Se ha representado los diagramas de carga correspondientes al sistema de Quito en un día de invierno y un día de verano, y cómo intervienen en ellos las diversas centrales que forman el sistema. Se ve que presentan características similares a todos los sistemas en los que predominan instalaciones domiciliarias y la carga industrial es relativamente poca con su punta máxima en las primeras horas de la noche y valles en las primeras horas del día y la tarde.

Los dos diagramas son similares no existiendo las diferencias que las hay en otras partes debido a los marcados cambios de las dos estaciones lo que no tenemos en nuestro País, pero sí se nota una diferencia en la intervención de las centrales; pues, mientras en la época de invierno no intervienen todas las centrales, en verano lo hacen todas y aún la térmica y con una mayor potencia a excepción de la central Cumbayá. Esto se debe, sin duda, a que la repartición de la carga se hace atendiendo a las disponibilidades de agua de los ríos con los cuales se alimentan las plantas; o sea que en verano hay una falta de caudal en la central principal del sistema.

La potencia suministrada por Cumbayá sigue casi en forma paralela la demanda de potencia del sistema, igual sucede con Guangupele y los Chillos, aunque en menor escala no así, Guámpalo, Machachi y la térmica que sirven como complemento de aquellas, aunque en realidad no forman un sistema perfectamente definido para poderles llamar centrales de base y de punta.

Se ha representado, aparte, los diagramas de carga

de la central hidroeléctrica "Los Chillos" en los mismos días de invierno y verano. Puede verse en ellos que la potencia generada es un tanto mayor en verano que en invierno; las variaciones corresponden a una carga tipo domiciliaria y que en las horas de pico llega a trabajar aún con sobrecarga.

De lo mencionado anteriormente deducimos que, a pesar que la capacidad instalada en "Los Chillos", es un porcentaje bajo de la capacidad total del sistema, constituye una central principal en el suministro de energía y que esta capacidad es aprovechada al máximo por la Empresa (su factor de carga fluctúa alrededor del 70 %).

#### b.- BREVE ESTUDIO Y PROTECCION DE LA DEMANDA DEL SISTEMA ELECTRICO QUITO

Para la realización del presente estudio se procedió a la compilación de los datos necesarios los que fueron proporcionados por la E. E. Q., desde el año 1.944 hasta el año 1.963, - siendo los principales los referentes a: capacidad instalada, demanda máxima, generación y consumo de energía, factor de carga y número de clientes. Con estos datos y las diferentes fórmulas que los relacionan se calculó otros principales datos y factores los cuales se encuentran tabulados en los cuadros

Estos cuadros representan un resumen hecho de la demanda del sistema en los mencionados años. Las conclusiones sacadas de ellos serán expresadas en el próximo acápite.

En los cuadros mencionados constan también los da -

tos respectivos del octenio de 1.964 a 1.971, los cuales se los ha obtenido mediante la realización de una proyección basada principalmente en la demanda máxima del sistema.

Para la previsión de la demanda existen varios procedimientos los cuales pueden ser clasificados en los tres grupos siguientes:

1°.- Métodos de extrapolación en el tiempo, en los cuales, de acuerdo a los datos de la experiencia pasada, se determina una relación funcional entre la variable cuyo comportamiento futuro se desea predecir y el tiempo.

2°.- Métodos en los cuales la variación del consumo eléctrico se asocia a una o más variables macroeconómicas, además del tiempo, mediante procedimientos de correlación simple o múltiple. Es una previsión de segundo orden, puesto que es primordial determinar de antemano la relación funcional entre la variable a predecir y otras variables macroeconómicas cuyo comportamiento futuro se hace necesario predecir.

3°.- Métodos directos y de encuesta.

Por su simplicidad se adoptó, para el presente estudio, el primero. Para la previsión de la demanda máxima, nos hemos basado en la experiencia pasada, aunque no se escogió una tasa de crecimiento constante sino desde el año 1.968, para el cual se ha adoptado un índice del 8 %, mientras que en los años anteriores, 1.964- 1.965- 1.966- 1.967, los índices respectivos son: 8.8 %, - 7.4 %, 8.6 %, 10.2 %. Esto se debe precisamente a que examinando

M.W

70

60

50

40

30

20

10

1955

1960

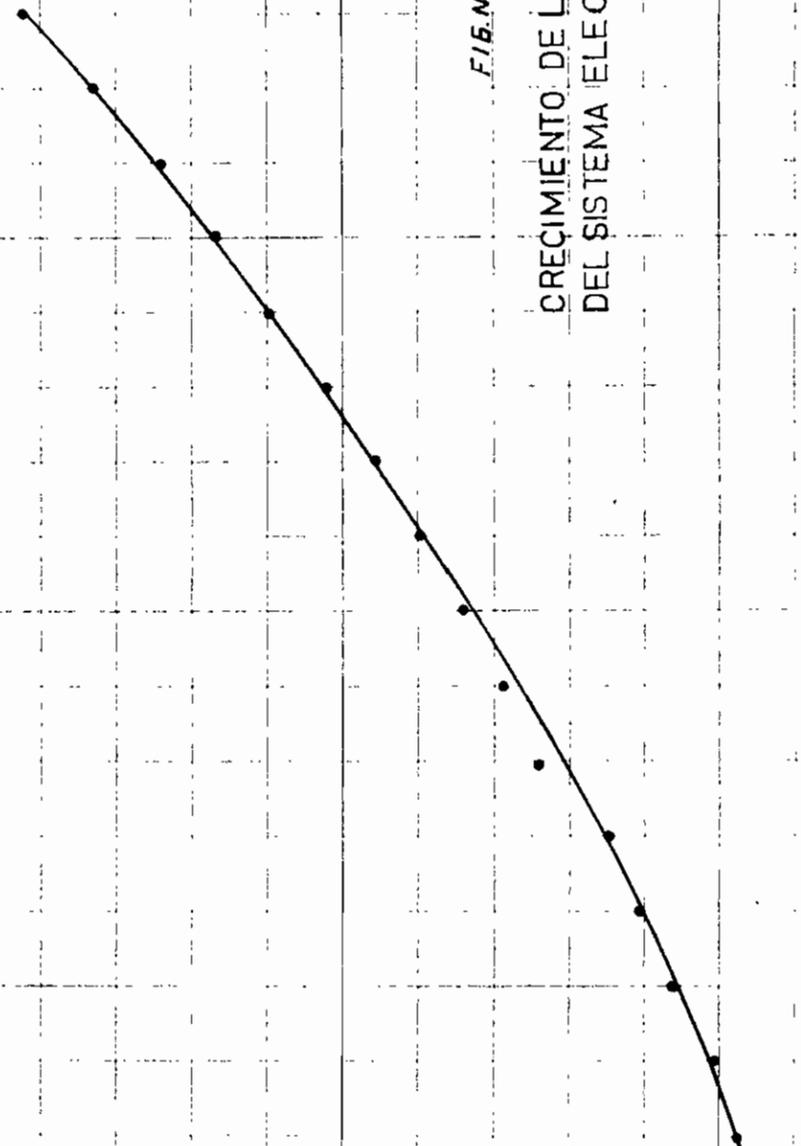
1965

1970

AÑOS

FIG. N.º 3

CRECIMIENTO DE LA DEMANDA MAXIMA  
DEL SISTEMA ELECTRICO QUITO



los índices respectivos en años en los cuales se dispone de estos datos, hay una gran variación de ellos, lo que nos demuestra que - habiendo una restricción del servicio en varias épocas y que al levantarse dicha restricción el crecimiento de la demanda máxima ha aumentado en grandes proporciones.

Con estas consideraciones se ha previsto para el año 1.964 un porcentaje de crecimiento de 8.8 %, o sea un tanto mayor al de 1.963, puesto que se supone que la demanda crecerá un tanto al no haber restricción alguna, mientras que para 1.965 se ha previsto esta restricción de ahí que se ha adoptado un índice menor. En el año 1.966, a fines del cual se ha programado la instalación de la segunda etapa Cumbayá, el consumo será mayor y más aún en 1.967, donde se prevé el 10.2 % de crecimiento ya que habiendo suficiente energía disponible, la demanda será mayor.

Del año 1.968 en adelante se adoptó un índice de crecimiento constante, 8 % valor que creo es conveniente para este sistema y que engloba los factores dinámicos propios del desarrollo eléctrico.

Para la adopción de los mencionados valores se tuvo presente, además, un crecimiento lógico, racional de la demanda máxima per cápita y por cliente.

Para predecir la generación y el consumo de energía se ha previsto, primeramente, una disminución gradual del factor de carga hasta el año 1.967, a partir del cual, se mantendría en un 45 %, marginando así las reservas de energía. Luego se han considerado las pérdidas las que, de igual manera, irán rebajando de-

bido a que se suspenderá el servicio tipo fijo y por otro lado, -  
tendiendo en cuenta las mejores técnicas que se van introduciendo  
en el sistema.

El número de clientes se proyectó en base del creci-  
miento histórico que da desde el año de 1.955 al año 1.963, un ín-  
dice de crecimiento promedio anual del 6.2 % el cual se ha conser-  
vado. Mientras que el dato de población se obtuvo de la publica-  
ción hecha por la Dirección de Estadísticas y Censos, que tiene en  
cuenta un crecimiento intercensal de 3.5 %.

Todos estos datos y factores relacionados constan -  
en los cuadros mencionados adjuntos.

#### I-D.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Como conclusiones del estudio y proyección de la de-  
manda citamos las siguientes como principales:

1°.- Examinando los factores de carga se observa -  
que a partir del año 1.950 las plantas eléctricas del sistema fun-  
cionaron con sobrecarga ya que dicho factor sufre incrementos notg  
rios pues, del 49.2 % en 1.949 llega en 1.956 a un valor de 66.5 %  
que es el porcentaje más alto observado. De 1.957 a 1.960 desciende  
hasta el 50.4 % debido a que en 1.957 entra a funcionar la central  
de La Carolina; sin embargo, el sistema sigue operando con sobrecarg  
ga. En 1.961 el factor de carga es bajo, 48.9 %, debido a que en es  
te año principia a operar la central de Cumbayá, subiendo luego a  
50.9 % en 1.962 y 50.4 % en 1.963. Estos nos indican un mayor grado  
de utilización de la energía motivado por un notable incremento en

el consumo. Similar concepto nos proporciona el factor de Pca.

2°.- El consumo de energía tuvo su más alto incremento en 1.953 con el 14.3 %, descendiendo cada vez más en los años siguientes, pues, en 1.957, inclusive se hace negativo, -2.6 %. En 1.961 el incremento es de 13.4 % en 1.962 el 14 % y en 1.963 11.9 %. Esto nos indica que en los años anteriores a 1.961 existieron medidas de racionamiento de energía eléctrica.

3°.- En el cuadro N° 5 se han realizado estimaciones de la demanda insatisfecha y el consumo aparente. La demanda insatisfecha asciende al 830 %, desde 1.950 a 1.955 y el 182 % en el período 1.955-1.960. Mientras que el consumo aparente ha sido mayor en el primer período que en el segundo pues, los porcentajes respectivos son 157 % y 136 %. Esto indica que en el período que comprende a la administración de la E.E.Q., ha habido una mayor utilización de los servicios por parte de los consumidores. El déficit de energía vuelve a aparecer en 1.971 según la predicción hecha.

4°.- La demanda máxima ha tenido en los diferentes años grandes variaciones debido, sin duda, principalmente a las restricciones del servicio, a cambios estructurales de la Empresa y a variaciones en el sistema tarifario.

La Empresa Eléctrica quite cuenta con una capacidad instalada de 38.740 KW, con una demanda máxima en 1.963 de 32.320 KW, lo que significa que las plantas eléctricas del sistema no están operando a su máxima capacidad. De acuerdo con las proyecciones realizadas, en 1.966 se ocupará la capacidad actualmente instalada, pues, la demanda máxima sería de 41.000 KW, debiendo por tan

to, en dicho año entrar a operar los 20.000 KW de la segunda etapa de Cumbayá. Como en 1.971 se volvería a operar los 20.000 KW de Cumbayá, la Empresa para ese año, debería contar con una nueva central eléctrica para evitar el deterioramiento del servicio por falta de capacidad.

#### RECOMENDACIONES:

La Empresa Eléctrica Quito ha venido realizando estudios hidrométricos desde el año de 1.959 en la Laguna "La Mica" con el fin de derivar caudal que sería aprovechado para la obtención de energía eléctrica utilizando caídas de la zona, así como también para incrementar el caudal del Río San Pedro con el objeto de tener en estiaje el agua suficiente para la operación de las unidades de Cumbayá. Un resumen ligero de este estudio consta en el cuadro N° 6 en el que a más de otros datos tenemos los caudales medios anuales y el módulo del período en el cual se han hecho tales mediciones.

Siendo el Río Pita, del cual toma el agua la Central Hidroeléctrica de los Chillos, afluente del Río San Pedro, se podría encausar el caudal obtenido de "La Mica", a este río (se dispone de suficiente desnivel) y con una adecuada ampliación de las obras de aducción de la central Los Chillos se podría aprovechar la caída de ésta para la obtención de una mayor potencia en la misma. Lógicamente el estudio deberá hacerse previamente al aprovechamiento de las caídas anteriores, cuyas centrales se construirían en un período posterior. De esta manera se obtendrá el incremento de caudal en el río San Pedro, que es inmediatamente necesario, y el cau-

dal suficiente para el incremento de potencia en la central hidroeléctrica de Los Chillos. Así pues, se tendría una nueva central que, como se dedujo anteriormente, para 1.971 ya es necesario.

Se ha calculado que podría obtenerse 10000 KW. ya que se dispone de una caída de 180 metros, necesitándose aproximadamente  $7 \text{ m}^3/\text{seg.}$  para la obtención de la potencia mencionada, con el que sería equilibrado mediante el reservorio que posee la central "Los Chillos" cuyo volumen aproximado es de 300.000  $\text{m}^3$ . que serviría como depósito de regulación semanal.

Al respecto, en el Plan Nacional de Electrificación consta lo siguiente: "Se almacenaría las aguas provenientes del desagadero de la Laguna "La Mich" de los riachuelos que, originándose en las nieves del Antisana, corren en la zona de la laguna. Todas estas aguas vierten hacia la Región Oriental.

La planta eléctrica de 30 MW. se ubicaría en la hacienda Pinantura, cerca de la Quebrada El Carmen y funcionaría con un caudal medio diario de  $2.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$  en la estación de verano y con un caudal de  $2.1 \text{ m}^3/\text{seg.}$  en la estación de invierno. La planta en cascada de 10 MW. se localizaría junto a la planta existente en los Chillos y operaría con los mismos caudales de la planta anterior".

Para la estructuración misma de la central se presentarían dos casos: si hacer una ampliación e introducir mejoras en la central actualmente existente, o hacer una nueva central adyacente. Esto se decidiría haciendo un prolijo estudio económico.

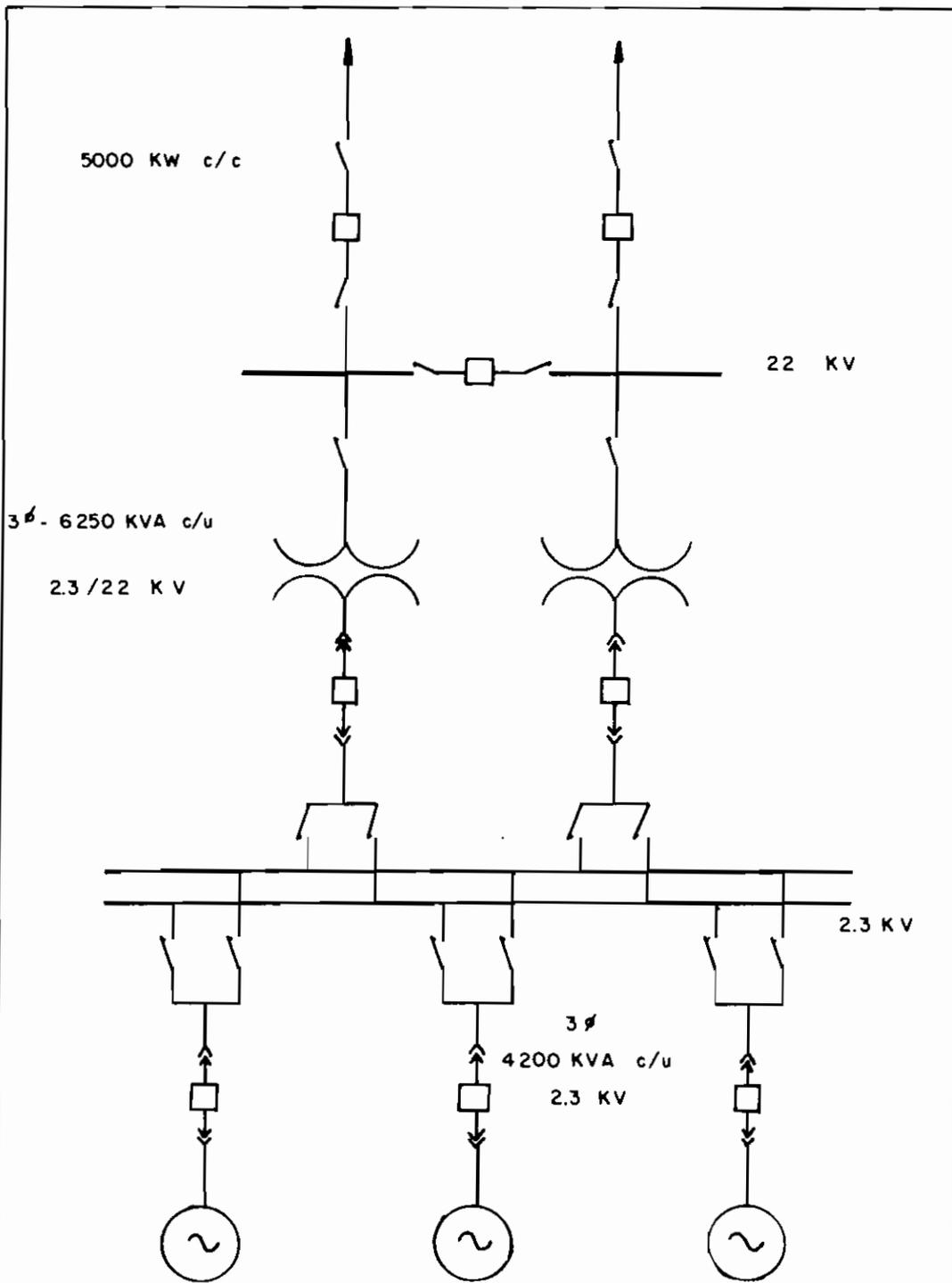


FIG. No. 4 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA NUEVA CENTRAL

Para el presente estudio, en el que se trata de una de las partes principales de las que constituyen una central, cual es los cuadros de distribución y maniobra, se ha previsto la construcción de una central nueva adyacente a la existente, tomando como criterio básico la antigüedad de la central actual, y que de este modo se dispondría de una central de emergencia que podría ser utilizada en caso de que por cualquier evento fallase la nueva central.

La Fig. 4 muestra el esquema unifilar de sistema adoptado. Consta de los siguientes elementos principales: tres generadores trifásicos de 4.200 KVA c/u; dos transformadores de poder de 6.250 KVA c/u, y dos circuitos de líneas de transmisión de una capacidad de 5.000 KW cada uno. Cada uno de estos elementos está equipado con sus respectivos disyuntores y desconectadores.

Las razones por las cuales se ha adoptado este sistema con las siguientes:

#### 1°.- Alternadores.

a) Los alternadores se dimensionan generalmente, para funcionar a plena carga con el rendimiento máximo; éste disminuye a medida que es menor la energía que suministra el alternador.-- Distribuyendo la capacidad entre tres unidades se puede poder fuera de servicio una o dos de ellas en el momento en que es menor la demanda de energía o en el período de estiaje de los ríos, así que dará en marcha sólo la una y lo hará con un rendimiento óptimo.

b) Hace, además, que la instalación responda con más

seguridad y en caso de anomalía puede ser mantenido el servicio al menos parcialmente.

La instalación de más de tres alternadores encarecería la instalación.

### 2°.- Transformadores

Podría haberse propuesto la instalación de tres transformadores de poder de 4.500 KVA c/u., o sólo uno de 12.500 KVA. En el primer caso el equipo a instalarse sería mayor requiriéndose mayor espacio, mientras que en el segundo no se dispondría de un equipo de reserva en la subestación. Con la disposición adoptada, a más de tener un sistema de conexión elástico, se prevé la posibilidad de daño del equipo de transformador de poder, que, aunque es remota, existe, pudiendo salir de funcionamiento uno de los transformadores y a costa de perder la mitad de la capacidad se puede cubrir al menos parcialmente la demanda.

### 3°.- Líneas de transmisión.

Se ha previsto dos circuitos para la línea de transmisión ya que así lo imponen las condiciones técnicas y de seguridad.

Con este sistema se prevé además, revisiones periódicas y trabajos de conservación que serán necesarios efectuarse en los alternadores, transformadores, interruptores y otros elementos móviles del equipo, sin que sea totalmente interrumpido el servicio.

Las tensiones escogidas para la generación y transmisión son respectivamente, 2.3 KV. y 22 KV. que son las tensiones que actualmente existen en la central.

AÑOS	CAPACIDAD INSTALADA		GENERACION DE ENERGIA		DEMANDA MAXIMA		DEMANDA MEDIA		FACTOR DE CARGA.		FACTOR DE POA.		CONSUMO DE ENERGIA KWH.		% DE INCREMENT.
	Kv.	Kv.	KWH.	Kv.	Kv.	Kv.	Kv.	Kv.	DE CARGA.	DE POA.	KWH.	KWH.			
1.944	6.380	5.920	28'965.260	3.309	55.9	51.8	12'951.363	-							
45	6.380	5.440	30'639.000	3.498	54.3	63.8	14'501.769	15.2							
46	10.380	7.840	33'840.640	3.863	49.3	37.2	19'344.498	34.8							
47	10.380	8.700	39'132.560	3.467	51.3	33.4	31'988.063	63.7							
48	10.380	9.600	42'102.200	4.806	51.3	46.3	34'815.078	8.8							
49	10.380	10.300	44'443.430	5.073	50.1	48.8	36'802.574	5.07							
1.950	10.380	10.300	50'160.780	5.728	49.2	55.1	41'433.778	12.6							
51	10.380	10.900	55'884.530	8.379	54.5	61.4	46'092.721	11.2							
52	10.380	10.900	59'036.760	6.739	58.5	64.9	46'302.216	0.4							
53	12.380	12.900	64'815.720	7.399	61.8	59.7	52'935.169	14.3							
54	12.380	13.300	70'481.020	8.031	57.4	64.8	57'326.143	8.3							
55	12.380	13.300	75'346.540	8.601	61.3	69.4	61'483.810	7.2							
56	12.380	13.400	78'072.510	8.912	64.7	71.7	63'805.964	3.8							
57	14.380	15.110	76'842.660	8.772	66.5	61.0	62'170.913	2.6							
58	15.380	17.890	87'271.230	9.962	58.0	64.7	68'265.942	9.8							
59	17.380	20.260	96'119.856	10.973	55.7	61.1	72'608.593	6.4							
1.960	18.840	22.260	105'345.466	12.026	54.2	63.8	77'683.809	7.0							
61	38.840	27.360	117'311.200	13.392	54.0	34.4	88'108.326	13.4							
62	38.740	29.800	132'386.700	15.113	48.9	39.0	100'462.047	14.0							
63	38.748	32.320	142'631.880	16.282	50.4	42.0	112'441.779	11.9							
64	38.740	35.180	152'220.000	17.376	49.4	48.4	121'776.000	8.3							
65	38.740	37.780	158'940.000	18.132	48.0	46.8	129'931.000	6.6							
68	57.820	41.050	167'200.000	19.086	46.5	33.0	136'770.000	5.2							
67	57.820	45.240	178'330.000	20.357	45.0	35.2	145'874.000	6.6							
68	97.820	48.850	192'590.000	21.985	45.0	38.0	160'428.000	9.9							
69	57.820	52.760	208'000.000	23.744	45.0	41.0	173'264.000	8.0							
1.970	57.820	56.980	224'640.000	25.643	45.0	44.3	187'125.000	8.0							
71	57.820	61.540	242'590.000	27.693	45.0	47.8	202'078.000	8.0							

AÑOS	GENERACION DE ENERGIA		CONSUMO DE ENERGIA		P E R D I D A S		POBLACION DE QUIFO		GENERAC. CONSUMO PER- PER- CAPITA CAPITA	
	KWH.		KWH.		KWH.	\$	DE QUIFO			
1.944	28'985.260		12'961.363		16'033.897	55.4	191.402		150	67
45	30'639.000		14'501.769		16'137.231	52.6	198.198.		154	73
46	33'840.640		19'544.498		14'296.142	42.2	205.036		165	95
47	39'132.560		31'988.063		7'144.497	18.2	212.213		184	150
48	42'102.200		34'815.078		7'287.122	17.3	219.641		191	158
49	44'443.430		36'802.574		7'640.856	17.1	227.329		195	161
1.950	50'160.780		41'433.778		8'727.002	17.3	235.051		213	176
51	55'884.530		46'892.721		9'791.809	17.5	243.278		229	189
52	59'036.760		46'302.216		12'734.544	21.5	251.793		234	183
53	64'815.720		52'935.169		11'880.551	18.3	260.606		248	203
54	70'401.020		57'326.143		13'074.877	18.5	269.728		261	212
55	75'346.540		61'483.810		13'862.730	18.3	279.169		269	220
56	78'072.510		63'805.964		14'266.546	18.2	288.944		270	220
57	76'842.660		62'170.913		14'671.747	19.0	299.053		256	207
58	87'271.230		68'265.942		19'005.288	21.9	309.520		281	220
59	96'119.856		72'608.593		23'511.263	24.4	320.354		300	226
1.960	105'345.466		77'683.809		27'661.747	26.2	331.567		317	234
61	117'311.200		88'108.326		29'202.874	24.8	343.172		341	256
62	132'386.700		100'462.047		31'923.853	24.1	355.183		372	282
63	142'631.880		112'441.779		30'190.101	21.1	367.614		387	315
64	152'220.000		120'776.000		30'444.000	20.0	380.480		401	320
65	158'840.000		129'931.000		28'909.000	18.2	393.797		403	329
66	167'200.000		136'770.000		30'430.000	18.2	407.580		410	335
67	178'330.000		145'874.000		32'456.000	18.2	421.845		422	345
68	192'590.000		160'428.000		32'162.000	16.7	436.610		441	367
69	208'000.000		173'264.000		34'736.000	16.7	451.891		460	383
1.970	224'640.000		187'125.000		37'515.000	16.7	467.707		480	400
71	242'590.000		202'078.000		40'512.000	16.7	484.076		501	417

AÑOS	DEMANDA MAXIMA		DEMANDA MEDIA		DEMANDA PERCAPITA		Nº DE CLIENTES	Nº DE HABIT./ CLIENTE	DEMANDA POR CLIENTE	
	KV.	\$/ INCRES.	KV.	IN.	D. MAXIMA	D. MEDIA			MAXIMA	MEDIA
1.944	5.920	-	3.309		30	17	-	-	-	-
45	6.440	8.7	3.498		32	17	-	-	-	-
46	7.840	21.7	3.863		38	18	-	-	-	-
47	8.700	11.0	3.467		40	16	-	-	-	-
48	9.600	10.3	4.806		43	21	-	-	-	-
49	10.300	7.3	5.073		45	22	-	-	-	-
1.950	10.500	1.0	5.726		44	24	-	-	-	-
51	10.900	3.8	6.379		44	26	-	-	-	-
52	10.900	-	6.739		43	26	-	-	-	-
53	12.900	18.3	7.399		49	28	-	-	-	-
54	13.100	1.5	8.031		48	29	-	-	-	-
55	13.300	1.5	8.601		47	30	32.579	8	408	264
56	13.400	0.8	8.912		46	30	34.319	8	390	259
57	15.100	12.7	8.727		50	29	35.541	8	425	246
58	17.890	18.3	9.562		57	31	39.067	8	457	254
59	20.260	13.2	10.973		63	33	41.697	8	485	243
1.960	22.260	9.9	12.026		61	35	45.109	7	493	266
61	27.360	22.9	13.392		79	37	48.605	7	562	275
62	29.800	8.9	15.113		83	41	50.908	7	585	296
63	32.320	8.4	16.282		87	44	52.683	7	613	309
64	35.180	8.8	17.376		92	45	55.949	7	628	310
65	37.780	7.4	18.132		95	46	59.417	7	635	305
66	41.850	8.6	19.086		100	46	63.100	6	650	302
67	45.240	10.2	20.357		107	48	67.012	6	675	302
68	48.850	8.0	21.985		111	50	71.166	6	686	308
69	52.760	8.0	23.744		116	52	75.578	6	698	314
1.970	56.980	8.0	25.643		121	54	80.263	6	709	319
71	61.540	8.0	27.693		127	57	85.239	6	720	324

CUADRO N°5

ESTIMACION DEL DEFICIT Y LA DEMANDA INSATISFECHA

AÑOS	CAPACIDAD INSTALADA Kv.	DEMANDA MAXIMA Kv.	DEFICIT Kv.	% SOBRE D. MAX.	DEMANDA INSATISFECHA KWH.	CONSUMO aparente KWH.
1.944	6.380	5.920	460	-	-	-
45	6.380	6.440	-60	0.9	130.156	14'632.285
46	10.380	7.840	2.540	-	-	-
47	10.380	8.700	1.680	-	-	-
48	10.380	9.600	780	-	-	-
49	10.380	10.300	80	-	-	-
1.950	10.380	10.500	-120	1.1	455.772	41'889.550
51	10.380	10.900	-520	4.8	2'212.451	48'305.172
52	10.380	10.900	-520	4.8	2'222.506	48'524.722
53	12.380	12.900	-520	4.0	2'117.407	55'052.376
54	12.380	13.100	-720	5.5	2'152.938	60'469.081
55	12.380	13.300	-920	6.9	4'242.383	65'729.193
56	12.380	13.400	-1.020	7.6	4'849.204	68'655.217
57	14.380	15.110	-720	4.8	2'984.204	65'155.117
58	15.380	17.890	-2.510	14.0	9'557.232	77'823.174
59	17.380	20.260	-2.880	14.2	10'310.420	82'919.013
1.60	18.840	22.260	-3.420	15.4	11'963.307	89'647.116
61	38.840	27.360	11.480	-	-	-
62	38.740	29.800	8.940	63-	-	-
63	38.740	32.320	6.420	-	-	-
64	38.740	35.180	3.560	-	-	-
65	38.740	37.780	960	-	-	-
66	57.820	41.050	16.770	-	-	-
67	57.820	45.240	12.580	-	-	-
68	57.820	48.850	8.970	-	-	-
69	57.820	52.760	5.060	-	-	-
1.970	57.820	56.980	840.	-	-	-
71	57'820	61.540	-3.720	6.0	12'205.000	214'283.000

VALORES AÑO NORMAL GASTOS (en m<sup>3</sup>/seg)

MES	1.959	1.960	1.961	1.962	1.963	TOTAL	PROMEDIO	MES
Enero	1.600	1.880	1.723	1.596	1.496	8.295	1.6590	E
Febrero	1.800	1.650	1.613	2.019	1.491	8.773	1.7545	F
Marzo	1.975	1.990	2.131	1.633	1.567	9.296	1.8592	M
Abril	2.342	1.820	1.869	1.587	1.693	9.311	1.8622	A
Mayo	3.333	2.255	2.250	2.989	2.266	13.093	2.6186	M
Junio	3.674	2.500	2.675	4.049	3.068	16.011	3.2022	J
Julio	5.858	2.570	2.461	3.450	1.920	16.057	3.2114	J
Agosto	2.944	2.540	2.304	3.411	2.49	13.628	2.7256	A
Setiembre	3.306	2.570	2.003	2.658	1.637	12.372	2.4744	S
Octubre	2.538	1.859	2.777	2.592	1.893	11.677	2.3354	O
Noviembre	2.487	1.807	1.941	2.242	1.931	10.408	2.0816	N
Diciembre	2.207	1.628	1.558	1.950	1.700	9.043	1.8086	D
FROM	2.648	2.090	2.113	2.537	1.926	11.514	2.303	

MODULO (1.959 - 1.963) = 2.303 m<sup>3</sup>/seg.

YUMEPB, Tesis Profesional Ing. Hidalgo.

## CAPITULO II

### TEORIA DE LAS MEDICIONES

#### II-A.- IMPORTANCIA.

Desde su iniciación hasta la actualidad el consumo de energía eléctrica ha aumentado incesantemente. Esta rápida expansión no sólo ha fomentado la utilización de medidas eléctricas, sino que en cierta forma ha dependido del perfeccionamiento y creación de nuevos instrumentos. Un número suficiente y adecuado de aparatos de medida y vigilancia garantizan una valoración segura del estado de servicio.

Fue, en un principio, escasa la demanda de aparatos que no fuesen los esenciales: voltímetros, amperímetros, vatímetros, etc. En el momento la eficacia y economía de una central eléctrica dependen de las medidas de cantidades eléctricas y no eléctricas incluyendo las variables mecánicas y de producción, medidas éstas que pueden efectuarse por medios eléctricos.

Se toman medidas de las presiones, temperaturas, posiciones de servicio, revoluciones, vibraciones. Los estados de los medios de servicio, agua y aceite, así como las temperaturas de los arrollamientos y cojinetes. La puesta en paralelo de los alternadores y la interconexión de centrales requieren de determinadas medidas; para asegurar la sincronización es necesario las medidas de fase tensión y frecuencia; en general, los aparatos de

dida por indicación interesan para magnitudes de medida en las -  
cuales el valor momentáneo es decisivo para la interpretación de  
un estado de servicio, o bien para accionar un órgano de ajuste o  
para variar el valor teórico de un aparato regulador.

Los aparatos registradores para la vigilancia sin -  
plifican el enjuiciamiento de todos los valores de medida que va-  
rían con el arranque o la aplicación de carga y cuya tendencia es  
de importancia para tomar una decisión. La necesidad del control,  
regulación y distribución de cargas en condiciones económicas ha  
hecho que se utilicen estos importantes instrumentos en la central.

Las mediciones son, por tanto, de gran importancia  
en el estudio, control y administración de los servicios de genera-  
ción y distribución de potencia eléctrica y no sólo en este campo  
sino dentro de todas las ramas del saber humano; así, en comunica-  
ciones, sin las mediciones eléctricas no podrían existir más que  
las formas rudimentarias de telecomunicación, en medicina, en los  
servicios terrestres de transporte y los de navegación por mar y  
aire, en las diversas industrias, en toda clase de investigación -  
científica e industrial forman parte esencial las mediciones.

Es pues, innegable el gran rol que desempeñan las  
mediciones en el progreso del hombre y son precisamente los fenóme-  
nos eléctricos los que proporcionan el medio más importante y adap-  
table para efectuar casi toda clase de mediciones sean éstas eléc-  
tricas o no.

Por tanto, una acertada elección de los dispositi-  
vos de medida necesarios y la adecuada disposición de los aparatos  
y elementos de servicio darán una clara idea sobre el estado de -

funcionamiento de la instalación, lo cual constituye las condiciones precisas para poder tomar con rapidez y seguridad las decisiones convenientes.

## II-3.- DIVERSOS SISTEMAS DE UNIDADES ELÉCTRICAS.

Se han propuesto y han sido utilizadas un número considerable de sistemas de unidades eléctricas. Es necesario familiarizarse con los más importantes y difundidos para tener un concepto claro de las magnitudes comparativas de las unidades en las cuales se expresan las cantidades eléctricas.

Primero veremos brevemente algunas consideraciones generales que se aplican al estructurar un sistema de unidades.

Cuando medimos expresamos el resultado como un cierto número de veces una unidad especificada cuya magnitud debe ser fijada previamente. Cualquier cantidad dada, como la longitud, tiene multitud de unidades diferentes, pero no tiene más que una dimensión. Por esta razón, el análisis dimensional de las cantidades constituye la forma más sencilla y lógica de establecer las relaciones que luego serán aplicadas a cualquier sistema de unidades.

La dimensión es una cualidad que tienen todas las cantidades y que las distinguen entre sí. Se la escribe con una notación característica así, la longitud ( L ), el tiempo ( T ), etc. No es necesario un símbolo independiente para cada cantidad, ya que pueden deducirse ecuaciones dimensionales, basándose en las leyes y definiciones físicas que relacionan a las cantidades. De este modo resulta que si se elige un cierto número de dimensiones

(su número varía con la finalidad del sistema) como fundamentales, todas las demás serán dimensiones compuestas derivadas de aquellas.

En mecánica se emplean tres dimensiones fundamentales, independientes entre sí. Dos de ellas son la longitud ( L ) y el tiempo ( T ), como terceras dimensiones se han utilizado cuatro magnitudes en alternativas que son: masa ( M ), fuerza ( F ), energía ( W ) y constante gravitacional ( K ). El sistema mecánico de nominado dinámico e físico ha adoptado la masa ( M ) como tercera unidad debido a que da lugar a un sistema dimensional simple y cómodo.

Un sistema de dimensiones eléctricas puede ser obtenido ampliando un sistema de dimensiones mecánico ya que hay varias leyes que establecen una continuidad entre el magnetismo, la electricidad y la mecánica. Una de ellas es la ley de Coulomb que define a la fuerza mutua entre dos cargas eléctricas:

$$F = q_1 q_2 / \epsilon r^2 \quad (1)$$

donde  $q_1$  y  $q_2$  son las cargas,  $r$  es la distancia entre ellas,  $F$  la fuerza y  $\epsilon$  es la permitividad del medio. En esta ecuación, la distancia y la fuerza son dos cantidades conocidas en mecánica mientras que la permitividad y la carga son conceptos asociados con la electricidad. La dimensión de cualquiera de éstas puede ser tomada como fundamental y la otra será una dimensión compuesta derivada. Aceptando este principio, las leyes de la física conocidas permiten asignar dimensiones derivadas a las otras cantidades eléctricas. Queda así establecido un sistema de dimensiones eléctricas con cuatro unidades fundamentales, 3 mecánicas y una eléctrica.

Siguiendo un criterio análogo podemos adoptar un sistema de dimensiones para el electromagnetismo para lo cual podemos utilizar la ley de Coulomb para las poles magnéticas:

$$F = p_1 p_2 / \mu r^2 \quad (2)$$

$p_1$  y  $p_2$  son las magnitudes de los dos polos,  $\mu$  la permeabilidad del medio y es la que se acostumbra a elegir como la cuarta unidad fundamental.

Un sistema idéntico puede deducirse si se toma como punto de partida la ley de Ampere que define la fuerza entre dos conductores paralelos recorridos por corrientes.

$$F = 2 \mu l I_1 I_2 / r \quad (3)$$

Aunque las dimensiones que se han asignado como fundamentales son sólo cuatro, las opciones de su elección son numerosas, de ahí la extensión de algunos sistemas de dimensión.

Los sistemas Electroestático y Electromagnético adoptan la masa (  $M$  ), la longitud (  $L$  ) y el tiempo (  $T$  ) como tres de las dimensiones fundamentales. El primero emplea la permitividad  $\epsilon$  y el segundo la permeabilidad  $\mu$  como cuarta dimensión.

Es interesante observar que si comparamos las dimensiones de cualquier cantidad el resultado es  $(\epsilon \mu) = L^{-2} T^2$ . Lo que demuestra que las dimensiones del producto de la permitividad por la permeabilidad son las inversas del cuadrado de la velocidad. Se ha demostrado experimentalmente que esta velocidad es la de la luz, es decir,

$$(\epsilon \mu) = \frac{1}{c^2} .$$

Otro sistema de dimensiones es el práctico que emplea las dimensiones mecánicas (L) (T) y dos eléctricas, la intensidad de corriente (I) y la resistencia (R) como fundamentales. Este sistema tiene el inconveniente de que cantidades puramente mecánicas incluyen dimensiones eléctricas. Entre otros de los muchos sistemas cabe anotarse el electrofísico, el Kalantaroff, etc.

Estos sistemas de dimensión son los fundamentos en los que están basados los sistemas de unidades y establecen la distinción entre unidades fundamentales y derivadas. Así por ejemplo, en el sistema mecánico físico basado en la masa longitud tiempo, deben ser establecidas las unidades masa, longitud y tiempo que serán las unidades fundamentales y sus magnitudes son arbitrarias. Las unidades de las otras cantidades mecánicas no son arbitrarias, sino que están ligadas a las fundamentales por las relaciones de dimensión y son conocidas como unidades derivadas.

Se tiene seis cantidades eléctricas con las cuales se debe tratar en mediciones eléctricas y la magnitud de sus unidades deben ser definidas antes de realizar cualquier medición y son: Q = carga o cantidad de electricidad; I = corriente; E = diferencia de potencial; R = Resistencia; C = Capacidad; L = Inductancia.

Para definir estas cantidades se han establecido cuatro ecuaciones físicas:

$$E = I.R \qquad Q = C.E$$

$$E = L \frac{di}{dt} \qquad I = \frac{dq}{dt}$$

001550

y una quinta que relaciona cantidades eléctricas y mecánicas sin introducir parámetros adicionales y es, E = trabajo/Q.

Adeptando un sistema de unidades mecánicas y las mencionadas ecuaciones, se puede deducir las ecuaciones dimensionales de las ecuaciones eléctricas y por tanto definir las unidades eléctricas en los diferentes sistemas (hay también algunas cantidades magnéticas cuyas unidades pueden ser definidas en términos de unidades eléctricas).

El sistema de unidades mecánicas utilizado es el físico o dinámico cuyas magnitudes y dimensiones son:

<u>U N I D A D E S</u>				
	<u>CANTIDAD</u>	<u>C.G.S.</u>	<u>M.K.S.</u>	<u>DIMENSION</u>
	Longitud	Centimetro	Metro	L
FUNDAMENTALES	Masa	Gramo	Kilogramo	M
	Tiempo	Segundo	Segundo	T
	Fuerza	Dina	Newton	$L M T^{-2}$
DERIVADAS	Trabajo	Ergio	Julio	$L^2 M T^{-2}$

**SISTEMA ELECTROSTATICO DE UNIDADES C.G.S.**

Partiendo de la ley de Coulomb de la fuerza electrostática (ecuación 1) no sólo son obtenibles las dimensiones de la carga electrostática, sino que también podrá ser determinada experimentalmente la magnitud de la unidad de carga. La definición puede establecerse de la siguiente manera "una unidad de carga es aquella carga puntual que situada a un centímetro de otra carga igual, ejerce sobre ésta la fuerza de una dina en el espacio libre o en el vacío". En este sistema se asigna arbitrariamente a la permitividad del vacío un valor unidad. Las dimensiones de la carga se obtiene de la ecuación (1) dando a la fuerza sus dimensiones:

$$L M T^{-2} = \frac{Q^2}{g L^2} \quad \therefore \quad Q = \frac{g^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} L^{3/2} T^{-1}}$$

La unidad de diferencia de potencial, puede definirse en función del trabajo mecánico: "la diferencia de potencial - que debe existir entre dos puntos para la que es necesario desarrollar el trabajo de un ergio, al mover la unidad de carga de un punto a otro".

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{M L^2 T^{-2}}{g^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} L^{3/2} T^{-1}} = \frac{g^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}}$$

Empleando las ecuaciones eléctricas de relación pueden ser definidas el resto de unidades y sus dimensiones. Las unidades de este sistema se designa con el nombre de las unidades - prácticas y el prefijo estat, así estat-voltio, etc.

El sistema electrostático tiene poca aplicación, se emplea para calcular la capacidad de los condensadores partiendo de sus dimensiones geométricas; también, en los cálculos aplicados a algunos fenómenos electrónicos; ha sido utilizado para establecer una unidad de medida en las radiaciones nucleares.

#### SISTEMA DE UNIDADES ELECTROMAGNETICAS C.G.S. O ABSOLUTO.

Está basado en el sistema de dimensiones electromagnéticas. La deducción puede ser basada en la ecuación (2), ley de Coulomb para los polos magnéticos, o en la ley de Ampere (3). En este último caso, debe tomarse la fuerza igual a dos dinas para que las unidades coincidan en magnitud con las basadas en la ecuación (2).

De esta ecuación puede definirse la unidad de corriente como: "la corriente que circula por dos conductores paralelos colocados a la distancia de un centímetro, en el espacio libre y que pueden desarrollar una fuerza de dos dinas por centímetro de longitud del circuito". Las dimensiones de la corriente se obtienen de la ecuación:

$$MLT^{-2} = UI^2 \therefore I = U^{-1/2} M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$$

Una vez determinada la unidad de corriente como se aba de indicarse, pueden definirse las restantes unidades del sistema.

Este sistema C.G.S. electromagnético se usa corrientemente en el estudio de los fenómenos del magnetismo y sirve también de base para las unidades del sistema práctico. Las unidades del sistema absoluto llevan el prefijo ab; ejemplo, abamperio, abvoltio, etc.

Si se definen todas las unidades en el sistema electromagnético, de la misma manera que se definen en el sistema electrostático, se encontrará que en todos los casos, la relación de las unidades encierran algunas potencias del producto U.E y por lo tanto algunas potencias de la velocidad de la luz, según lo que dijimos anteriormente.

#### SISTEMAS DE UNIDADES PRACTICADAS.

La mayoría de las unidades del sistema absoluto son mucho menores que las cantidades que se encuentran en la práctica y por tanto inconvenientes para el uso ordinario.

Para obtener unidades prácticas de tal manera que las unidades más utilizadas en trabajos experimentales tengan magnitudes convenientes se multiplican por potencias enteras de 10 las unidades del sistema C.G.S. electromagnético. Por ejemplo, el amperio práctico tiene  $10^{-1}$  de la magnitud del amperio absoluto, el ohmio práctico contiene  $10^9$  unidades absolutas, etc.

En realidad este sistema está basado en el sistema de dimensiones prácticas, en el cual las unidades fundamentales elegidas son el centímetro, el segundo, el amperio y el ohmio. Este sistema tiene su importancia debido a que ha permitido el mayor desarrollo en la técnica de las mediciones eléctricas.

#### SISTEMA GIORGI DE UNIDADES O M.K.S.

Está basado en el sistema mecánico M.K.S. con adición del ohmio como cuarta unidad, aunque posteriormente se recomendó "Para mejorar las definiciones de las unidades eléctricas", la permeabilidad del vacío y luego el amperio como cuarta unidad fundamental.

Giorgi encontró que si en el sistema C.G.S. electromagnético, hubiesen utilizado como unidades mecánicas fundamentales, el metro, el kilogramo, y el segundo en lugar del centímetro, el gramo y el segundo, y la permeabilidad en el espacio libre un valor de  $10^{-7}$ , la magnitud de las cantidades eléctricas unitarias hubieran coincidido con los valores de las unidades prácticas, eviándose el uso de las potencias enteras de 10. De esta manera se obtuvo el sistema conocido con el nombre de Giorgi o M.K.S. bien

de equivalente al sistema de unidades prácticas absolutas que es - el adoptado internacionalmente.

#### SISTEMAS RACIONALIZADOS DE UNIDADES.

Debido a que frecuentemente se origina en las ecuaciones de los campos eléctricos y magnéticos el término  $4\pi$  existe la controversia de que el sistema debe ser o no racionalizado.

En el sistema no racionalizado la unidad de flujo magnético es definida como "la cantidad de flujo que atraviesa una unidad de área en una esfera de radio unidad en el centro de la cual hay una unidad de polo magnético". Como el área de esta esfera es  $4\pi$  el flujo total emitido por la unidad de polo es  $4\pi$  líneas. En el sistema racionalizado se toma a la unidad de flujo como el flujo total emitido por la unidad de polo. El mismo cambio se introduce en la definición del flujo electrostático emitido por una unidad de carga.

Esta diferencia de criterios cambia lógicamente la magnitud de algunas unidades. Con la racionalización se trata de desplazar el valor  $4\pi$  de las ecuaciones más frecuentes hacia las relaciones que son menos comunes ocasionando la mínima variación en los valores de las unidades. Así pues, para la racionalización del sistema M.K.S. se dió un valor a la permeabilidad del espacio libre igual a  $4\pi 10^{-7}$  en vez de  $10^{-7}$ , con lo que se deja a la mayoría de las unidades familiares inalteradas.

Hay algunos otros sistemas de unidades que han sido propuestos y otros que expresan modificaciones de los mencionados;

por ejemplo, el sistema Gaussiano, en el que todas las cantidades eléctricas se refieren al sistema C.G.S. electrostático, mientras que todas las cantidades magnéticas lo están en el sistema C.G.S. electromagnético. Lógicamente, este sistema deriva del sistema Gaussiano de dimensiones el cual tiene cinco dimensiones fundamentales, en vez de las cuatro que son necesarias, ya que a más de las tres dimensiones mecánicas utiliza la permitividad para deducir las dimensiones eléctricas y para las magnéticas, la permeabilidad.

## II-C.- ANALISIS FUNCIONAL DE LAS MEDICIONES

En el capítulo siguiente se tratará, en lo posible, seguir un análisis funcional de las mediciones, lo cual trae como ventaja la claridad en la exposición de los principios de funcionamiento del equipo o dispositivo de medida.

Este método de análisis lo consideraremos ya sea en el aspecto de análisis general e ya en el de análisis detallado. - En el primero, todo sistema de medida es considerado como compuesto de tres grupos funcionales principales:

El detector primario, que es el que responde cuantitativamente a la variable o cantidad medida y su efecto acciona a un dispositivo final ya sea directa o indirectamente.

El dispositivo intermedio, cuando la salida o efecto resultante de la operación realizada por un detector primario no es adecuado para el accionamiento del dispositivo final, se hace necesario el empleo de dispositivos intermedios para convertir dicha salida en una cantidad diferente.

El dispositivo final que representa el resultado de la medida y nos indica su valor presente, o un registro de sus valores anteriores, o inicia una operación de regulación o control.

En muchos tipos de medidas no es necesario ningún dispositivo intermedio pero a veces, en cambio, se utilizan medidores auxiliares situados antes del detector primario que aunque no realizan la operación inicial se limitan a variar el nivel de la cantidad medida. En los equipos empleados a este fin están incluidos los transformadores de instrumentos, shunts, etc.

En el análisis detallado se considerará el equipo o dispositivo de medida en sus unidades funcionales o elementos básicos que son los que realizan las distintas operaciones necesarias en la medida. Con el empleo de este método se desea presentar una más rápida y mejor comprensión de cómo funciona el dispositivo de medida.

## C A P I T U L O    I I I

### APARATOS DE LOS CUADROS DE DISTRIBUCION

#### Y MANIOBRA.

Los circuitos principales de una instalación, desde los generadores a las líneas de salida con los aparatos de manobra y protección (interruptores), de conexión (seccionadores), de medida (transformadores), constituyen el CUADRO DE DISTRIBUCION. Los órganos de mando de los aparatos mencionados, los instrumentos de regulación, de medida, de registro, y en general los circuitos secundarios de baja tensión que están al cuidado del personal de explotación van dispuestos en un CUADRO DE MANIOBRA subdividido en secciones o paneles cada uno de los cuales comprende lo relativo a una máquina y a su excitación o a una salida.

En el presente capítulo se hará un análisis de cada uno de los diferentes instrumentos que constituyen los cuadros y la función que desempeñan en la central, dejando para el próximo capítulo su dimensionamiento y cálculos respectivos para determinar las especificaciones requeridas.

#### III-A.- INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los instrumentos de medida son medios auxiliares in dispensables para vigilar el funcionamiento eléctrico de las instalaciones. Las medidas a realizarse son las siguientes:

Intensidad y tensión; potencia activa y potencia reactiva; energía generada; factor de potencia en función del coseno del ángulo de desviación; frecuencia; además se requiere de instrumentos registradores para la potencia activa y el voltaje.

#### MEDICIONES DE INTENSIDAD Y DE TENSION

Existen algunos mecanismos para la medición de tensiones y corrientes y que pueden ser clasificados de acuerdo a los principios de funcionamiento en 3 grupos principales:

1.- Instrumentos electromagnéticos, los cuales utilizan los efectos magnéticos de la corriente eléctrica;

2.- Instrumentos electrostáticos que utilizan las fuerzas entre conductores eléctricamente cargados;

3.- Instrumentos térmicos, en que la aguja se mueve a consecuencia de la dilatación de un metal calentado eléctricamente.

Estos mecanismos vienen a constituir, en realidad, los detectores primarios para la medida de corriente o diferencia de potencial.

Los instrumentos electromagnéticos se subdividen a su vez, de acuerdo a la naturaleza del sistema móvil y el método por el cual se produce el par de desviación. Las subclases son:

1º.- El mecanismo de imán permanente y bobina móvil (solamente para corriente continua).

2º.- El mecanismo de imán móvil y bobina fija (para corriente continua solamente).

3º.- El mecanismo de hierro móvil y bobina fija (ya

ra corriente continua y alterna)

4°.- El mecanismo de bobina móvil y bobina fija (electrodinámico) (para corriente alterna y continua).

5°.- Instrumentos de inducción.

En los cuadros de conmutación se emplean los instrumentos de hierro móvil y bobina fija que tienen como ventajas, su simplicidad, robustez, facilidad de construcción y son particularmente insensibles a las sobrecargas momentáneas, de ahí que se tratará en forma detallada sólo de instrumentos de este tipo.

Un instrumento de medida se basa en traducir el valor de una corriente o f. e. m. en una fuerza mecánica que produce la deflexión de una aguja la cual se indica en una escala. La indicación producida por un instrumento de hierro móvil es el resultado del movimiento de una aspa de hierro dulce, de la cual es solidaria la aguja, y que está imantada por el campo de una bobina por la que pasa la corriente a medir. Cuando el electroimán se excita el aspa imantada queda sometida a una fuerza que tiende a moverla en dirección tal que la magnitud del campo magnético aumenta, produciendo un par que es equilibrado por un par antagonista del muelle de control.

Estos instrumentos tienen una ley de respuesta característica, es decir que, la desviación aumentará proporcionalmente a la segunda potencia de la corriente siempre que la velocidad angular de variación de la inductancia sea constante, las indicaciones, por tanto, están en términos de los valores efectivos de la cantidad medida.

Debido a que una distribución de ley cuadrática implica una deficiente legibilidad en los valores bajos y exceso de legibilidad para los valores elevados, se acostumbra a compensar la desuniformidad de la escala haciendo que la inductancia varíe bruscamente en un principio y luego en forma gradual. Esto se consigue mediante algún artificio del diseño magnético. De este modo se construyen instrumentos con una escala que es muy aproximadamente uniforme sobre una parte considerable de su longitud.

Los instrumentos de hierro móvil son clasificados de acuerdo con el carácter de las fuerzas actuantes sobre el aspa móvil en los tres grupos siguientes: (1) atracción, (2) repulsión, (3) atracción y repulsión combinadas.

Entre los de atracción tenemos los llamados de lámina-solenoides y el de bobina inclinada o de Thomson.

Los de lámina-solenoides están constituidos principalmente por un solenoide en el interior del cual se introduce una lámina de hierro dulce cuando es activado por la corriente. El movimiento de la lámina, que es independiente de la dirección de la corriente, produce el desplazamiento de la aguja indicadora que es solidaria al eje de giro. La escala de estos instrumentos es muy comprimida en el extremo inferior y grandemente extendida en el superior, ya que el torque es completamente bajo cuando el hierro móvil está justamente entrando en el solenoide y se incrementa rápidamente a medida que la lámina de hierro se introduce más en él.

En instrumentos modernos se utiliza una modificación. El hierro móvil es un sector que se introduce dentro de una

estrecha abertura de una bobina plana. Una faja de acero de alta permeabilidad se fija en una posición cercana a la bobina para concentrar el flujo e incrementar el par disponible para bajos valores de excitación permitiendo, de esta manera, controlar la distribu -  
ción de la escala.

La ventaja de este tipo con relación a otros de hierro móvil es que el valor de la cupla es bastante alto, de ahí que se les utilice corrientemente en amperímetros y voltímetros registradores.

El instrumento Thomson de bobina inclinada utiliza la tendencia de una lámina de hierro a tomar una posición paralela a la dirección del campo magnético. Consiste en una bobina de campo inclinada unos  $45^\circ$  con la horizontal y un disco delgado de hierro colocado a un cierto ángulo con el eje del elemento móvil. El movimiento del hierro con relación al de la bobina es de  $90^\circ$  cuando pasa de la posición perpendicular a las líneas de fuerza de la bobina, a la posición paralela a dichas líneas, mientras que el movimiento angular del elemento móvil es de  $180^\circ$ . Más, no es práctico hacer uso de los  $180^\circ$  del movimiento posible ya que debido a -  
que la variación de la inductancia en las posiciones extremas es pequeña, el torque producido en dichas posiciones, es también pequeño; no así, en posiciones intermedias donde dicho torque es mucho más grande pudiéndose obtener ángulos de  $90^\circ$  a  $100^\circ$  donde la escala sea fácilmente legible. La distribución de la escala está regida por el ángulo que hace el asa con el eje horizontal de la bobina cuando la aguja indica cero en la escala.

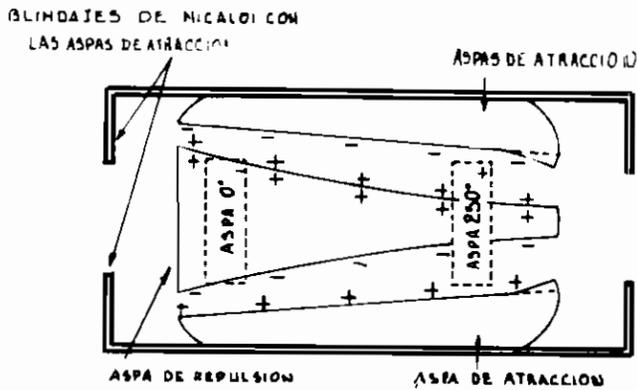
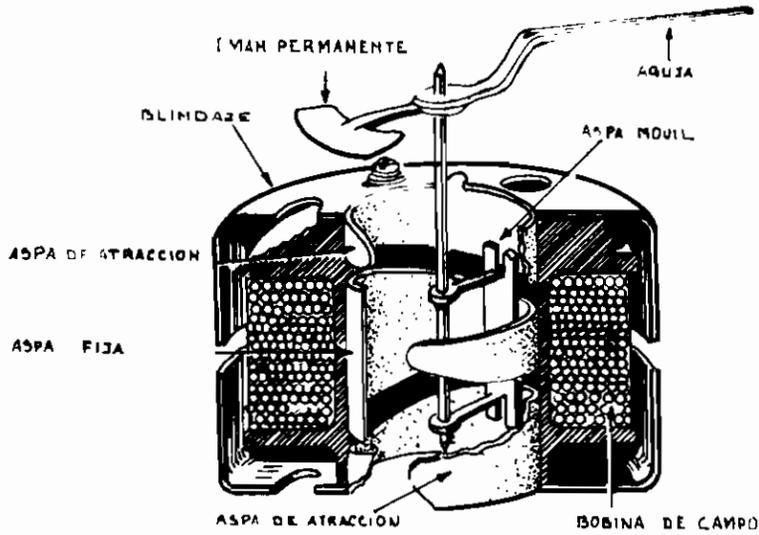


FIG. N° 5

MECANISMO DE ATRACCION - REPULSION PARA AMPERIMETROS Y  
 VOLTIMETROS DE CA a) MECANISMO DE REPULSION DE ESCALA  
 LARGA b) DESARROLLO DE LAS ASPAS

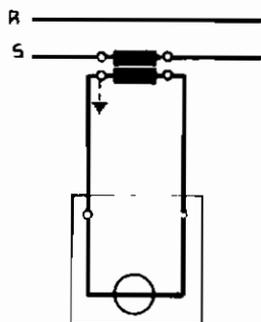
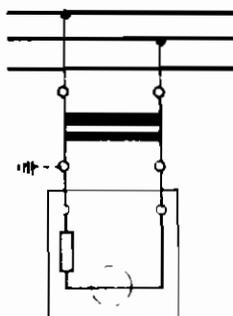


FIG. N° 6

AMPERIMETRO ELECTROMAGNETICO  
PARA CORRIENTE ALTERNA ELEVADA  
CON TRANSFORMADOR DE MEDIDA



VOLTIMETRO ELECTRO-MAGNETICO  
PARA CORRIENTE ALTERNA DE ALTA TENSION

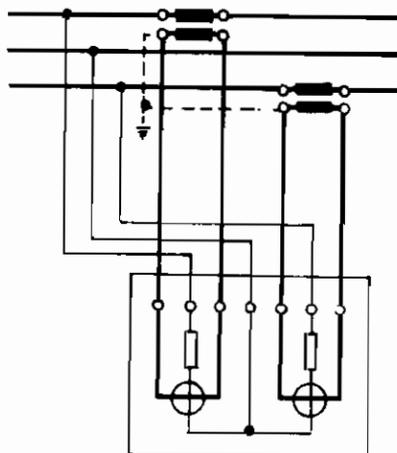
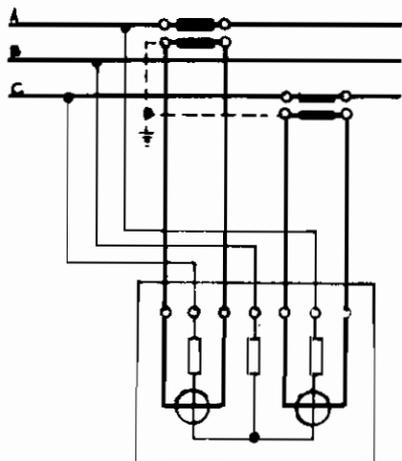


FIG. N° 7

VATIMETRO PARA CORRIENTE ALTERNA  
TRIFASICA CARGA DESEQUILIBRADA  
POTENCIA ACTIVA

VATIMETRO PARA CORRIENTE ALTERNA  
TRIFASICA CARGA DESEQUILIBRADA  
POTENCIA REACTIVA

Para amperímetros este ángulo es de  $20^\circ$  con lo que se obtiene una escala uniforme y para voltímetros el ángulo es de  $7^\circ$  aproximadamente, obteniéndose una escala más amplia al centro útil en un porcentaje mayor al 80 % de su longitud total.

La segunda clase general de instrumentos de hierro móvil es el de tipo repulsión. Estos se caracterizan por la presencia de dos vanos dentro de la bobina, el uno fijo y el otro móvil. Las bobinas pueden ser de forma de sector o circular y los vanos pueden ser láminas de hierro radiales o secciones de cilindros coaxiales, determinando así los diferentes tipos de instrumentos de repulsión.

Cuando la corriente circula por la bobina los vanos se imantan y polos de igual signo se inducen en los extremos adyacentes. La repulsión mutua de estos polos idénticos tiende a apartar los imanes y el torque de operación resultante hace girar el sistema móvil.

La fuerza de los dos vanos es proporcional a la intensidad de los polos (por tanto a la intensidad de corriente) e inversa a la distancia. El efecto combinado contrarresta adecuadamente la expresión de la ley cuadrada pudiendo obtenerse una distribución de la escala bastante uniforme.

Los instrumentos combinados de atracción repulsión tiene el diseño de forma general al de repulsión de bobina cilíndrica y vanos cilíndricos coaxiales con la adición de vanos que llegan a activarse en la parte superior de la escala. Cuando es

energizada la bobina, las aspas fija y móvil son magnetizadas con la misma polaridad instantánea y se origina una fuerza de repulsión y por tanto un par motor. La magnitud de este par viene determinada por la velocidad angular de la variación de la inductancia, lo cual significa que está influenciada por la geometría del sistema en conjunto, incluyendo particularmente la forma de cuña del aspa fija (de repulsión). A medida que la deflexión aumenta, el vano estacionario externo pone en acción una fuerza atractiva sobre el vano móvil incrementando el par.

Con esta forma de construcción se logra una extensión en la escala; su distribución se hace en un ángulo aproximado de  $240^\circ$  y por tanto la longitud es mayor que en los de atracción o repulsión, en los cuales la deflexión está limitada a  $90^\circ$  aproximadamente. Esta ventaja que tiene sobre los otros instrumentos de hierro móvil ha hecho de este tipo, un instrumento muy empleado en tableros de control.

En los instrumentos de hierro móvil el par restaurador o antagonista se establece mecánicamente mediante el empleo de un resorte por el cual no circula corriente alguna eliminando así cualquier influencia sobre el valor verdadero de la magnitud medida.

Estos instrumentos como todos los de corriente alterna requieren un sistema independiente de amortiguamiento para el ajuste rápido de la aguja indicadora, el cual puede ser de carácter magnético o neumático. El amortiguamiento magnético consiste en una aspa en forma de sector fija al elemento móvil, situada

en el entre hierro de un imán permanente. Al moverse el aspa en el campo del imán se inducen en él una fuerza electromotriz que produce una corriente cuya reacción con el campo origina un par que se opone al movimiento del aspa.

El amortiguador de aire consiste en una cámara hermética de aire dentro de la cual se mueve un aspa de aluminio. Se produce el amortiguamiento por la diferencia de presión que se establece en las dos caras del aspa.

El mecanismo de hierro móvil se emplea en mediciones de corriente o tensión. Las normas americanas A S A especifican márgenes de medición para amperímetros desde 10 mA hasta 50 amperios. Como el par de desviación depende solamente de los amperios-vuelta de la bobina de campo, se obtienen diferentes valores nominales para plena escala variando el diámetro del conductor y manteniendo constante el producto amperios-vueltas. Los miliamperímetros se construyen con hilo de poco diámetro y muchas vueltas mientras que los amperímetros se hacen con pocas vueltas de hilo de gran sección.

Los voltímetros de hierro móvil consisten en un mecanismo miliamperimétrico y una resistencia en serie con la bobina. Como la intensidad en la bobina es proporcional a la tensión se sigue que la desviación de la aguja es también una medida de la tensión. Las normas A S A especifican valores de hasta 300 voltios para los instrumentos de panel.

En tableros de control donde las intensidades y tensiones suelen ser de valores elevados se emplean amperímetros de 5

amperios y voltímetros de 120 voltios, conectados a través de transformadores de medida, cuyas indicaciones de escala corresponden a la verdadera corriente o tensión existente en el primario del transformador.

El consumo de potencia de los amperímetros y voltímetros de hierro móvil es un poco elevado, suele ser de 3.5 a 5 VA. Estas pérdidas no tienen importancia alguna en medidas industriales. Tampoco son de importancia los errores que causan en estos instrumentos los efectos de frecuencia y forma de onda, efectos de temperatura y efectos de campos parásitos.

Los instrumentos modernos tipo panel llevan su equipo de medida y accesorios eventuales en una caja que queda detrás del cuadro, por la parte frontal sólo se ve la escala del aparato enmarcada por el socalo de empotramiento.

En la figura N° 5 se muestra esquemáticamente las partes constitutivas principales de un instrumento de hierro móvil y en la Fig. N° 6 sus conexiones ya como amperímetro o voltímetro.

## MEDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA.

### VATÍMETROS.

Para la construcción de vatímetros se utilizan los mecanismos electromagnéticos, térmicos y electrodinámicos; se construyen también vatímetros electrónicos. En vatímetros para cuadros de distribución de centrales eléctricas se emplea el principio electrodinámico, existiendo entre estos, los vatímetros con m

oleo de aire y con núcleos de hierro e ferrodinámicos.

El vatímetro electrodinámico consiste principalmente de dos bobinas fijas o de corriente de hilo grueso conectadas en serie o en paralelo según la intensidad de corriente, y una bobina móvil de tensión de hilo delgado conectada en serie con una resistencia elevada, por la que circula a través de un par de muelles una corriente proporcional a la tensión aplicada. Al ser activadas las bobinas producen campos magnéticos desplazándose la bobina móvil de tal modo que el campo común sea máximo. Este desplazamiento origina el movimiento de la aguja indicadora solidaria del elemento móvil.

El elemento móvil está sometido a la acción de los muelles de control que proporcionan un par antagonista proporcional al ángulo de desviación.

El par motor medio total desarrollado por el mecanismo es proporcional a las corrientes que circulan por las bobinas y a la variación de la inductancia mutua con el ángulo de desviación. En los vatímetros utilizados en la práctica esta última cantidad es mantenida constante. Al ser la corriente de la bobina móvil proporcional a la tensión, para una posición dada de la bobina, el par será proporcional al producto de la intensidad de la corriente por la tensión en aquel instante o, lo que es lo mismo a la potencia instantánea en el circuito, por tanto este par varía de un instante a otro, variación que no puede ser seguida por la bobina móvil debido a su inercia. Las desviaciones que experimenta son proporcionales al par medio o a la potencia media, en conse

cuencia la escala es uniforme.

Los vatímetros ferrodinámicos funcionan bajo el principio electrodinámico y son los que más se utilizan en tableros de control. Con la adición de un núcleo de hierro se logra aumentar el par de giro y se protege al instrumento de la influencia de campos externos.

Sus principales partes constitutivas son: la bobina de corriente arrollada sobre un núcleo de hierro; la bobina móvil que gira en un entriero circular establecido por un anillo de hierro; resistencias que proporcionan diferentes márgenes de tensión; muelles que producen el par antagonista y sirven al mismo tiempo para conducir la corriente de la bobina de tensión; la cámara de aire que proporciona la amortiguación que permite ajustar la aguja rápidamente, casi sin oscilación. Esta construcción hace posible una longitud de escala de aproximadamente  $250^\circ$  siendo su distribución uniforme. Los errores suelen ser mayores en instrumentos de este tipo que en los de núcleo de aire. Se construyen instrumentos para cuadros de distribución con exactitudes nominales del 1%.

En instalaciones trifásicas de cargas desequilibradas, sin conductor neutro, la potencia se mide mediante la conexión de dos vatímetros, siguiendo el teorema de Blondel que dice: "La potencia en un circuito de líneas  $n$ , se puede medir con  $n$  elementos de vatímetros dispuestos de modo que cada una de las  $n$  líneas contenga una bobina de corriente, estando conectadas las correspondientes bobinas de potencial entre cada línea y un punto común. Si el punto común está sobre una de las líneas, la potencia se puede me-

dir mediante  $n-1$  elementos".

Si el factor de potencia es inferior a 0.5 uno de los vatímetros da lecturas inversas por lo que la potencia total será la suma algébrica de las dos lecturas. En la práctica los dos vatímetros se combinan en uno solo, es decir, las bobinas móviles están montadas en el mismo eje de giro, por consiguiente es automática la suma algébrica de las potencias parciales medidas en ambos elementos.

Para especificar un vatímetro se necesita la potencia a plena escala en vatios, la tensión nominal, que es la del circuito, y la corriente nominal, que es la máxima corriente que debe soportar la bobina con los márgenes de seguridad debidos ( $\pm 40\%$ ). - Se construyen vatímetros con valores nominales hasta de 750 V. y 50 A.; pero en mediciones prácticas se emplean vatímetros de 5 amperios 120 V. utilizando transformadores de medida. Un esquema de las conexiones de un vatímetro está representado en la Pg. N° 7

#### VATÍMETROS.

Son en esencia vatímetros conectados en tal forma que la tensión en los terminales de las bobinas de potencial resulta defasada en  $90^\circ$  con respecto a la tensión de línea. Esto se debe a que la potencia activa es  $P = E.I. \cos \varphi$ , cantidad a la cual responde un vatímetro ordinario; como  $\cos (\varphi - 90) = \text{Sen } \varphi$  es decir, retrasando  $90^\circ$  la tensión tenemos E.I.  $\text{SEN } \varphi$ , o sea el valor de la potencia reactiva.

## CONTADORES DE ENERGIA.-

La energía eléctrica es la integral de la potencia en un tiempo determinado. Un contador de energía es un instrumento que realiza la integración de la potencia con respecto al tiempo para medir la energía. Esta medición la realiza con gran exactitud dentro de amplios márgenes de carga, factor de potencia y temperatura.

Los contadores de energía más difundidos son los de tipo con motor electrodinámico, que pueden funcionar con corriente continua o alterna, y los contadores de inducción utilizados sólo en corriente alterna. El precio y el elevado consumo de los primeros limita su campo de aplicación a corriente continua. En tanto que los segundos, tienen como ventaja, su precio bajo, su robustez, consumo propio mínimo, funcionan perfectamente sobre circuitos monofásicos o trifásicos y con cargas equilibradas o desequilibradas.

Los elementos principales de un CONTADOR DE INDUCCION son los siguientes: el núcleo laminado con tres expansiones, una superior y dos inferiores; la bobina de tensión colocada en la expansión superior del núcleo, constituida por muchas espiras de hilo fino y conectada en derivación con la línea; las bobinas de corriente colocadas en los apéndices inferiores del núcleo, constituidas de pocas espiras de hilo grueso, conectadas en serie con la línea y devanadas de tal forma que el flujo que producen tengan sentidos opuestos; el rotor o disco de aluminio que gira alrededor de un eje; los imanes de frenado o retardadores construidos con aleaciones de gran intensidad magnética; un pequeño arrollamiento auxiliar llamado bobina de retardo cuyo circuito se cierra a través de

una resistencia exterior; una pequeña plancha estampada y su palanca de accionamiento y por último, el mecanismo registrador que cuenta las revoluciones del rotor en función de la constante del instrumento.

En principio, un contador de inducción es un pequeño motor cuya velocidad instantánea es proporcional a la potencia y cuyo número de revoluciones en un tiempo dado es proporcional a la energía consumida en ese intervalo de tiempo.

La bobina de tensión que puede ser considerada absolutamente reactiva (de resistencia despreciable), al ser excitada produce un flujo "de potencial" de variación senoidal y retardado  $90^\circ$  eléctricos respecto a la tensión de línea. Parte de este flujo se encierra dentro del núcleo de la bobina de potencial y la otra parte, "flujo útil", atraviesa el disco e induce en él una corriente  $I_e$ .

Al circular la corriente de carga por las bobinas respectivas, debido al carácter resistivo de éstas, se produce también un "flujo útil de corriente" en fase con la corriente de carga, y que circula por el disco rotor induciendo en él una corriente  $I_i$ .

Parte de la corriente inducida  $I_e$  circula en la región del flujo de corriente y al reaccionar entre sí estas dos cantidades producen un par motor que es igual a su producto vectorial y que varía con una frecuencia igual al doble de la frecuencia de la línea. De igual manera, al reaccionar el flujo de potencial con la corriente inducida  $I_i$  se produce un par igual al anterior -

pero de tal forma que mientras su valor disminuye el valor del primero aumenta. La suma en cada instante de estos dos pares da el par motor total de excitación.

Cuando el factor de potencia de la carga es igual a la unidad el valor del par motor es máximo; como el factor de potencia llega a ser menor que la unidad, el par decrecerá proporcionalmente a dicho factor ya que se producen desfases en el flujo de corriente y en las corrientes de Foucault que induce dicho flujo. Así pues, cuando el factor de potencia es 0.5, aunque la amplitud de variación de los pares es la misma, el valor medio de estos pares se reduce a la mitad y el par motor total también es la mitad. Si el factor de potencia es igual a 0 el par motor total se anula. De esa manera resulta que el par motor es proporcional al producto de la tensión de línea, corriente de carga y el coseno del ángulo de fase entre ellas, es decir, a la potencia del circuito.

Los imanes permanentes proporcionan al sistema una cupla resistente. El flujo del imán al ser cortado por el disco en movimiento induce en el disco una F.e.m. que da lugar a corrientes inducidas que circulan radialmente debajo de cada polo magnético. Esta corriente produce una fuerza que se desarrolla a cierta distancia del sistema móvil originando el par resistente.

Las corrientes inducidas en el disco igual que el par resistente que originan son proporcionales a la velocidad del disco. El sistema adquiere una velocidad constante cuando el par retardador equilibra al par excitador, de esta manera el par resig

tente es proporcional a la velocidad y al par motor el que a la vez es proporcional a la potencia de la carga. Con velocidad proporcional a la potencia, el número de revoluciones del disco en un tiempo determinado será proporcional a la energía.

La velocidad con la cual se equilibran los dos pares está relacionada con la constante del instrumento que da un cierto número de revoluciones por kWh; es decir, que un ajuste del instrumento puede hacerse variando el par resistente, lo que se logra variando la posición del imán permanente con respecto al disco. Este ajuste se lo hace cuando el medidor trabaja a plena carga y con factor de potencia 1.

Para que el registro del contador sea correcto el flujo de la bobina de tensión debe estar retrasado  $90^\circ$  con respecto a la tensión de línea. Como esta bobina tiene alguna resistencia y no es completamente reactiva se retrasará menos de  $90^\circ$ , lo que introduce un error considerable para bajos factores de potencia. Para realizar esta compensación se emplea la bobina de retardo que enlaza el flujo de potencial y produce una f.e.m. que se opone a dicho flujo. El ajuste propiamente se lo realiza variando la resistencia exterior que cierra el circuito de la bobina de retardo. En algunos casos en lugar de esta bobina hay una placa de compensación.

Se realiza también en los contadores el ajuste con carga ligera con lo que se consigue que la velocidad del disco sea correcta con poca carga.

Cuando el medidor registra el consumo de pequeñas

cargas los errores son mayores que a plena carga. La causa de ello es un par originado por el flujo de potencial actuando solo debido a la desimetría del estator con respecto al disco. El ajuste con carga ligera se realiza mediante la adición de un circuito magnético, llamado placa de carga ligera, en el camino del flujo útil de potencial, con lo cual se logra producir un par compensador controlado.

La fricción es otra de las causas que producen error. Para eliminar el error por fricción se añade en uno de los extremos del circuito magnético de tensión una espira cerrada de material conductor con lo que se logra atrasar el flujo que pasa por este extremo lo cual produce un par del mismo signo del motor. En muchos casos la placa de carga ligera sirve también para compensar la cupla de fricción.

Cuando se efectúan correctamente los ajustes, de plena carga, el ajuste inductivo o de retardo y el de carga ligera se considera que un contador de energía está completamente ajustado admitiéndose, naturalmente, errores dentro de ciertos límites.

En la actualidad se construyen contadores de gran exactitud y buen funcionamiento dentro de amplios límites de condiciones de carga. Así, se miden desde 0.1 hasta 4 de la corriente nominal; 80-120 % de la tensión nominal; factores de potencia desde 0.2 en retardo a 0.2 en adelante y temperaturas desde  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+75^{\circ}\text{C}$ . Los errores que involucran estas variaciones son compensadas por diseños prolijos de los diferentes elementos del contador.

Cada fabricante da para un determinado contador la curva media de carga de éste en función de la relación del contador (relación entre las lecturas del contador y los wátios-hora verdaderos) y la carga, así como también las curvas de errores del medidor dependientes de las variaciones de tensión, frecuencia, temperatura y factor de potencia. Claramente puede verse en ellas que los errores son relativamente bajos.

El mecanismo integrador que es el que registra los wátios-hora en función de la constante del contador, consiste en varios tambores numerados movidos por un juego de engranajes accionados, a su vez, por un piñón fresado con dientes oblicuos o un tornillo sin fin que lleva el eje del disco. Este mecanismo ha sido perfeccionado de tal suerte que se ha reducido varias veces las pérdidas por fricción y practicamente no se producen fenómenos de desgaste ni se necesita lubricación ni cuidado de conservación.

Para medir la energía en sistemas polifásicos se aplica el teorema de Blondel anteriormente mencionado, pudiendo combinarse las partes principales de los contadores monofásicos. Así pues, para medir la energía en un sistema trifásico trifilar se utilizará un contador con dos elementos, es decir, 2 estatores, 2 rotores. Aunque generalmente se utilizan dos discos, puede ser utilizado uno solo de construcción especial lo que tiene como ventaja un menor volumen y menor peso soportado por los cojinetes.

Se construyen contadores con rangos de corriente que van de 1 a 150 Amp. y tensiones nominales de hasta 650 V. Los

contadores de transformador tienen como tensiones y corrientes nominales generalmente 120 V. 5 A., respectivamente y pueden ser con mecanismo contador de primario o con mecanismo contador de secundario. Los primeros dan lecturas directas, mientras que en los segundos las lecturas se multiplicarán por el producto de las relaciones de tensión y corriente de los transformadores. En las centrales generadoras donde se miden grandes valores de energía se emplean contadores trifásicos trifilares de transformador de gran precisión.

#### APARATOS REGISTRADORES.

En las centrales eléctricas es conveniente disponer de registros de corriente, tensión y potencia en función del tiempo con lo que es factible el control de las instalaciones eléctricas y la comprobación posterior de los procesos del servicio y de las perturbaciones. Con este objeto se han ideado los instrumentos registradores.

En su construcción fundamental, estos instrumentos coinciden en todo con los instrumentos de indicación; no obstante, se procura asegurar un par motor relativamente grande con el fin de vencer la fricción producida por la inscripción.

Se clasifican en dos grupos, (1) Registradores de acción directa, en los que el mecanismo indicador mueve el elemento marcador; (2) Aparatos del tipo de relé, en los que es necesario un mecanismo intermedio para producir el movimiento de la pluma. Además pueden ser, de registro continuo y de registro intermitente.

Normalmente se emplean en las centrales inscriptoras de acción directa y registro continuo. En éstos, el elemento móvil mueve la pluma registradora, que consiste en un tubo capilar uno de cuyos extremos toca la banda de papel mientras el otro se lo introduce en un tintero de plástico.

La banda de papel es normalmente de 120 mm. de ancho y unos 300 m. de largo y está calibrada en función del tiempo en el eje de las abscisas y en función de la magnitud medida en el eje de las ordenadas. Si el registrador es múltiple puede tener doble, triple, etc. escalas. Los avances más comunes son de 30 - 60-120-240 mm./h. El papel es convenientemente seleccionado para evitar cambios en sus dimensiones por variación de temperatura y humedad.

El mecanismo de arrastre consisten en un rodillo para presentar la banda de papel, un tambor de arrastre sincronizado y un carrete en el que se coloca la banda de papel. El tambor puede ser movido por un motor sincronico o un mecanismo de reloj.

### III-B.- APARATOS DE SINCRONIZACION

Para que los alternadores, al ser acoplados en paralelo, marchen en sincronismo deben ser cumplidas simultáneamente las tres condiciones siguientes: (1) idéntica tensión, (2) igual frecuencia, (3) igualdad de fases.

Los dispositivos y aparatos de medida que se emplean para la comparación de las tensiones, frecuencias y posición de fases (objeto de esta sección y de ellos se tratará luego) son, des

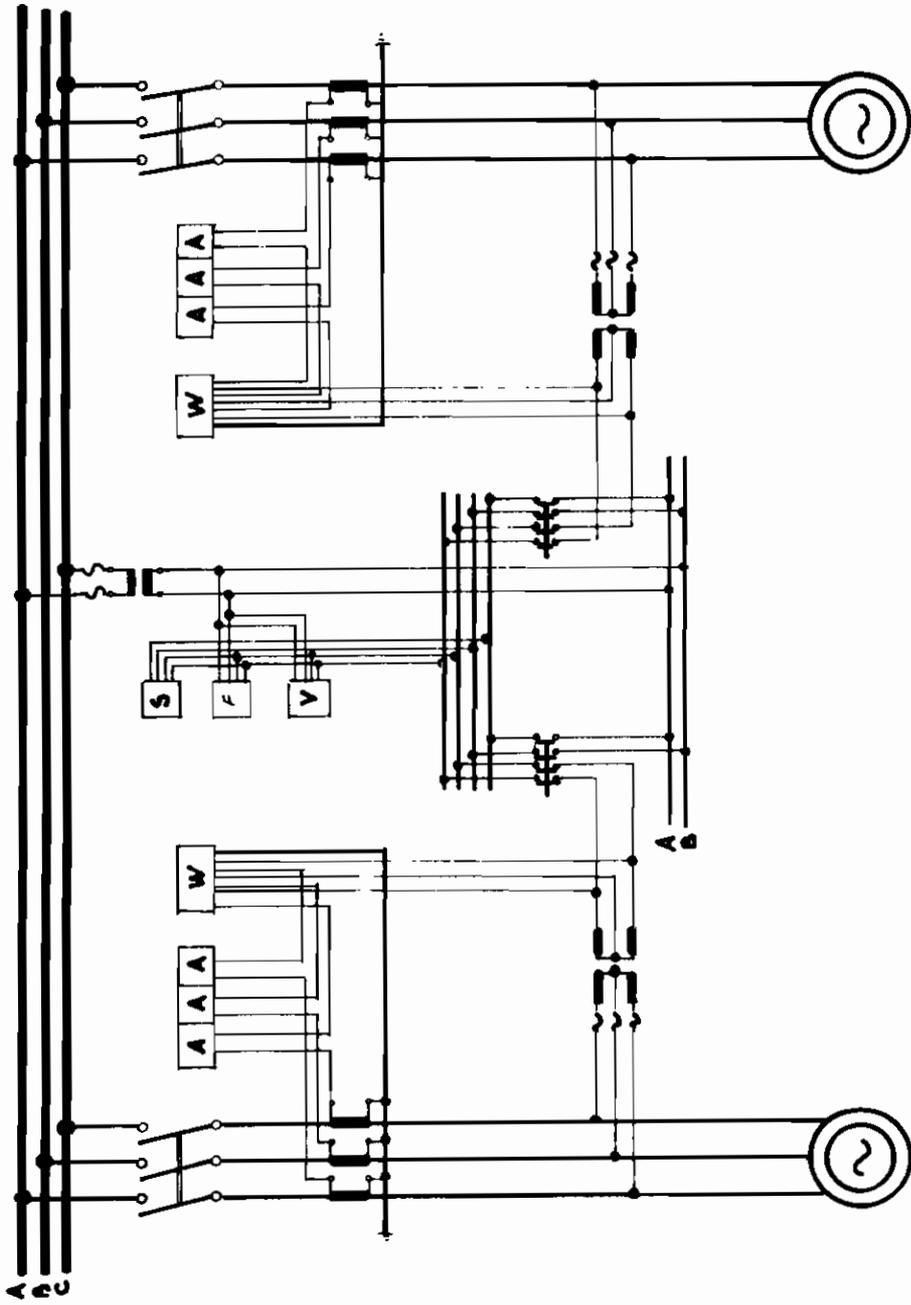


FIG. N°8  
ALTERNADORES TRABAJANDO EN PARALELO

voltímetros o uno con doble escala para mayor facilidad de las lecturas; un frecuencímetro de doble escala, uno de cuyos sistemas se encuentra conectado con la tensión de las barras colectoras y el otro con la del alternador a conectar en paralelo; un sineronescopio en el cual se observará la igualdad de fases.

Suponiendo que una de las máquinas se encuentra en funcionamiento, se dan los siguientes pasos para acoplar en paralelo al otro alternador:

1º.- Se comprueba todas las conexiones asegurándose que son correctas y sólidas.

2º.- Se realiza la conexión del alternador en referencia y las barras de sincronización.

3º.- Se pone en marcha la máquina de accionamiento y observando el taquímetro se regula hasta la velocidad normal.

4º.- Se excita el alternador a ponerse en paralelo; observando el voltímetro se regulará la excitatriz hasta que coincidan las tensiones de los dos alternadores.

5º.- En el sineronescopio se observará la posición de la aguja la que oscilará de un lado a otro mientras haya desigualdad de fases, de la dirección de la desviación de la manecilla se deduce si el generador debe girar más rápido o más despacio. En el momento de sincronismo, la aguja coincidirá con la marca que posee el aparato.

6º.- Simultáneamente al paso anterior se regulará

la velocidad de la turbina, operación que se realiza desde el cuadro de maniobra mediante un dispositivo eléctrico maniobrando por un conmutador giratorio que vuelve automáticamente a la posición de desconexión al saltarse su mango. La variación de la velocidad se observará en el sincronoscopio y los frecuencímetros colocados con este objeto.

7º.- Establecido el sincronismo se acopla en paralelo los dos alternadores.

Si una de las dos máquinas tiende a disminuir su marcha o a acelerarse, la diferencia de fases entre los vectores de las tensiones da origen a una "corriente sincronizante" que circula entre las máquinas y que tiende a acelerar el alternador que perdía velocidad y a frenar al que aceleraba, de esta manera evita que los alternadores salgan de su marcha sinorónica.

El sincronoscopio y los otros aparatos se conectarán a barras de sincronización, que a su vez se conectan a los secundarios de los transformadores de tensión cuyos primarios se enlazan a las barras principales. Las conexiones se establecen entonces entre el alternador que entra en servicio y las barras de sincronización por medio de un interruptor de clavijas.

Una vez acoplados en paralelo los alternadores se procede a repartir la carga entre ellos. Esta repartición no se la hace variando los campos inductores como en el caso de generadores de corriente continua sino que es necesario accionar los reguladores de las máquinas metrices de modo que se admita mayor o menor cantidad de agua, siendo indispensable para que la reparti-

ción sea uniforme que las características de velocidad-carga de dichas máquinas sean iguales. Al propio tiempo se modifica la excitación de los generadores para acomodarla a las nuevas condiciones. La variación de excitación no afecta en sí mismo a la repartición de la carga, sino que reduce al mínimo las corrientes reactivas que tiende a producirse en los alternadores para igualar sus tensiones en bornes.

#### **FRECUENCIETROS.**

Son instrumentos de medidas empleados para vigilar la frecuencia y la puesta en paralelo, además permiten conocer con mucha exactitud la velocidad de la máquina a la cual es proporcional la frecuencia.

Hay dos son los tipos de frecuencímetros generalmente empleados en las centrales generadoras: el frecuencímetro de lengüetas y el frecuencímetro de aguja. El primero emplea como principio de funcionamiento, la resonancia mecánica y el segundo, la resonancia eléctrica o la variación, con la frecuencia, de las características eléctricas de circuitos en paralelo.

#### **FRECUENCIETRO DE LENGÜETAS VIBRANTES**

Está constituido por un cierto número de lengüetas de acero sintonizadas a una serie de frecuencias cuidadosamente graduadas; llevan cada una un índice blanco en su extremo, el cual, al vibrar la lengüeta, parece aumentar su dimensión; la lengüeta vibrante señala la frecuencia que puede leerse en una escala graduada en ciclos por segundo.

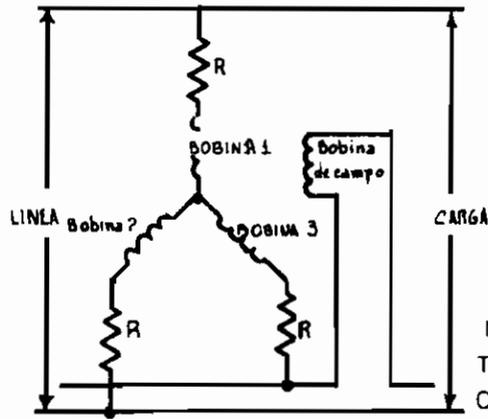
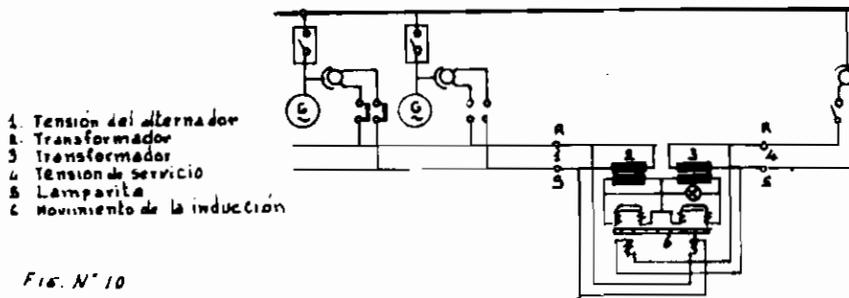


FIG. N° 9  
INDICADOR DE FACTOR DE POTENCIA TRIFILAR TRIFASICO CON ASPA POLARIZADA



1. Tension del alternador
2. Transformador
3. Transformador
4. Tension de servicio
5. Lamparita
6. Movimiento de la induccion

Fig. N° 10  
ESQUEMA FUNDAMENTAL DE UN SINCROSCOPIO

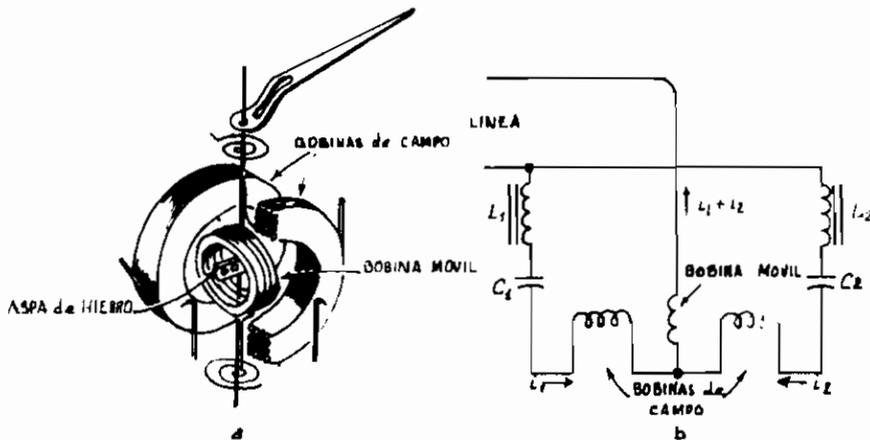


Fig. N° 11 INDICADOR ELECTRODINAMICO DE FRECUENCIA MODIFICADO

Detrás de las lenguetas hay un electroimán cuyo arrollamiento está excitado por el circuito cuya frecuencia se desea determinar. Un imán permanente mantiene inmóviles las lenguetas de modo que no sean atraídas por el electroimán (polarizadas).

Cuando el electroimán está excitado, por resonancia se pone en movimiento la lengüeta cuya frecuencia propia es igual al número de variaciones de polaridad, este es el doble de la frecuencia de excitación.

Estos aparatos no son muy exactos pero tienen como ventaja, que no involucran mayores errores las variaciones de tensión y de temperatura y también, el efecto de distorsión es muy pequeño ya que sus indicaciones dependen sólo de la frecuencia fundamental.

#### FRECUENCIÓMETRO DE AGUJA.

Existen algunas formas de construcción de estos instrumentos empleándose los mecanismos electrodinámicos, de hierro móvil y de inducción son circuitos resonantes ya sea serie o paralelo que producen variaciones de corriente con el cambio de frecuencia, uno de estos instrumentos muy empleado en la observación de la frecuencia en centrales y redes de distribución es el llamado frecuencímetro electrodinámico con aspa de hierro que funciona a base de los principios electrodinámico y de hierro móvil combinados.

Sus principales partes constitutivas son: una bobina móvil pivoteada, dos bobinas de campo fijas, muelles en espiral

de poco par de torsión, una aguja, una escala, y las partes sustentoras respectivas, además posee una aspa de material magnético montada sobre el elemento móvil (lo cual lo diferencia del mecanismo electrodinámico simple).

Las bobinas fijas están debanadas de tal forma que las corrientes que circulan por ellas produzcan campos opuestos. - Estas corrientes pasan previamente por circuitos resonantes serie L C que están sintonizados a una frecuencia, en un determinado porcentaje, en el uno mayor, y en el otro menor, de la frecuencia fundamental. El campo efectivo producido por las bobinas produce un par que origina el desplazamiento del elemento móvil. Este par es equilibrado por otro par producido por el flujo del campo efectivo sobre el aspa magnética en el elemento móvil.

De esta manera se logra que el desplazamiento angular sea función de las impedancias del circuito y del cos.  $\phi$ , que a su vez son funciones de la frecuencia, más no de la tensión; no están, por tanto, las indicaciones del aparato influenciadas por las variaciones de tensión lo cual es una ventaja. Un esquema de este instrumento y sus conexiones se representa en la Vg. N° 11

#### FASIMETROS.

"El ángulo de fase o diferencia angular entre las cantidades periódicas es el número de grados, o radianes, entre puntos correspondientes de su variación periódica. Cuando las dos cantidades son sinusoidales, como puntos de referencia suelen elegirse los de paso por cero desde valores positivos a negativos". La diferencia angular puede referirse a dos tensiones, dos corrientes

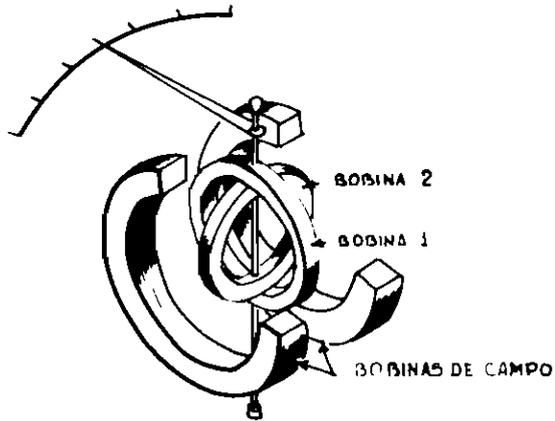


FIG. N° 12  
 MECANISMO INDICADOR DE FACTOR DE  
 POTENCIA CON BOBINA CRUZADA

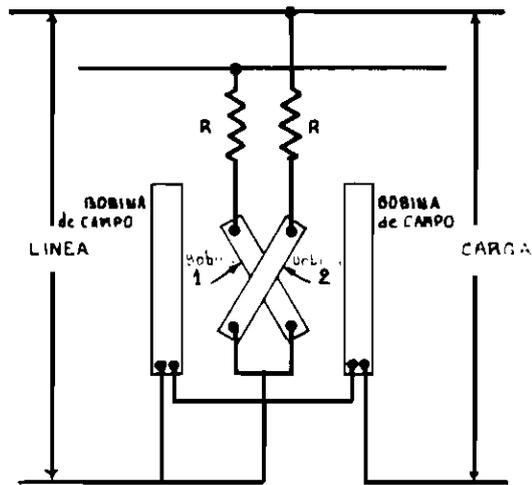


FIG. N° 13  
 INDICADOR DE FACTOR DE POTENCIA TRIFILAR  
 TRIFASICO CON BOBINAS CRUZADAS

tes, e a una tensión y una corriente.

Un instrumento que mide la diferencia angular entre la tensión y la corriente, si su escala está graduada en intervalos angulares iguales, se llama fasímetro, y si su escala está graduada según los cosenos del ángulo de fase, se denomina, medidor del factor de potencia.

Para la construcción de estos aparatos se emplean los principios electrodinámico y de hierro móvil, sea para circuitos monofásicos e trifásicos con cargas equilibradas e desequilibradas. Entre los fasímetros electrodinámicos tenemos los llamados de bobinas cruzadas y los instrumentos electrodinámicos en caja de hierro e ferrodinámicos. El llamado fasímetro de aspas polarizadas es un ejemplo de los instrumentos de hierro móvil.

#### FASÍMETRO DE BOBINAS CRUZADAS

La representación esquemática para aparatos de este tipo para circuitos trifásicos y monofásicos se muestra en la Fig. N° 12. El mecanismo utilizado es similar al de los vatímetros electrodinámicos con núcleo de aire, antes descritos, con las diferencias siguientes: en vez de una bobina móvil existen dos bobinas móviles cruzadas, y las espirales por las que se alimenta al elemento móvil ejercen un pequeñísimo par de torsión sobre el elemento móvil. En los instrumentos monofásicos las bobinas móviles están orientadas perpendicularmente entre sí y colocadas a la línea mediante una resistencia la una, y una reactancia la otra, por tanto, las corrientes que por ellas circulan están en fase y retrasada  $90^\circ$  con respecto a la tensión de línea, respectivamente. En los trifásicos los ejes de las dos bobinas forman un ángulo de  $60^\circ$  y están conectados a la línea únicamente mediante resistencias.

En este mecanismo, las corrientes que circulan por las bobinas móviles reaccionan con las corrientes de las bobinas fijas o de campo produciendo pares que son proporcionales a las respectivas corrientes y a la variación, con el desplazamiento angular, de la inductancia mutua existente entre cada bobina móvil y las bobinas de campo. Las conexiones de las bobinas son tales que los dos pares se oponen mutuamente de modo que no habrá desplazamiento del elemento móvil cuando los dos pares sean iguales ya que las espirales ejercerán, por diseño, un par despreciable. Se demuestra de este modo que la desviación angular del elemento móvil en grados es igual al ángulo de fase existente entre las corrientes y la tensión.

Las indicaciones serán correctas en circuitos polifásicos siempre que haya equilibrio entre las tensiones y las corrientes de otra manera sus indicaciones llevarán errores.

Para circuitos trifásicos desequilibrados se utiliza un fasímetro con dos elementos, que consiste en dos mecanismos de bobinas cruzadas montadas sobre un mismo eje. Las conexiones de las bobinas móviles de cada elemento se realiza de tal manera que la corriente de una de ellas esté en fase con la tensión de la línea y la otra retrasada  $90^\circ$ , de esta manera se producen dos pares, uno proporcional a los vares y otro proporcional a los vares del circuito y ambos, proporcionales al ángulo de desviación. Estos pares se oponen entre sí, resultando que la desviación angular del elemento móvil es igual al ángulo de fase. La Fig. N° 13 muestra las conexiones de este instrumento.

#### FASIMETRO ELECTRODINAMICO EN CAJA DE HIERRO

Son lo que generalmente se emplean en los tableros

de control y su construcción es similar a los vatímetros ferrodinámicos descritos anteriormente, con las variaciones anotadas en los instrumentos de bobinas cruzadas. Sus principales elementos son: un anillo de hierro para cerrar el circuito magnético, un núcleo de hierro que lleva las bobinas fijas e de campo, en el entre-hierro formado por el anillo y el núcleo se colocan las bobinas móviles. El funcionamiento y todo lo dicho anteriormente para los fasímetros de bobinas cruzadas es válido para los de este tipo.

#### FASÍMETROS DE ASPAS POLARIZADAS.

Se los emplea generalmente en el caso en que la energía puede fluir en cualquier sentido ya que se puede hacer uso de una escala de  $360^\circ$ . Sus principales elementos son: las bobinas de campo que forman un elemento similar al estator de un motor trifásico; una bobina polarizante fija por la cual circula la corriente de línea, el elemento móvil constituido por un par de aspas magnéticas fijas a los terminales de un manguito de ferroniquel, y orientadas en dirección opuesta y que son magnetizadas por la bobina polarizante. El elemento móvil está libre de fuerzas de control.

Las bobinas de campo son tres, espaciadas entre sí  $120^\circ$ . En instrumentos monofásicos estas bobinas están conectadas a la línea mediante una resistencia, una inductancia y una capacidad, cuyos valores son tales que hacen que la corriente por la bobina esté en fase con la tensión de línea y las corrientes de las otras dos estén retrasadas, la una, y adelantada la otra, en  $60^\circ$ . La primera bobina tiene su conexión invertida con lo que se logra que el desplazamiento entre las tres corrientes sean de  $120^\circ$ . En un sistema trifásico se emplea solamente resistencias

en serie con las bobinas ya que en éste se obtiene de la propia línea las relaciones de fase. Con esta disposición se obtiene un campo giratorio dentro del cual está el elemento móvil con sus aspas magnetizadas por la corriente de línea, lo que hace que tienda a alinearse con la dirección del campo giratorio, es decir, se produce un par que origina una desviación angular igual al ángulo de fase.

### SINCROSCOPIO.

Son instrumentos que indican cuando las máquinas están en la relación de fase apropiada para poderlas acoplar en paralelo y además, si la velocidad de la máquina a acoplarse es la correcta. Cualquier principio que sea utilizable para la determinación del ángulo de fase puede emplearse para la determinación del sincronismo. Los más comunes son lo que utilizan el principio electrodinámico y el de hierro móvil siendo éste el más utilizado ya que con el se puede tener un desplazamiento de  $360^\circ$  del elemento móvil.

La Fig. 9 muestra las conexiones de un sincronoscopio que es una variante del fasímetro de aspas polarizadas. La bobina polarizante se conecta a la tensión de la máquina en servicio, mientras que las bobinas de campo, que para este caso son sólo dos, lo hacen en la tensión de la máquina que se va a acoplar mediante un circuito de fase partida con resistencia y capacidad. Las corrientes en estas dos bobinas están defasadas entre sí  $90^\circ$ , y la corriente de una de ellas en atraso  $45^\circ$  con la tensión; de este modo, se consigue un campo que gira en el sentido de las agujas del reloj. De esta manera, cuando la máquina a acoplarse en paralelo es acelerada, la aguja del sincronoscopio se desplazará indicando

el ángulo de diferencia de fase y al mismo tiempo, según la dirección de rotación, si el alternador gira demasiado de prisa o lento. Al establecerse el sincronismo la aguja queda quieta y coincide con la marca en el centro de la escala que indica que el ángulo de fase es cero.

El sincronoscopio que emplea el principio electrodinámico es similar a un voltímetro de este tipo. La bobina fija se conecta a las barras colectoras (máquina en servicio) en paralelo con una resistencia y la bobina móvil a la máquina entrante mediante un condensador también en paralelo. Si las dos tensiones están en fase, no se ejerce ningún par rotor sobre el elemento móvil y la aguja permanecerá en posición vertical. Con cualquier desfasamiento, la aguja se desviará hacia un lado u otro según la máquina se adelante o atrase. Como tampoco habrá par motor cuando las tensiones sean opuestas, la aguja permanecerá vertical también en este caso; por esta razón, se dispone de una lámpara sincronizadora que estará prendida en el momento del sincronismo y apagada completamente cuando las fases sean opuestas lo que impide que se vea la aguja que está detrás de un cristal esmerilado. Si la velocidad del alternador entrante es excesiva o insuficiente se verá una sucesión de sombras de la aguja girando en el sentido del reloj o al contrario, respectivamente indicando, por tanto, que no hay coincidencia de frecuencia. Un esquema de la conexión fundamental de este tipo de aparato se muestra en la Fig. N°10

En las modernas centrales son empleados los aparatos de sincronización automática para la puesta en paralelo de los alternadores. Están compuestos de:

1.- De un sincronizador que actúa sobre el motor que comanda al regulador de velocidad de las turbinas, obteniéndose sí la igualdad de frecuencia.

2.- De un relé que interviene sólo cuando la velocidad se ha disminuido mucho.

3.- De un relé diferencial que actúa cuando las dos tensiones son iguales.

4.- De un relé de tiempo regulable, que manda el cierre del interruptor principal, cuando se han cumplido las condiciones de sincronización.

### III.-C.- APARATOS DE REGULACIÓN

Para proporcionar un adecuado servicio y un buen funcionamiento del grupo turbina-alternador es imprescindible en toda instalación eléctrica mantener constantes la tensión y la frecuencia (velocidad), de ahí que es de gran importancia realizar la regulación de estas magnitudes que varían constantemente al variar la carga.

#### REGULACION DE TENSION

Como se verá posteriormente, cada unidad generadora estará equipada con una excitatriz piloto y una excitatriz principal montadas sobre el eje del alternador. La excitatriz piloto suministra, a voltaje constante, la potencia a la excitatriz principal, la cual, a su vez, proporciona la corriente de excitación al arrollamiento inductor del alternador. Mediante variaciones -

de esta corriente se logra, a velocidad constante, una estabilización de la tensión en el valor deseado.

Con esta disposición se obtiene un campo de regulación suficientemente grande y estable lo cual es esencial ya que, por una parte, se presentan ocasiones en las que trabajando el generador a plena carga se originan sobretensiones pequeñas, por ejemplo 5 %, que aumentan la corriente de excitación a dos o tres veces su valor correspondiente en vacío, como esta corriente es proporcional a la tensión de la excitatriz, esta tensión debe ser regulable entre los mismos límites. Por otro lado, circunstancialmente puede el generador trabajar con carga capacitiva, entonces la f. m. m. de excitación necesaria es menor que en el caso en vacío, luego la corriente de excitación es también menor; por tanto, se debe poder controlar el voltaje de excitación de la máquina principal de manera de suprimir los cambios bruscos del voltaje regulado y evitar la producción de voltajes oscilantes durante los cambios de carga y también durante los cortocircuitos que puedan ocasionarse.

La excitatriz piloto irá provista de un reóstato en serie con su arrollamiento de campo accionado por un motor eléctrico el cual se opera manualmente mediante un botón colocado en el pupitre de control; posee además protección automática de sobre-voltaje mediante un relé que opera adicionando resistencias en serie con el campo para reducir el voltaje. Luce de control se prevén en el pupitre que muestran la posición del reóstato de campo. Este reóstato no está previsto para la regulación de tensión y sirve solamente para obtener el valor deseado de la tensión de la dinamo piloto.

La energía de salida de la excitatriz piloto fluye a través del interruptor automático de campo, del reóstato de campo, y los devanados del campo de la excitatriz principal. El reóstato de campo se accionará mediante un motor eléctrico provisto de un control manual para bajar o elevar el voltaje presionando el botón correspondiente en el panel de control; Al cerrarse el interruptor del circuito de campo del alternador, se ajusta el reóstato de campo de la excitatriz principal hasta obtener el voltaje nominal luego se pone en operación al regulador automático de tensión mediante el correspondiente conmutador. De igual forma esta excitatriz dispondrá de los aparatos de protección necesarios y de luces de indicación que muestren la posición del reóstato y el regulador.

Son por lo tanto, dos los aparatos empleados para la regulación de la tensión: el reóstato de campo del sistema de excitación y el regulador automático de tensión.

#### REOSTATO DE CAMPO

Estos reguladores de campo son resistencias regulables, constituidas por bandas o espiras de alta resistividad dispuestas en secciones múltiples cuyas conexiones son llevadas a una serie de contactos. Un manubrio o un volante provistos de piezas apropiadas que frotan sobre los contactos mencionados, permiten insertar en el circuito una mayor o menor resistencia. El mando puede hacerse a distancia con motor de accionamiento adosado de modo que la maniobra se realice mediante botones colocados en el cuadro de control.

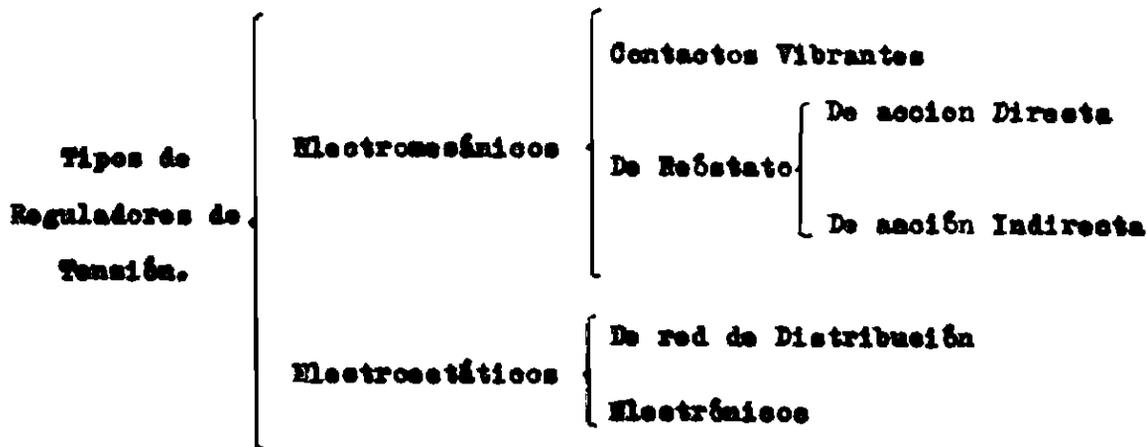
En combinación con algunos contactos existen lámparas de señalización para indicar la posición del regulador. Poseen también contactos especiales que sirven para poner en corto-circuito sobre sí mismo el arrollamiento de excitación el cual es fuertemente inductivo y si se abriese bruscamente durante el paso de una corriente, la energía magnética en él contenida daría origen a una sobretensión que podría dañar el arrollamiento. Estos reóstatos van protegidos con una caja con amplios orificios de ventilación.

#### REGULADORES AUTOMÁTICOS DE TENSION.

Los alternadores continuamente están sometidos a variaciones de carga, es necesario, por tanto, una variación también continua de la excitación para que la tensión se mantenga sensiblemente constante.

Por medio de los reóstatos pueden realizarse esta regulación a mano pero resulta inconveniente ya que a más de imperfecta necesita personal que esté vigilando continuamente. De ahí que en la mayoría de las centrales se utilizan los reguladores automáticos de tensión, los cuales, cuando se producen las fluctuaciones de carga, acomodan la excitación del modo más rápido a las nuevas condiciones de carga. En el presente caso la regulación se la hará en la corriente de excitación de la excitatriz, ya que puede hacerse también en la corriente de excitación del alternador lo cual en la actualidad se ha desechado debido a que es necesario intercalar en el circuito inductor grandes resistencias que originan pérdidas considerables.

Existen en la actualidad una gran variedad de reguladores automáticos de tensión los cuales pueden ser clasificados básicamente como indica el siguiente esquema:



Con mayor frecuencia se utiliza los reguladores electromecánicos, empleándose económicamente los de contactos vibrantes en centrales pequeñas; los de reóstatos de acción directa, en alternadores hasta de mediana potencia con excitadores individuales autoexcitados; el regulador automático de tensión de acción indirecta se emplea en alternadores de media y gran potencia, se aplica particularmente a sistemas que requieren una respuesta rápida en la excitación ya que pueden funcionar dentro de los tres ciclos que siguen al cambio de tensión; los reguladores electrónicos se emplean en las grandes centrales limitándose su uso por su elevado precio.

Aunque para el caso en estudio se empleará un regulador de reóstato de acción indirecta, en lo que sigue se hará una descripción breve del funcionamiento y principales partes constitutivas de los reguladores automáticos de tensión más conocidos.

## REGULADOR DE CONTACTOS VIBRANTES.

Se basa en la rápida apertura y cierre de un circuito introduciendo o suprimiendo resistencias en el circuito inductor, ordinariamente de la excitatriz, mediante contactos adecuados. Si se produce un gran descenso de tensión el cierre de los contactos deja en cortocircuito una parte del réstato de campo; si la tensión llega a ser demasiado elevada, se abren los contactos insertando resistencias en el circuito inductor. Debido a la inercia del campo de la excitatriz se obtiene un voltaje constante y su valor depende del tiempo relativo que la resistencia está dentro y fuera del circuito.

Uno de los tipos más comunes de estos aparatos es el regulador de voltaje Tirril. Este aparato regula automáticamente el voltaje del alternador entre límites muy estrechos por medio de relés que introducen o quitan resistencias en el réstato de campo de la excitatriz. Dichos relés son accionados por las variaciones de voltaje y la intensidad de la corriente de carga de las líneas que salen del alternador, a las que van conectadas por un transformador de tensión y uno de corriente.

Al aumentar la carga en el alternador habrá una corriente mayor a los bornes del secundario del transformador de corriente al que se conectan, por medio de interruptores de puntos múltiples, las bobinas de un solenoide (1) que al ser activado mueve una palanca que acciona un par de contactos (2) que cierran el circuito de una de las bobinas (3) de un relé diferencial que es excitado por la corriente continua procedente de la excitatriz. Este relé posee otra bobina (4) directamente conectada en deriva-



ción con el inducido de la excitatriz y está excitada normalmente en todos los instantes; estas dos bobinas (3-4) producen campos o puentes que se neutralizan permitiendo liberarse a una armadura (5) que es tirada por un resorte cerrando los contactos (6) que - están conectados en derivación con el rebátato de campo de la exci-tratriz y pueden disponerse de modo que pongan en cortocircuito la totalidad o una parte de esta resistencia. Cuando se suprime la re-sistencia de este rebátato aumenta el voltaje de la excitatriz aumentando así la intensidad de campo inducido y el voltaje del al-ternador.

Si el voltaje del alternador sube por encima de su valor nominal, aumentará el voltaje inducido en la bobina secundaria del transformador de tensión lo cual refuerza el campo de una bobina colocada en el solenoides (1) que actúa levantando la palan-ca con lo que se abren los primeros contactos (2) desactivando la bobina (3) del relé diferencial el cual quedará activado por lo que atrae a la armadura que abre los contactos (6) que suprimen el cortocircuito en el rebátato de la excitatriz y vuelve a poner la resistencia en serie con el inductor shunt.

El rebátato de campo de la excitatriz se pone en un punto tal que si se usara sólo el rebátato, mantendría un voltaje poco inferior al necesario en el sistema. El regulador automáti-co pondrá entonces en cortocircuito la resistencia del rebátato con la suficiente frecuencia para mantener el voltaje en su valor correcto lo que produce una oscilación o vibración continua de los contactos durante el funcionamiento de este aparato.

Estos reguladores son rápidos y sensibles, pero re-

quieron de un gran mantenimiento ya que posee muchas piezas móviles y en muchas ocasiones los contactos que abren y cierran rápidamente el circuito pueden soldarse ocasionando dificultades.

#### REGULADORES DE RESISTATO DE ACCION DIRECTA.

Hay algunos tipos de esta clase de reguladores siendo los más conocidos y empleados: el regulador tipo G D A, fabricado por la General Electric Company, en el que las resistencias que forman parte del propio regulador están constituidas por placas de grafito apiladas cuyo extremo posterior posee una pieza aislante que las separa unas de otras y el extremo anterior posee contactos de plata. Estas placas pueden oscilar gracias a una placa metálica colocada en el centro y según sea la inclinación hacia atrás o hacia adelante la resistencia que se intercala en el circuito inductor será máxima o mínima produciendo de esta manera la regulación de tensión. El movimiento lo comunica un electroimán activado con la tensión del alternador.

El regulador Silverstat, fabricado por la Westinghouse Electric Corporation, en el cual se intercalan o quitan resistencias en el circuito inductor para efectuar la regulación de tensión, mediante una serie de resortes de lámina unidos pero aislados entre sí y que son presionados por una armadura que consiste en un brazo accionado por un electroimán.

El regulador automático de tensión de sectores rotantes, fabricado por la Brown Boveri, cuyo esquema simplificado se presenta en la Fig. N° 15 Utiliza para su funcionamiento el principio Ferraris (de inducción) es decir, sobre expansiones pe-

lares se arrollan bobinas por las que circulan corrientes proporcionales a la tensión del generador pero defasadas  $90^\circ$  eléctricas dando lugar a dos campos magnéticos que al superponerse entre sí crean un campo giratorio, el cual induce en un tambor de aluminio corrientes que se manifiestan en forma de un par, que hace girar dicho tambor. Un muelle, uno de cuyos extremos se fija a la armadura y el otro al tambor, actúa en sentido contrario al citado par de giro. Sobre el eje de giro y apoyado sobre una piedra dura se dispone el cursor constituido por dos sectores sostenidos por pequeños muelles. Se dispone de resistencias que terminan en contactos metálicos plateados colocados en un arco de círculo.

Está provista de un sistema de amortiguamiento electromagnético con retorno elástico que permite estabilizar al aparato. Este está formado por un disco de aluminio que gira entre las expansiones polares de dos imanes permanentes y cuyo movimiento se realiza mediante un piñón y un sector dentado solidario al eje. Posee, además un índice que señala la posición del regulador.

Si estando en equilibrio el regulador en una posición determinada, señalada por el índice, se produce una variación de tensión varía el momento de giro producido por el motor Ferraris, originándose un movimiento de rotación del eje el que se transmite a los sectores obligándoles a rodar sobre los contactos con lo cual se inserta o disminuye resistencias en el circuito inductor.

La característica en este regulador es la sobre regulación en un primer momento por lo que se consigue una variación

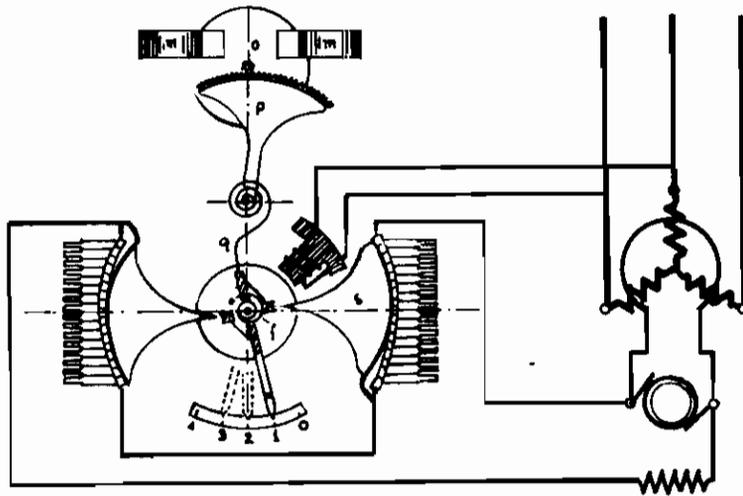


FIG. N° 15 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL REGULADOR DE CONTACTOS RODANTES

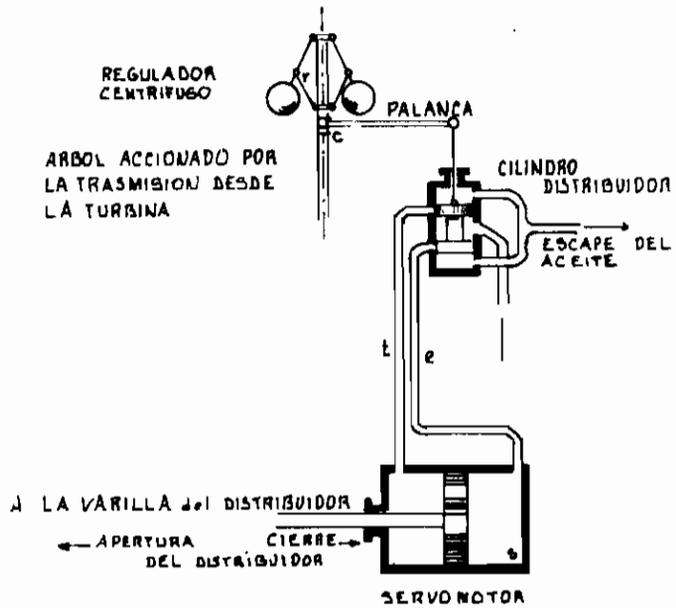


FIG. N° 16 REGULADOR DE LAS TURBINAS

rápida del campo para retornar después más lentamente al valor requerido. Además de la rapidez de maniobra se alcanza el nuevo régimen de equilibrio de la máquina, sin oscilaciones.

#### REGULADOR DE RESOTATO DE ACCION INDIRECTA

Este tipo de regulador controla la tensión del al ternador aumentando y disminuyendo la resistencia del circuito inductor de la excitatriz principal. Puede actuar, si el caso lo requiere, en el circuito de excitación del alternador. El regulador trabaja sólo cuando es necesario la regulación de tensión.

El equipo regulador está constituido por el reóstato de campo de la excitatriz principal, el elemento regulador y el elemento de control. Un transformador de tensión suministra el voltaje necesario al elemento de control, siendo previamente rectificado. El elemento de control está constituido por una serie de contactos llamados de accionamiento normal y contactos de acción rápida.

Si la variación de tensión es pequeña se cierra uno de los contactos de accionamiento normal haciendo actuar al motor que comanda el reóstato de campo insertando resistencias adicionales en el caso de una elevación de tensión, o disminuyendo si la tensión es inferior a la nominal.

Quando se producen diferencias importantes entre la tensión del alternador y la nominal se accionan los contactos de acción rápida produciendo un fuerte cambio de la excitación en la misma dirección, intercalando un gran bloque de resistencias en el circuito inductor, o poniendo en cortocircuito el reóstato de

campo; el motor del rebátate de campo mueve el brase del mismo en la dirección deseada. Al elemento de control van acoplados dispositivos para evitar oscilaciones.

El regulador está provisto de luces de indicación, un conmutador para accionar manualmente el rebátate y el interruptor que controla el regulador, aparatos que están dispuestos en el pupitre de control respectivo.

Cuando dos o más alternadores, cada uno con su regulador, trabajan en paralelo sobre las mismas barras colectoras es necesario el empleo de un limitador de corriente, dando lugar entonces a los reguladores compensados. La función del limitador de corriente es desexcitar al alternador-insertando rápidamente resistencias en el circuito de excitación- cuando la corriente del generador supera un cierto valor prefijado. Al producirse un cortocircuito, por ejemplo, disminuye bruscamente la tensión y el regulador trata de excitar más a la máquina y sin el cortocircuito no puede ser interrumpido subitamente, el aumento de excitación agravaría su importancia. El limitador de corriente anula, en este caso, la acción del regulador desexcitándose parcialmente la máquina.

Este dispositivo está constituido por dos resistencias en serie con el regulador, conectadas a la línea mediante un transformador de tensión y uno de corriente. Esta disposición asegura, además, la distribución de la potencia reactiva y por tanto, que el cos.  $\phi$  permanezca constante en las diversas máquinas. Con

la compensación se consigue también mantener constante el voltaje al extremo opuesto de la línea, aún siendo la carga variable.

Por último cabe manifestar que, no es únicamente necesario que el regulador esté diseñado apropiadamente, sino que también es necesario que las excitatrices, generadores y la máquina motriz principal tengan características que armonicen entre sí y trabajen en concordancia para obtener el valor deseado de tensión durante los rápidos cambios en las diversas condiciones de carga; de ahí que, en las especificaciones se acostumbra encargar al mismo fabricante tanto el generador como el sistema de excitación, incluyendo el regulador automático de voltaje y los reóstatos de campo.

#### REGULADORES DE VELOCIDAD Y FRECUENCIA

La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad; por tanto, al variar la velocidad habrá una variación de frecuencia. Los cambios de velocidad ocurren por la alteración de las condiciones normales de funcionamiento de las turbinas que se originan al variar la carga produciendo un aceleramiento o un frenamiento, fenómenos que hay que evitarse en lo posible.

Por tanto, es necesario poder regular la velocidad y mantenerla siempre constante a causa de la frecuencia que es forzoso mantener fija. Esto se consigue aumentando o disminuyendo el caudal que pasa a través del distribuidor de la turbina.

Según lo que se verá en el próximo capítulo, en el presente caso se emplearán turbinas tipo Francis lenta de eje vertical. En esta clase de turbina la regulación que se emplea es

tualmente es casi exclusivamente la ideada por Fink, por medio de paletas directrices giratorias que permiten variar la alimentación desde cero hasta el máximo.

Consiste en un sistema de paletas de forma adecuada cada una de las cuales gira al rededor de un eje que les permite tomar diversas inclinaciones. Este accionamiento lo realizan mediante bielas que se unen a una corona exterior que puede girar de manera que al maniobrar esta corona giren simultáneamente todas las paletas arrastradas por las bielas. A su vez, la corona de regulación está comandada por dos grandes manivelas que parten desde un eje de regulación a dos puntos de la mencionada corona. Además, acoplado al eje de regulación está un comando que actúa sobre los llamados, órganos de descarga sincronizada, los cuales cuando se reduce o suprime la admisión del agua en la turbina y para impedir que la presión aumente demasiado en la tubería, abren rápidamente un conducto de descarga, para cerrarlo luego paulatinamente.

El accionamiento mismo de la regulación se efectúa mediante un regulador automático. Para el caso en estudio, se empleará un regulador automático de acción indirecta de presión de aceite del cual describiremos su funcionamiento y elementos principales.

En general, los reguladores pueden ser de características ESTÁTICAS o ESTÁTICAS. El primero es aquel que mantiene la frecuencia uniforme durante las variaciones de carga. El segundo, es aquel que tiene una característica carga-frecuencia, descendente es decir, que la frecuencia disminuye con el aumento de la car-

ga en una cantidad dada por la llamada "variación permanente del número de revoluciones" (grado de irregularidad permanente), característica de cada regulador. Al contrario de lo que podría pensarse es necesario, cuando trabajan en común varias máquinas, de un regulador estático ya que con él se puede lograr una repartición de la carga en las diversas máquinas como se desea, lo cual no se consigue con los reguladores estáticos ya que con éstos, puesto que los reguladores nunca van perfectamente de acuerdo, una máquina se haría cargo de todo mientras la otra quedaría descargada. Utilizando un regulador estático para corregir las variaciones de velocidad motivadas por la carga, se regula el descenso de frecuencia mediante dispositivos que captan el aumento de carga de modo que en un tiempo inmediato pasan a trabajar como reguladores estáticos.

La Fig. 16 representa, esquemáticamente, un regulador de aceite a presión. Las paletas directrices se abren o cierran por el cilindro de trabajo, o servomotor S, cuyo émbolo actúa sobre aquellas, estando determinado el movimiento de este émbolo por el del cilindro distribuidor, o válvula de distribución V, accionada a su vez directamente por el regulador R de fuerza centrífuga que da paso al servomotor de aceite a presión.

En la figura el aparato está en la posición normal, cuando las revoluciones  $n$  son normales, impidiendo el pistón de la válvula de distribución V el acceso del aceite al servomotor, y los émbolos de éste cilindro distribuidor cierran las tuberías  $f$  y  $g$ . Al aumentar el número  $n$  de r.p.m. por perder la turbina parte de la carga, las bolas del regulador centrífugo se elevan, sobre el collar o manguito C y con él asciende el pistón cilindro-válvula

dando entrada al aceite por la tubería t a la cámara izquierda del servomotor y a la derecha se pone en comunicación con el escape de aceite mediante la tubería e: entonses, el ímbolo del servomotor es arrastrado de izquierda a derecha, cerrando las paletas directrices de la turbina. Cuando disminuye el número de r.p.m. por exceso de carga, el fenómeno es inverse.

El mecanismo de fuerza centrífuga es impulsado por un motor sincrónico eléctricamente conectado a un generador de magneto (de imán permanente) acoplado al eje del generador.

Un control de velocidad colocado sobre el muelle limitador del mecanismo centrífugo, y accionado por un motorcito, permite que el operario del cuadro de maniobra pueda variar la frecuencia al sincronizar. También permite la conexión de un dispositivo de control de frecuencia o de un corrector de tiempo para conservar automáticamente la frecuencia normal de la central; este dispositivo "siente" la frecuencia del sistema y compara ésta con una señal generada por la frecuencia standard. La diferencia, o la señal de error de tiempo, es amplificada y empleada para manejar el motor de ajuste de velocidad a la posición propia para producir la frecuencia correcta.

En realidad, los reguladores de las turbinas modernas tienen una complicación bastante mayor que el esquema descrito anteriormente, pues aparte de mantener la velocidad de régimen del alternador y adaptar la potencia producida a la pedida, debe cumplir las siguientes misiones:

Fuente en marcha del grupo.

Sincronización con la frecuencia de la red a la que haya de conectarse.

Aumentar o reducir la carga que suministra uno de los grupos conectados a la red.

Puesta fuera de servicio del grupo.

Control del grado de irregularidad permanente.

Protección para cerrar total o parcialmente la admisión en los siguientes casos: embalamiento del grupo, falta de presión en el aceite del regulador, calentamiento del aceite de cojinetes, averías en el alternador y la línea, etc.

De ahí que se reuna el sistema de regulación de cada grupo o de varios grupos en una cabina dejando únicamente fuera los depósitos de aceite y los servomotores que accionan el distribuidor. La cabina está provista de un cuadro en que se encuentran indicadores de apertura del distribuidor, presión de aceite, temperatura de los cojinetes, etc.; y desde el que se puede accionar una serie de servomandos que ponen en movimiento a motores reversibles o solenoides verificando las funciones indicadas. Estos controles se los realiza también desde el cuadro de maniobra colocado en la sala de control.

Los diversos dispositivos y accesorios que se proveen con cada regulador se darán en el acápite "especificaciones" del próximo capítulo.

### III-D TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

Las normas americanas ASA definen al transformador de instrumentos como "un transformador en el cual las condiciones de la corriente o de la tensión y posición de fase del circuito primario están representadas con aceptable exactitud en el circuito secundario".

Se utilizan por las siguientes razones:

1.- Permiten aislar de las altas tensiones y corrientes los aparatos y circuitos de medida y control, y realizar sin peligro los trabajos de mantenimiento y vigilancia.

2.- Se logra variar la tensión eléctrica, corriente o potencia hasta valores adecuados proporcionales a aquellos que existen en el circuito principal para que los relés y aparatos de medida puedan ser fabricados de tamaño pequeño y reducido costo. Constituyen, en realidad, dispositivos intermedios que permiten la normalización de los alcances de los dispositivos finales, tales como 5 amperios o 120 V.

3.- Realizan la totalización de la corriente lo cual se requiere en mediciones de potencia, de energía, en relés que funcionan por la diferencia entre dos corrientes, etc.

La correcta utilización de los transformadores de instrumentos requiere la consideración de varios aspectos tales como: relación de términos primario y secundario, construcción mecánica, tipo de aislamiento y sobre todo la clasificación de exacti-

tud. Para mediciones es de importancia la exactitud; para dispositivos de control y protección es suficiente una razonable exactitud, pero si deben tener gran robustez y fidelidad. Por estas razones resulta más ventajoso para el buen funcionamiento del sistema emplear transformadores separados para estas funciones -medición y protección- aunque el costo es mayor.

Las partes esenciales de un transformador de instrumentos son: el arrollamiento primario, el arrollamiento secundario y un circuito para el flujo magnético que enlaza a los dos arrollamientos. La transferencia de potencia del circuito primario al secundario se la hace por inducción electromagnética. En general, los principios fundamentales de funcionamiento son los mismos en todos los tipos de transformadores, sin embargo, los principios de funcionamiento de los transformadores de instrumentos son más complicados debido a las compensaciones que se realizan para obtener las características deseadas en amplios márgenes de tensión, corriente, frecuencia o temperatura y cumplir así las prescripciones establecidas por las normas de construcción respectivas.

La potencia de estos aparatos es relativamente pequeña, estando trabajando casi en corto circuito cuando se trata de transformadores de intensidad y casi en vacío, cuando se trata de transformadores de potencia. Los transformadores de corriente se conectan en serie con la línea y los de tensión se montan de igual manera que los de potencia.

En cuanto al aislamiento, en los transformadores de instrumentos de baja tensión, hasta de 3 Kv., se emplea aislantes secos o no explosivos como el clofeno o piranol. Para mayores ten

siones van provistos de aisladores de porcelana especial y sus núcleos son colocados en cubas de aceite. En la actualidad hay la tendencia de suprimir el aceite por ser un elemento combustible muy peligroso para la instalación utilizándose los transformadores aislados con aire comprimido que ha dado muy buenos resultados. En todo caso, los transformadores de instrumentos, en lo que se refiere al aislamiento deben responder a lo establecido por las normas.

Los transformadores de instrumentos llevan las marcas H1 - X1 para indicar la polaridad; o sea, en un transformador de potencial, en el instante en que el terminal primario H1 es positivo, lo es también el terminal secundario X1; o en un transformador de corriente, el instante en que el terminal primario marcado con H1 la corriente está entrando, en el secundario X1, está saliendo.

#### TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Según la definición de ISA, "un transformador de corriente es un transformador destinado a propósitos de medida o control, diseñado de manera tal que tenga su bobina primaria en serie con el circuito que lleva la corriente que va a ser medida o controlada".

Es indispensable en los transformadores de corriente que haya proporcionalidad entre las corrientes del primario y la del secundario, debiendo además concordar las fases de ellas para evitar errores. La proporción entre la intensidad primaria y la secundaria representa la relación de transformación.

El criterio principal para la selección de la rela

ción de transformación, es la máxima corriente de carga la cual no debe exceder la capacidad de corriente nominal de los aparatos conectados al transformador. Los transformadores de intensidad se construyen según un determinado escalonamiento para diversas intensidades primarias estando dimensionados de tal forma que pueden soportar continuamente 1.2 veces la intensidad secundaria nominal y 1.5 veces dicha intensidad durante 15 minutos. Las corrientes nominales secundarias están estandarizadas en 5 y 10 amperios, utilizándose en casos especiales 1 amperio.

Es importante en estos transformadores conocer su resistencia contra el cortocircuito, para lo cual se han creado los conceptos de, corriente límite térmica y de corriente límite dinámica que nos permiten juzgar el comportamiento del transformador bajo grandes intensidades de corrientes y fuerzas electromagnéticas que se manifiestan bajo dicha condición.

$I_{t\acute{e}r.m.}$ , es la intensidad primaria que el arrollamiento de este nombre puede soportar sin perjuicio durante 1 seg.; generalmente  $I_{t\acute{e}r.m.} = 100 I_{n\acute{o}m.inal}$ . El factor  $I_{d\acute{i}n\acute{a}m.}$  indica el valor de cresta de la primera amplitud de la intensidad de corte circuito, que el transformador soporta desde el punto de vista mecánico,  $I_{d\acute{i}n\acute{a}m.} = 2.5 I_{t\acute{e}r.m.}$ .

Otro concepto importante es el llamado "coeficiente de sobreintensidad" cifra que señala el múltiplo de la corriente nominal con la cual, bajo la carga nominal y sin considerar el factor de potencia, el error de intensidad importa 10 %. Este coeficiente es pequeño en los transformadores para instrumentos de

medida y grande para los transformadores para relevadores. Esto significa que los transformadores para relés requieren de una mayor fidelidad, es decir, por ejemplo en caso de corrientes de cor te circu ite, reproducir proporcionalmente esta corriente, mientras que en los transformadores que se destinan sólo a alimentar instrumentos de medida, al producirse grandes corrientes, se tiene en el secundario escasa corriente lo cual es beneficioso ya que así los instrumentos de medida quedan protegidos contra sobrecargas. Esta consideración junto con otras exigencias hacen que se alimenten, en cuanto sea económicamente posible, los instrumentos de medida y los relevadores con transformadores diferentes.

La corriente del primario de un transformador, a más de la componente de la corriente de carga, debe suministrar una com ponente para la excitación cuyo valor depende de la cantidad de flu jo que deba producir. Esta depende a su vez de la tensión del secundario que es necesaria para que la corriente de éste vance la im pedancia total del mismo. Al crecer la impedancia del secundario bajo corriente constante crecerá la tensión y por tanto el flujo y la corriente magnetizante; al crecer la corriente magnetizante habrá errores mayores, de ahí que si no se quiere rebasar el error dando como admisible la impedancia en el secundario no debe ser demasiado elevada, por esta razón se da en un transformador lo que se llama carga nominal.

La carga nominal de un transformador de corrientes es el valor de la impedancia en ohmios de los aparatos y cables conectados al secundario del transformador con lo cual no se rebasa el límite de error de la clase correspondiente. Las normas ISA definen

la carga de un transformador de instrumentos como la propiedad de un circuito conectado al secundario que determina el flujo de potencia verdadera y potencia reactiva del transformador, se la puede expresar en ohmios de impedancia o voltamperios para los valores nominales de corriente o tensión secundarias.

Para calcular el valor de la carga cuando dos o más instrumentos están en serie hay que obtener los valores de resistencia y reactancia de cada aparato. La resistencia total es la suma de las resistencias parciales de cada instrumento y la reactancia total la suma de las reactancias; de esta manera, la carga total en ohmios será:

$$\sqrt{(R \text{ total})^2 + (X \text{ total})^2}$$

Los valores de resistencia y reactancia vienen dados en los catálogos. Se puede obtener directamente la potencia de un transformador sumando los VA de cada aparato valores que también pueden verse en los catálogos, aunque de esta manera se tendrían valores medios ya que en los relés especialmente, la impedancia varía en función de la corriente.

La diferencia en tanto por ciento de la corriente secundaria invertida respecto a la intensidad del primario (error de intensidad o relación) así como el defasaje entre ellas (ángulo de error) caracterizan la precisión del transformador de intensidad. La calidad de estos transformadores está determinada por el máximo valor de tensión secundaria que puede ser engendrada sin llegar a la saturación del núcleo. Si se establece que el flujo no puede crecer más allá del punto de saturación del hierro, la ten

sión y corriente secundarias no pueden aumentar por sobre éste límite a pesar de que puedan existir valores mayores de tensión y corriente en el primario. Se limita así los errores y a su vez se protege a los aparatos de tensiones y corrientes que pueden ser perjudiciales.

La exactitud de un transformador de corriente puede determinarse por varios métodos:

1°.- Por mediciones y cálculos;

2°.- Directamente por las curvas típicas para un tipo de transformador;

3°.- Directamente por curvas garantizadas para un transformador individual;

4°.- Por la clasificación normalizada de exactitud.

Este último procedimiento es el más empleado; se clasifican los transformadores en grupos o clases dando los errores de intensidad y defasaje directamente para cada grupo. Según las normas ASA, estas clases de exactitud son: 1.2 - 0.6 - 0.3

Una clasificación especial dan las normas ASA para los transformadores de corriente que serán empleados con relevadores. Esta es la siguiente:

10 H 10	2.5 H 10	10 L 10	2.5 L 10
10 H 20	2.5 H 20	10 L 20	2.5 L 20
10 H 50	2.5 H 50	10 L 50	2.5 L 50
10 H 100	2.5 H 100	10 L 100	2.5 L 100

	10 H 200	2.5 H 200	10 L 200	2.5 L 200
	10 H 400	2.5 H 400	10 L 400	2.5 L 400
1	10 H 800	2.5 H 800	10 L 800	2.5 L 800

Esta clasificación asume que los transformadores de corriente pueden suministrar 20 veces su corriente nominal secundaria a la carga, en base del máximo valor de voltaje que puede ser mantenido en sus terminales secundarios sin que la relación de error exceda a una cantidad especificada.

Las letras H y L se refieren a los transformadores de alta y baja impedancia interna respectivamente; los números que les preceden nos indican la máxima relación de error, 2.5 % y 10%; los números que siguen a dichas letras nos indican el voltaje máximo especificado para los terminales secundarios al cual la relación establecida puede mantenerse. Se puede obtener la carga normal para cada clase dividiendo el voltaje de la carga, para el producto de la corriente secundaria fijada ( 5 amperios ) por 20.

Así, 2.5 L 100 nos indica que la relación de error no es mayor del 2.5 %; L, transformador de baja impedancia interna; 100, la tensión máxima engendrada no será más de 100 voltios para tener la relación de error dada; si se ha fijado 5 amperios para la corriente nominal del secundario, la carga normal del transformador será

$$\frac{100}{5 \times 20} = 1 \text{ y su potencia nominal} = 5^2 \times 1 = 25 \text{ VA.}$$

Existen varios tipos de transformadores de corriente de diferentes relaciones de transformación y con aislamiento adecuado para ser empleados con las diferentes tensiones normalizadas, ya

sea para uso en locales cerrados o a la intemperie. Entre los principales citamos los siguientes:

Tipo de barra central.- Es bastante seguro contra los cortocircuitos; el primario lo constituye una barra que pasa a través del núcleo en el cual está arrollado el secundario. Se le emplea con regímenes de corriente elevada aunque también puede emplearse con pequeñas corrientes.

Tipo de primario bobinado. Con pequeñas corrientes, para tener el número necesario de amperios vuelta se necesitan algunas espéras de ahí que se emplean los transformadores con arrollamiento primario.

Tipo de ventana.- Son análogos a los de barra central pero en lugar de barra se utiliza un conductor que pasa a través del núcleo y del arrollamiento secundario. Pueden ser de dos o tres núcleos distintos con lo que se obtiene una mayor subdivisión del servicio a que se destinan.

Tipo bushing.- Consiste en un núcleo de hierro de forma anular que contiene el bobinado secundario, construido casi siempre como parte del equipo opcional de interrupción o interruptores automáticos, transformadores u otros dispositivos y que rodea completamente al conductor que atraviesa los bushings de estos aparatos y que sirven como primario.

Tipo de dos secundarios. Son realmente dos transformadores en un mismo alojamiento cada uno con su propio núcleo.

En todo transformador de corriente, durante el servicio el circuito secundario debe permanecer cerrado ya sea por los dispositivos de medida, relés o un puente debido a que si deja el circuito abierto se producirían tensiones peligrosas para el transformador y para las personas; un peligro similar que se presentaría al fallar el aislamiento se prevé conectando uno de los polos del secundario a tierra.

#### TRANSFORMADORES DE TENSION.

Los transformadores de tensión son en general similares a los transformadores de potencia diferenciándose en la capacidad que es mínima en los transformadores de tensión. Funcionan con una variación relativamente pequeña de la tensión del primario y por tanto con densidad de flujo substancialmente constante. No presentan las dificultades de los transformadores de corriente ya que no están sometidos a las fuerzas que producen las corrientes de cortocircuito.

Se construyen para diversas tensiones primarias admitiendo 1.2 veces la tensión nominal. La tensión secundaria es generalmente 110 120 vóltios.

La exactitud de los transformadores de tensión viene dada por el error de relación y el ángulo de error. El error de relación es la variación en tanto por ciento de la tensión secundaria invertida, respecto a la tensión primaria. El ángulo de error es el defasaje entre las dos tensiones. Estos errores están determinados por la magnitud de las caídas de tensión de los arrollamientos.

tos primario y secundario y para que estos sean mínimos los transformadores de tensión tienen poca corriente de excitación, una elevada densidad de flujo y pequeña impedancia de los arrollamientos.

La exactitud puede ser determinada por varios métodos siendo el más utilizado el que emplea la clasificación normalizada de exactitud según la cual se clasifican en diversas clases para cada una de las cuales se da el error de relación y el error angular. La clase 0.3 según IEC es la recomendada para aparatos de medida y relés.

Como la exactitud depende de la carga las normas especifican las cargas con las que ha sido establecida esta clasificación; por tanto, todo transformador posee una potencia nominal en voltamperios que debe poder ser suministrada permanentemente sin que sean rebasados los límites de error correspondientes a cada clase. La carga efectiva del transformador se determina sumando la potencia de los aparatos a él conectados. Se puede conectar con aceptable exactitud cargas que sean de  $1/2$  a  $1.5$  la potencia nominal, aunque es aconsejable no sobre pasar la potencia límite indicada en la placa, debido a que se produce un calentamiento excesivo.

Los transformadores de tensión se construyen ya sea para ser empleados a la intemperie o en locales cerrados; del tipo seco, de aire comprimido o aislados por aceite y pueden ser monofásicos e trifásicos aunque estos últimos son muy poco empleados utilizándose generalmente transformadores monofásicos en diversas conexiones.

Así, en mediciones o para alimentación de relevado-

res, si sólo se necesita una tensión compuesta, puede emplearse un transformador monofásico aislado bipolarmente, conectado entre dos fases. En mediciones de potencias donde se requiere las tres tensiones compuestas se pueden utilizar dos transformadores monofásicos conectados en V. En medidas de contactos a tierra, donde se necesita la tensión con respecto a ésta se puede utilizar tres transformadores monofásicos conectados en estrella y con el punto neutro a tierra. En fin hay diversas posibilidades de conexionado que pueden realizarse con transformadores monofásicos y que evitan el em-pleo de transformadores trifásicos que en algunos casos requieren construcciones especiales.

En el diseño mismo de los transformadores de tensión se ha adoptado dos formas, el tipo acorazado y el no acorazado. Este último tiene como ventaja que las resistencias y reactivancias son menores y también permiten disipar con mayor facilidad el calor. El tipo acorazado, sin embargo, es el más empleado debido a que presenta un circuito magnético más corto y el material del núcleo es menor.

Al contrario de los transformadores de corriente, nunca debe ponerse en cortocircuito el secundario pero debe estar siempre en contacto con tierra para evitar las cargas estáticas del instrumento y desviar a tierra cualquier carga estática que puede presentarse en la red y también para seguridad del operador. Los transformadores de tensión se protegen contra los cortocircuitos eventuales y fallas de aislamiento mediante fusibles colocados en el lado de alta tensión y contra las sobrecargas, con fusibles colocados en todos los conductores secundarios aislados contra tierra.

### III - E.- APARATOS DE PROTECCION Y MANIOBRA

Son dos las causas que pueden producir averías o - destruir los elementos de una instalación eléctrica y dar lugar a efectos aún más desfavorables como electrocuciones o incendios, sens: sobrecargas que originan temperaturas excesivas o el desarro- llo de exajerados esfuerzos mecánicos, y sobretensiones capaces de perforar el aislamiento. Sin embargo, existen otras condiciones por las cuales es conveniente establecer protecciones; como son: - insuficiencia de tensión, interrupción de una fase, desequilibrio entre fases, dirección de la energía, descenso o elevación de la frecuencia, etc. Estas anomalías pueden ser detectadas por me- dio de relevadores con el fin de aislarlas o indicarlas, poniendo en funcionamiento los disyuntores u otros dispositivos.

Constituye, por tanto, un capítulo de gran importan- cia el referente al estudio de los aparatos que protegerán los e- quipos y la forma como se proyecta esta protección ya que de ellos dependen, en gran parte, la seguridad de las instalaciones y la - continuidad del servicio.

El problema de la protección no debe ser considera- do aisladamente sino tomando en cuenta todo el sistema, de modo - que una falla que produzca el funcionamiento de un dispositivo de protección no interrumpa el servicio en toda la instalación, sino, más bien, elimine la menor parte posible de ella en las inmediacio- nes del defecto y, al dejar separado éste, asegure la marcha nor- mal del resto de la misma. Esto se consigue estudiando, como vere- mos, las características y la ubicación de dichos aparatos para ob- tener lo que se llama una protección selectiva.

Por otra parte, el costo total de la protección debe estar en cierta relación con el precio de la máquina misma, por tanto, es imprescindible hacer una elección de los dispositivos a adoptar.

Las medidas de protección preventivas son en principio las más útiles, ya que es preferible evitar los daños que el repararlos. En la categoría de los dispositivos de protección ocupan el primer lugar aquellos que han de entrar más a menudo en acción. Sin embargo, es indispensable también proveer a los sistemas importantes y de gran importancia de aquellos dispositivos de protección que acusen inmediatamente los peligros y defectos aunque sea los que raramente se presentan.

Para el presente caso, y para lograr una protección de conjunto, es necesario determinar cuales son las diferentes partes del sistema que van a protegerse, las características de protección y obtener luego una coordinación de todo el sistema.

La Fig. 20 muestra la disposición adoptada dividida en varias zonas. Estas zonas de protección son:

- a) Protección de los generadores;
- b) Protección de barras de baja tensión;
- c) Protección de los transformadores de poder;
- d) Protección de las barras de alta tensión y líneas de transmisión, etc.

Cada zona de protección está dotada de protecciones que sólo funcionan en caso de defecto dentro de la zona, sin em-

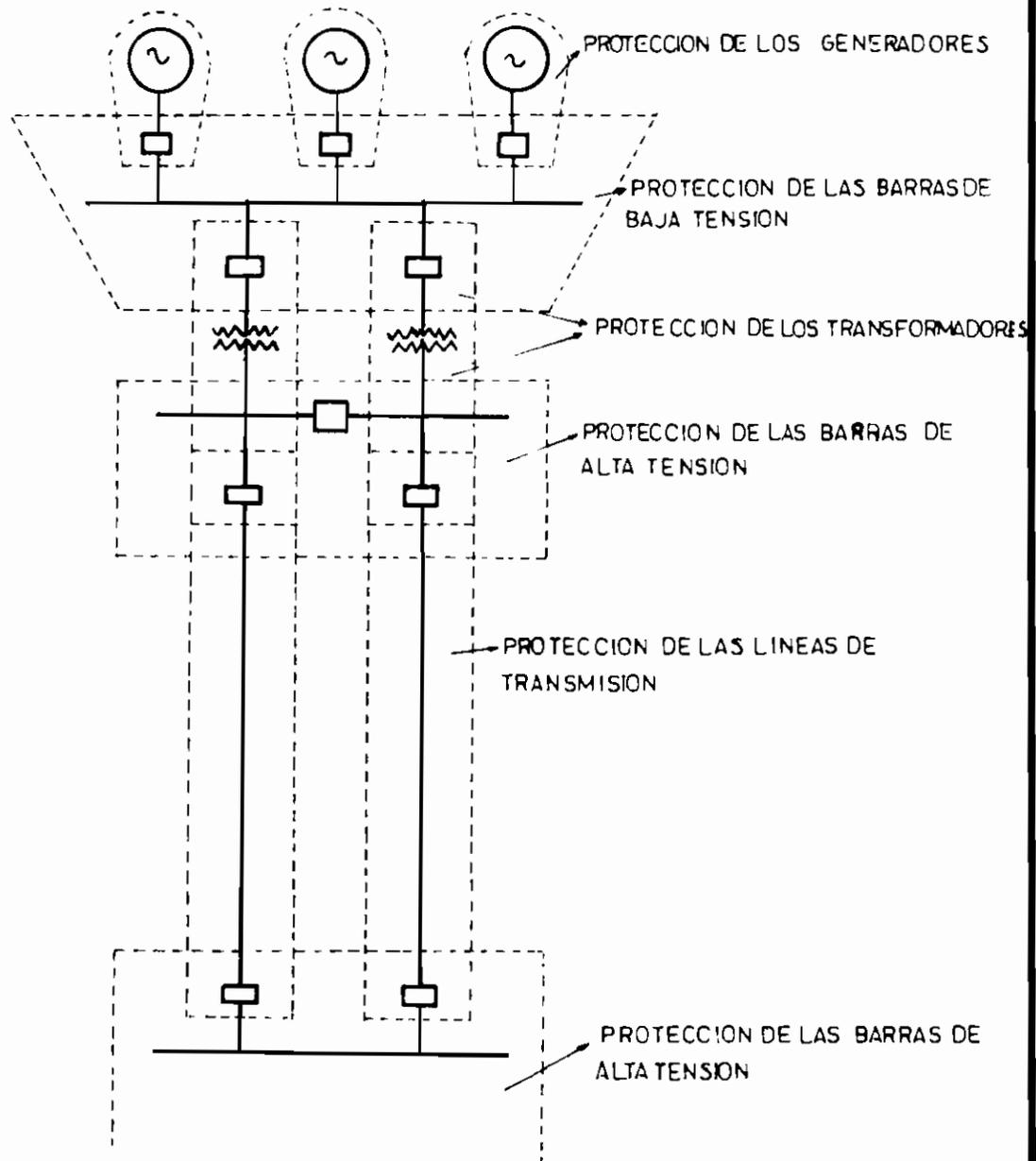


fig. Nº 20 ZONAS DE PROTECCION DEL SISTEMA

bargo, en caso de fallas en puntos donde las diversas zonas se superponen puede ocurrir el disparo de los interruptores automáticos que en realidad no deban hacerlo. A pesar de esto, la superposición constituye una práctica excelente ya que así quedan protegidos todos los puntos de la instalación.

Para el funcionamiento apropiado de un buen sistema de protección eléctrico se requiere de la llamada protección de "retaguardia", es decir, una segunda protección destinada a funcionar en caso de no funcionar correctamente la protección normal. Con esta disposición a más de los relés "primarios" que desenganchan los interruptores que protegen los elementos del sistema, se utilizan los llamados relés de protección de retaguardia ( back up relaying ) que pueden actuar sobre los mismos interruptores, o mejor aún, para accionar interruptores distintos.

Los relés para protección de retaguardia serán los de sobrecorriente ya que son las corrientes de corto-circuito las que más comúnmente se presentan. Estos relés se dispondrán de manera que la causa que hizo fallar a los relés primarios no los haga fallar ellos; es decir, los relés secundarios deben ser completamente independientes de los relés primarios, lo cual se consigue colocándolos a la mayor distancia posible. En caso de que el equipo de relés primarios esté fuera de servicio o en reparación asume su función los relés de retaguardia.

Una ligera desventaja del empleo de relés secundaria en caso de funcionar esta protección de retaguardia es que queda separado un sector más extenso que el estricto sector defectuoso, y precisamente para evitar una operación de estos relés, cuando

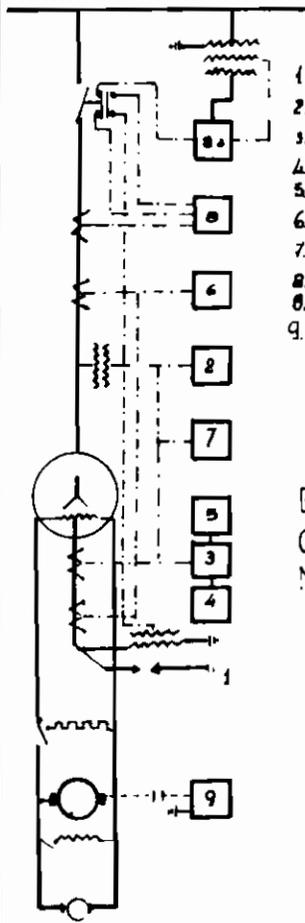
do no sea necesario, se calibra los relés de retaguardia de modo que no funcionan mientras no haya transcurrido el tiempo en que se ha previsto que los relés primarios producirán el desenganche. Es to se logra gracias a las características de algunos tipos de relés, de tener tiempos de retardo graduables o características de tiempo denominadas instantáneas, como veremos luego.

Seguidamente trataremos de las diversas protecciones que se realizan en las zonas anteriormente mencionadas y los aparatos que en ellas se emplea para luego hacer una descripción de los aparatos de protección y maniobra que van a utilizarse, lo cual es el objeto principal del presente acápite, ya que algunos de estos aparatos o sus dispositivos de comando irán instalados en los tableros de control. Se tratará también del modo como se llevará a cabo la protección de retaguardia y la coordinación entre ellos. Luego, en el capítulo siguiente, se realizarán los cálculos que se requieran para dar las especificaciones correspondientes.

#### PROTECCION DE LOS ALTERNADORES

El constructor, durante el estudio de la máquina misma, tiene en cuenta todas aquellas medidas que garantizan una gran de seguridad de servicio. A pesar de esto no puede prescindirse, ni siquiera en las máquinas más robustas, de los dispositivos de protección y solamente una combinación de máquinas construidas con cienzudamente para resistir esfuerzos anormales con los dispositivos de protección abarcando todos estos esfuerzos, garantizan dicha seguridad.

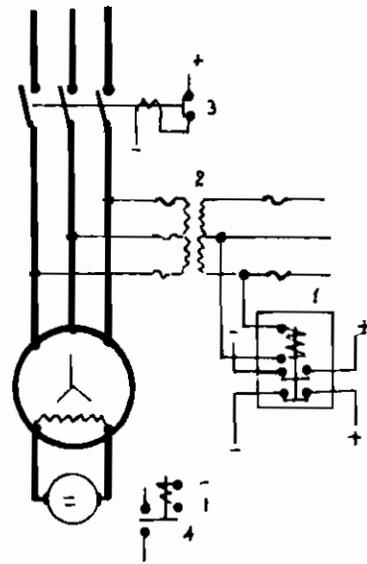
Por práctica general se considera que un alternador



- LEYENDA
1. Sobretensiones Atmosféricas
  2. " de servicio
  3. Sobrecarga
  4. Cortocircuito Exterior
  5. Cargas desequilibradas
  6. Cortocircuito entre fases
  7. " " espiras
  8. Corto a tierra en el estator
  - 8a. Aresor adicionales a 8
  9. Corto a tierra en el rotor

fig No 21

ESQUEMA DE PROTECCIONES DEL ALTERNADOR



LEYENDA

1. Relé de tensión temporizado
2. Transformadores de tensión
3. Disyuntor del alternador
4. Disyuntor de campo

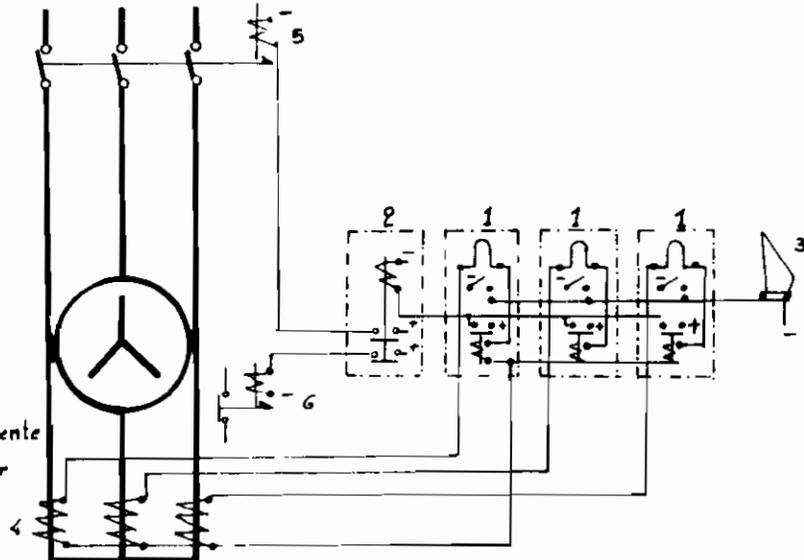
fig No 22

PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO

fig No 23

LEYENDA

1. Relés termicos
2. Relé auxiliar
2. Alarma
4. Transformadores de corriente
5. Disyuntor del alternador
6. Disyuntor de campo



PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES

está adecuadamente protegido cuando tiene protección contra:

1. Sobretensiones
2. Sobrecargas
3. Cargas desequilibradas
4. Fallas internas:
  - a) Cortocircuitos entre fases
  - b) Cortocircuitos entre espiras
  - c) Defectos a tierra en el estator
  - d) Defectos a tierra en el rotor
  - e) Interrupción accidental del circuito de excitación.

La Fig. N° 2.3. representa esquemáticamente estas protecciones.

#### PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES

Las sobretensiones pueden manifestarse entre la tierra y los arrollamientos de las máquinas o aparatos, entre conductores de fases diferentes o también entre dos puntos poco distantes de un mismo conductor. Las sobretensiones son peligrosas cuando alcanzan valores superiores a las tensiones de prueba, pues que producen el deterioro de los aislantes que en un tiempo más o menos breve puede poner fuera de servicio las máquinas o los aparatos en los que se hayan manifestado.

Las sobretensiones se dividen en dos grandes clases:

- a) de origen atmosférico;

b) de origen interno.

a) Todas las sobretensiones de origen atmosférico tienen un aspecto análogo, caracterizado por una brusca elevación de la tensión (frente de onda) hasta un valor máximo (valor de cresta) seguido de un decrecimiento lento (cola de la onda).

El aislamiento de un alternador entre fase y tierra depende del valor de cresta de las sobretensiones que pueden presentarse, mientras que el aislamiento entre espiras depende principalmente de la rapidez de elevación del voltaje (gradiente del frente de onda). Los pararrayos constituyen los dispositivos de protección más eficaces contra las perturbaciones de origen atmosférico. En la instalación se empleará, a más de los pararrayos colocados a la entrada de las líneas aéreas, un juego de pararrayos especiales adaptados al grado de aislamiento de la máquina, Estos pararrayos tendrán conectados sus terminales entre cada terminal de la máquina y la carcasa conectada a tierra y estarán instalados lo más cerca posible de las barras colectoras.

De esta manera se limitará el valor de cresta de las sobretensiones, mientras que para disminuir la gradiente de la onda de choque se usará un capacitor conectado en paralelo con la máquina y el pararrayos.

b) Las sobretensiones de origen interno pueden ser debidas a distintas causas; así:

Caidas bruscas de la carga, largas líneas de transmisión descargadas, contactos entre espiras, fallas del regulador de velocidad, etc. Estas sobretensiones tienen amplitudes relati-

vamente débiles y pueden generalmente ser limitadas por el regulador de tensión, más al salir de funcionamiento éste, se alcanzan velocidades mucho mayores que las normales, la tensión aumenta, aumentando a su vez la tensión de la excitatriz que tenderá a acrecentar más todavía la tensión del alternador.

Para proteger al alternador contra este tipo de falla se utilizará un relé de máxima tensión temporizado. Este relé no debe estar alimentado por el mismo transformador de tensión que el regulador, debe ser insensible a la frecuencia y funcionar con retardo para las sobretensiones débiles e instantáneamente con las fuertes.

Los relés de tensión máxima provocan siempre la desconexión del interruptor principal y del interruptor de campo. La Fig. N° 22. representa un esquema de esta protección

El transformador de tensión 2, alimenta al relevador de tensión temporizado 1 el que "sentirá" cuando la tensión sobrepase en límite determinado y reaccionará después del tiempo de ajuste cerrando los contactos que completan el circuito de accionamiento de los disyuntores, principal 3 y el campo 4.

#### PROTECCION CONTRA SOBRE CORRIENTE

Las causas que producen las sobre intensidades son: sobrecargas excesivas, cortocircuitos externos que no han sido despejados por los elementos de protección previstos, sobretensiones que pueden producirse por el embalamiento de la turbina o por falsas maniobras en el circuito de la excitación, etc. Al presentarse

estas fallas circulares por los arrollamientos del alternador corrientes superiores a la normal provocada, por efecto Joule, su calentamiento excesivo que viene a deteriorar el aislamiento.

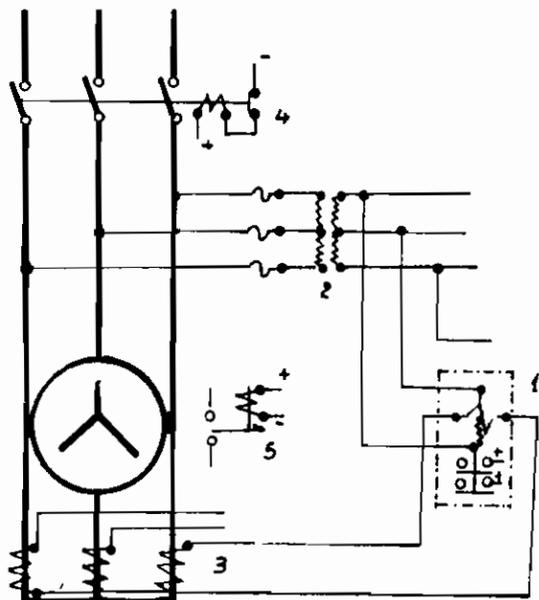
Por otro lado, se debe poder aprovechar la posibilidad de utilizar, por corto tiempo, la capacidad de sobrecarga de los alternadores.

Los relés de máxima intensidad, con retardo de tiempo independientes de la intensidad, no convienen para proteger una máquina contra las sobrecargas y son previstos sólo como protección contra cortocircuitos, ya que no tienen en cuenta la carga anterior y no pueden indicar si la máquina está en peligro. En cambio, los relés térmicos abarcan sobrecargas mono y polifásicas y reaccionan, con un retraso considerable, teniendo en cuenta la sobre elevación media de temperatura de todo el arrollamiento.

Por este motivo, se ha previsto para la protección contra sobre corriente, la instalación de tres relés térmicos con desconexión instantánea a corriente límite 1, junto con un relé auxiliar de tiempo 2, como se indica en el esquema de la Fig. N° 23. La conexión térmica de los relés asegura la protección contra sobrecargas, mientras que su desconexión instantánea, en combinación con el relé temporizado, provoca la abertura del interruptor en caso de cortocircuito.

Estos relés sirven también como protección de retaguardia y se conectan a los transformadores de intensidad colocados del lado del punto neutro del alternador. Desconectan el interruptor principal 5 y el de campo 6 y accionan el correspondiente

## PROTECCION VATIMETRICA



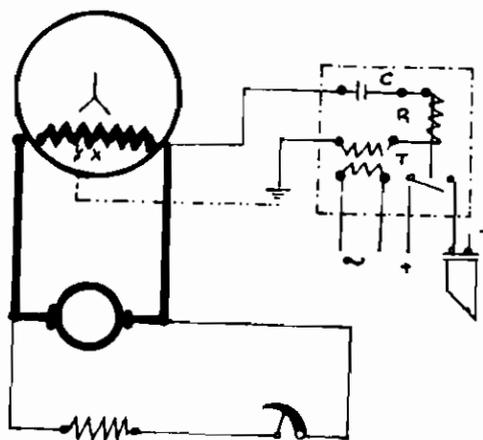
### LEYENDA:

- 1.- Rele Vatimétrico
- 2.- Transformador de tensión
- 3.- " " corriente
- 4.- Disyuntor del generador
- 5.- " de campo

fig No 24

## PROTECCION CONTRA TIERRAS

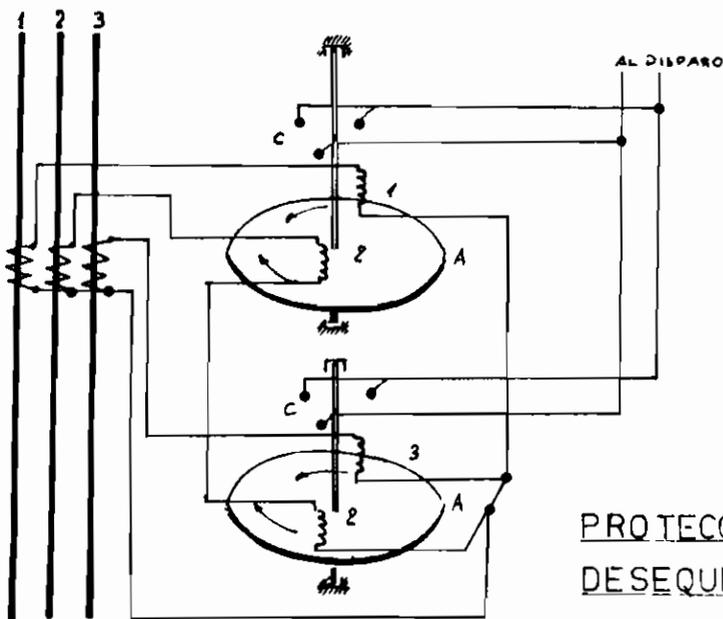
### EN EL ROTOR



### LEYENDA:

- 1.- Rele de máxima intensidad
- c.- Condensador
- T.- Transformador
- X.- Falla en el rotor

fig No 25



- A.- Disco de inducción
- B.- Bobinador
- C.- Contactos

## PROTECCION CONTRA CARGAS DESEQUILIBRADAS

fig. No 26

aviso 4.

#### PROTECCION CONTRA CARGA ASIMETRICA

Una carga asimétrica puede ser perjudicial para un alternador sinerónico trifásico, especialmente si este no lleva un devanado amortiguador suficiente. Por este motivo se ha previsto la instalación en los generadores de arrollamientos amortiguadores que les permita admitir una carga asimétrica de alrededor de un 20%. El desequilibrio de carga provoca en el rotor pérdidas suplementarias que pueden dar lugar a un calentamiento inadmisibles.

Las pérdidas suplementarias en el rotor dependen del valor de la asimetría. El grado de asimetría puede ser definido exactamente, para corriente cualesquiera en las tres fases, por el valor de la componente inversa de la corriente. Sabido es que un sistema trifásico puede ser descompuesto en una componente directa, una componente inversa y una componente homopolar. En servicio normal, existe únicamente la componente directa; con carga asimétrica se hace presente la componente inversa y precisamente el grado de asimetría se define por la relación, expresada en por cientos, entre la componente inversa de la corriente y la corriente nominal. Las pérdidas suplementarias en el rotor son proporcionales al cuadrado de este valor.

La protección contra este tipo de falla puede organizarse midiendo la componente inversa de tal modo que al presentarse pequeñas asimetrías de la alarma y provoque la desconexión del alternador cuando el desequilibrio de la carga lleve a ser demasiado fuerte.

La Fig. N° 26. representa el esquema de conexiones del relé de protección contra cargas asimétricas. Consta esencialmente de cuatro elementos de sobrecorriente y dos elementos móviles tipo inducción mecánicamente independientes. Generalmente las corrientes de las fases 1 y 2 energizan los arrollamientos superiores, mientras que las corrientes de las fases 2 y 3 energizan los arrollamientos inferiores. Cuando existe equilibrio de fases se crea en cada uno de los discos pares iguales y opuestos permaneciendo estáticos los elementos móviles. Si se hace presente un desequilibrio que sobrepase el límite previsto, uno de los elementos operará cerrando los contactos que completan el circuito de disparo.

#### PROTECCION CONTRA FALLAS INTERIORES

a) Cortocircuitos entre fases.- Como protección contra los cortocircuitos entre fases, entre el punto neutro del equipo de transformadores de corriente y uno de los terminales del alternador o en caso de cortos a tierra doble, se utilizan los relés diferenciales.

El sistema diferencial consisten en balancear las corrientes provenientes de los transformadores de corriente conectados a los terminales del aparato en cuestión, de manera que bajo condiciones normales o cuando ocurre una falla externa al aparato exista un equilibrio de corriente, ese equilibrio se rompe cuando se produce un corto circuito entre fases, con lo cual se cierran los contactos de operación. Estos relés se suministran en dos ejecuciones: ya sea como simples relés de máxima intensidad o ya sea como relés compensados.

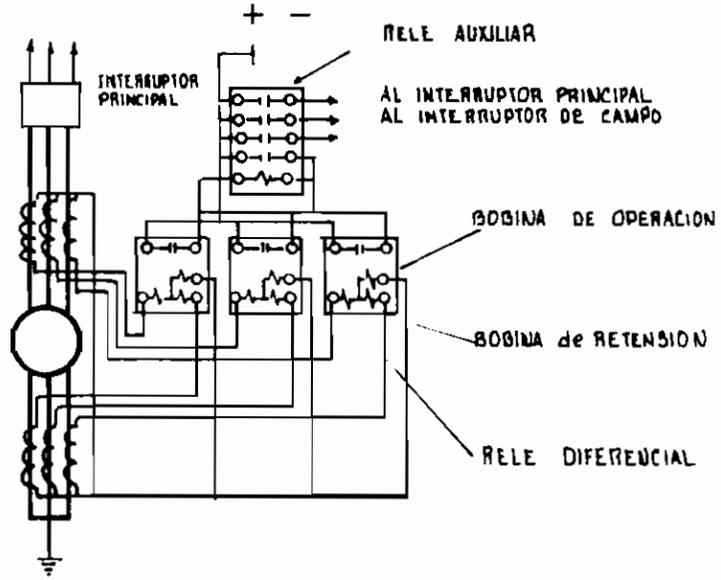
Los relés de sobrecorriente dan una protección de

masiado sensible ya que sería necesario que los transformadores de corriente y la impedancia de los circuitos secundarios hasta el relé presenten dos caminos de impedancias idénticas, lo cual en la práctica no es posible y si aunque en la operación normal las diferencias de corrientes que se producen no hacen operar el relé, el desbalanceamiento aparece al producirse una falla externa haciendo que circule una corriente suficientemente alta por la bobina del relé que lo hace operar. Para solucionar este problema se insensibiliza al relé, lo cual en muchos casos es perjudicial.

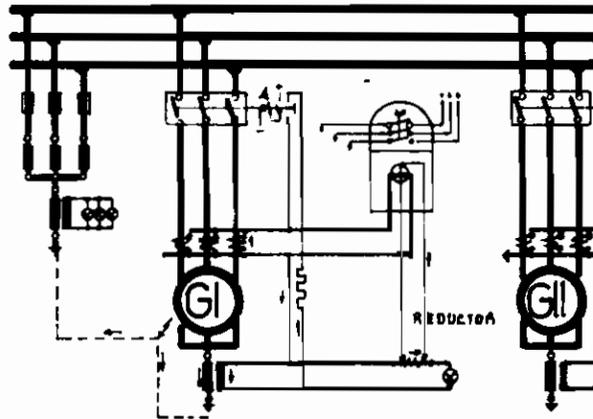
Para solucionar el problema anterior sin disminuir sensibilidad se ha desarrollado el relé de porcentaje o de cociente diferencial, en el cual la corriente que se necesita para operar la bobina de operación del relé es un porcentaje constante de la corriente que pasa por el transformador de corriente. Se ha previsto, por este motivo, relés diferenciales de este tipo, que serán descritos posteriormente, y cuyo esquema se muestra en la Fig. N° 27, con los cuales solamente un cortocircuito que ocurra dentro del área protegida producirá una corriente diferencial suficientemente grande para actuar el relé.

Como un arco de cortocircuito de considerable duración puede causar un fuerte daño al alternador, lo que significaría que sea suceso de acción por un largo período, la máquina es desenergizada y desconectada sin retraso de tiempo.

b) Cortocircuitos entre espiras.- Este tipo de falla se produce generalmente a causa de defectos mecánicos o sobretensiones de origen atmosférico que perforan el aislante que existe entre las espiras. Como consecuencia circula una fuerte corriente



*Fig. N° 27* PROTECCION DIFERENCIAL DEL GENERADOR



*Fig. N° 28* PROTECCION WATIMETRICA DE FALLA A TIERRA

te que calienta las espiras con el riesgo de quemar el material aislador y hacer en breve tiempo general e irreparable el incidente.

La elevada intensidad de la corriente en la fase fallosa genera un fuerte campo magnético que se opone al principal y lo disminuye sensiblemente; el sistema vectorial de las tensiones de fase, cuya suma es nula en servicio normal, se desequilibra por que la fase afectada disminuye de tensión. Utilizando precisamente este desequilibrio es como se organiza la protección central al contacto entre espiras, estableciendo la conexión representada en la Fig. N° 24 con el empleo de un relé vatimétrico con elemento limitador de voltaje (voltaje retrain), que será descrito posteriormente, que dispara con un retardo regulable lo que evita, con toda seguridad, las desconexiones falsas debidas a fenómenos transitorios.

c) Fallas a tierra del estator.- Los defectos más frecuentes que ocurren en los alternadores son los contactos a tierra de los arrollamientos del estator y que anulado, a menos que se detecten a tiempo, se convierten en cortocircuitos. Por esto es de mucha importancia una protección efectiva para fugas a tierra ya que así se previenen la mayoría de las fallas.

Existen diferentes conexiones de los dispositivos u suales en esta protección, diferenciándose por la forma en que se aumenta artificialmente la corriente que fluye por el punto de con tacto a tierra para conseguir la respuesta segura del dispositivo de protección y también por los métodos para conseguir que esta co rriente no pase de un valor máximo previsto.

En el presente caso, en que varios alternadores tra bajan en paralelo sobre las mismas barras, la protección debe ac - tuar selectivamente lo cual requiere aparatos adicionales. Se de - be poder distinguir, además, entre contactos a tierra por el lado del generador y contactos a tierra por el lado de la red.

Hay que tener en cuenta, que cuando esté más cerca el lugar de contacto a tierra del punto neutro del arrollamiento, tanto más pequeñas son las tensiones que actúan en el contacto a tierra y tanto menores también las corrientes de la avería. Por esto generalmente se aumenta artificialmente la corriente del con - tacto llevando a tierra el centro de estrella del generador a tra - vés de una resistencia de valor apropiado, cuya magnitud se des - prende de la condición de que si se produce un contacto de los bog - nes a tierra, que es el que ocasiona la máxima corriente de avería, ésta alcance un valor incapaz de producir destrucciones sensibles, aunque si puede ser utilizada como un criterio para determinar la existencia de la falla a tierra. Se emplea comunmente, elementos de resistencia con una característica dependiente de la tensión, es decir, con un valor único pequeño, con poca tensión y, en conse - cuencia, una corriente proporcionalmente más elevada que con ten - sión mayor. Esta corriente puede ser de 3 a 5 amperios. Sin en - bargo esta corriente puede alcanzar un valor excesivo indeseable cuando hay varios alternadores trabajando en paralelo, de ahí que sea ventajoso engendrar en común para todos ellos una corriente a tierra artificial suficientemente grande para activar los releve - dores.

Se utilizará en el presente caso, para la protección

de las fallas a tierra, un relé vatimétrico energizado tanto por el voltaje de falla a tierra como la corriente de falla a tierra (ver Fig. N° 3.8). La corriente de falla se produce juntamente para todos los alternadores que trabajan en paralelo, mediante un transformador trifásico del que se saca a fuera del centro de estrella, llevándolo a tierra a través de un transformador monofásico cargado con lámparas de filamento de hierro y atmósfera de hidrógeno con las cuales se consigue mantener la corriente en un valor casi igual dentro de un amplio campo de tensión.

Para obtener la corriente de derivación a tierra se montan tres transformadores de intensidad de bloqueo en las barras de salida del alternador, los cuales son excitados por la corriente artificial solamente cuando se produce la falla por el lado del generador, asegurando así la selectividad. La tensión se obtiene separadamente para cada máquina mediante un transformador monofásico conectado a tierra por el un borde y el punto neutro del alternador por el otro y se transfiere al relevador a través de un reductor y con ayuda de resistencias dependientes de la tensión se le comunica la misma característica que posee la corriente a tierra engendrada artificialmente.

En caso de que se produzca una falla exterior a tierra debido a la disposición de los transformadores de corriente, se neutralizan los efectos de las corrientes, de tal modo que el relevador permanece en reposo como es de desear. Mientras si la falla es interna se produce el arranque del relé de puesta a tierra y se realiza la desexcitación y desconexión de la máquina.

4) Falla a tierra del rotor.— Una falla a tierra en

el rotor, en principio, no tras ningún disturbio, pero si se produce otra falla queda cortocircuitada una parte del bobinado. Los distintos polos de la máquina no tendrán el mismo número de amperios vuelta, por lo que sus flujos vendrán a ser distintos apareciendo en el rotor fuerzas radiales unilaterales lo cual significa fuertes vibraciones y peligro para el alternador.

Se puede obtener protección contra esta falla mediante el sistema representado en la Fig. N° 25. Está constituido por un pequeño transformador T, un relevador de máxima de gran sensibilidad R y un condensador de protección C, gracias a este último la corriente continua de la excitación no puede entrar en el relé. El conjunto va montado en una caja común. En cuanto se presenta un defecto a masa en el rotor por ejemplo en el punto X, el circuito secundario del transformador auxiliar T se cierra por el relé R, el condensador C, la parte correspondiente del bobinado de excitación y el lugar del defecto X; el relé funciona y acciona el dispositivo de aviso.

e) Pérdidas de excitación.- Las pérdidas de excitación pueden producirse, por fallas en la excitatriz, cortocircuito en el circuito de campo, escaso contacto de las escobillas, por fallas del interruptor de campo, por errores de operación, etc.

En caso de producirse esta anomalía en uno de los alternadores conectados a las barras colectoras, fluye potencia reactiva del sistema a la máquina proporcionando la energía magnética que le es preciso. Si este estado de cosas se prolonga, se producirá una sobrecarga en el alternador en cuestión o de las unidades que trabajan en paralelo con él. Lo más corriente es que la

máquina pierda el sincronismo, resultando un peligro para el rotor y perturbaciones de circulación de energía en el sistema. Por otro lado, la tensión inducida en el bobinado retórico puede alcanzar valores muy elevados y peligrosos para el aislamiento. Se produce además, a la salida de la máquina, oscilaciones de voltaje - que pueden ser o no controlados por el regulador.

Generalmente no es posible determinar las pérdidas del campo midiendo la corriente de excitación ya que su variación al pasar del vacío a plena carga es muy grande. Sin embargo, la componente reactiva que fluye del sistema al generador va aumentando bajo la condición de falla y puede ser empleada para indicar la pérdida de campo.

Al efecto se emplea un relé polifásico que consta de tres elementos principales: un elemento direccional, una unidad de impedancia y un dispositivo electromagnético de sub voltaje. Se usa también un relé especial que retarda el tiempo de operación evitando así operaciones indebidas. Como se ve en la Fig. N° 24. que representa un esquema de esta protección, se requiere corriente de una sola fase y tensión de las tres fases.

La unidad direccional cerrará sus contactos cuando entre a la máquina un cierto valor de potencia reactiva; la unidad de impedancia, cuando la impedancia de la máquina, vista desde sus terminales, sea menor que un determinado valor; el relé de sub voltaje operará sus contactos por una caída de voltaje excesiva que pueda inestabilizar el sistema y no pueda ser controlada por el regulador de tensión respectivo.

La unidad direccional y la de impedancia generalmente provocan la operación del aparato de aviso durante condición de baja excitación, alertando al operador para que haga la correspondiente corrección. El relé de voltaje cierra el circuito de disparo cuando la pérdida de excitación es continua o en caso de haber peligro de inestabilidad del sistema.

Para proteger eficazmente una máquina contra los defectos internos, evidentemente no basta equiparla con relés de protección y desconectar su disyuntor, pues las máquinas sincrónicas seguirán con tensión y continuarían alimentando el defecto. Es, pues, preciso prever un mecanismo de supresión del campo magnético de la máquina para hacerle desaparecerlo más rápido y completamente posible. Sin embargo, tampoco se puede abrir súbitamente el circuito de campo, porque entonces se generan fuertes tensiones en el circuito. Se acostumbra por lo mismo, a insertar resistencias amortiguadoras, tanto en el campo de la excitatriz y con un ligero tiempo de retardo, en el circuito referido en el momento que se ocasiona el disparo.

#### PROTECCION CONTRA EXCESO DE VELOCIDAD.

Al producirse una descarga súbita del alternador se produce una sobrevelocidad que no puede ser controlada por el regulador automático de velocidad de la máquina impulsora. Para este caso, dicho regulador viene equipado con relés de velocidad que dan para el interruptor automático del circuito del generador, para la turbina y anuncia dicho accionamiento.

Hay que realizar además, LA VIGILANCIA DE LOS COJINES

que se realiza con ayuda de termostatos los cuales han de empujar se lo más cerca posible de la superficie de fricción. El termostate del cojinete está dotado de un contacto previo de señal y de un contacto de desconexión, el cual reacciona con una temperatura de 15 a 20°C más elevada que el primero; en caso de acción desconectará el alternador y la turbina, y si fuera necesario actuará también sobre el freno con objeto de disminuir el tiempo de parada.

#### PROTECCION CONTRA INCENDIOS.

Al producirse una avería pueden ocurrir incendios de bido a que la corriente de aire fresco de ventilación, que contiene oxígeno, alimentaría el fuego.

Por este el relé de protección debe abrir también las válvulas de las botellas que contienen anhídrido carbónico bajo presión que en pocos segundos sustituye el aire en todas las cañales de ventilación.

#### PROTECCION DE LAS BARRAS DE BAJA TENSION

Como se manifestó, no se ha previsto una protección especial para las barras de baja tensión de tal modo que al presentarse una falla en esta zona se produce la desconexión de los alternadores. Para que el tiempo de interrupción del servicio no sea mayor, se ha previsto la instalación de un doble juego de barras electeras; así pues, al producirse una falla en el un juego de barras, inmediatamente se podrá poner en servicio el segundo juego.

#### PROTECCION DE LOS TRANSFORMADORES DE PODER.

Los transformadores de la subestación de elevación re

quieran la siguiente protección mínima:

1. Protección contra fallas internas;
2. Protección contra sobrecargas
3. Protección contra sobrecorrientes de origen exterior;
4. Protección contra sobretensiones atmosféricas.

#### **PROTECCION CONTRA FALLAS INTERNAS.**

En los transformadores de elevada capacidad puede utilizarse la protección diferencial y la de Buchholz, protecciones que se complementan entre sí; pues, mientras el relé Buchholz no reacciona más que con aquellos efectos que vaporizan el aceite, la protección diferencial se extiende a todos los cortos-circuitos producidos en la parte de la instalación comprendida entre los transformadores de intensidad de los lados de alta y baja tensión y es la única que garantiza la protección selectiva.

La protección Buchholz está basada en el hecho de que cualquier irregularidad en el funcionamiento de los transformadores provoca inmediatamente un desarrollo de gases más o menos intenso, debido a la descomposición de los aislantes sólidos y líquidos bajo la acción del calor. Algunos casos de los accidentes que producen con éste fenómeno se dan a continuación:

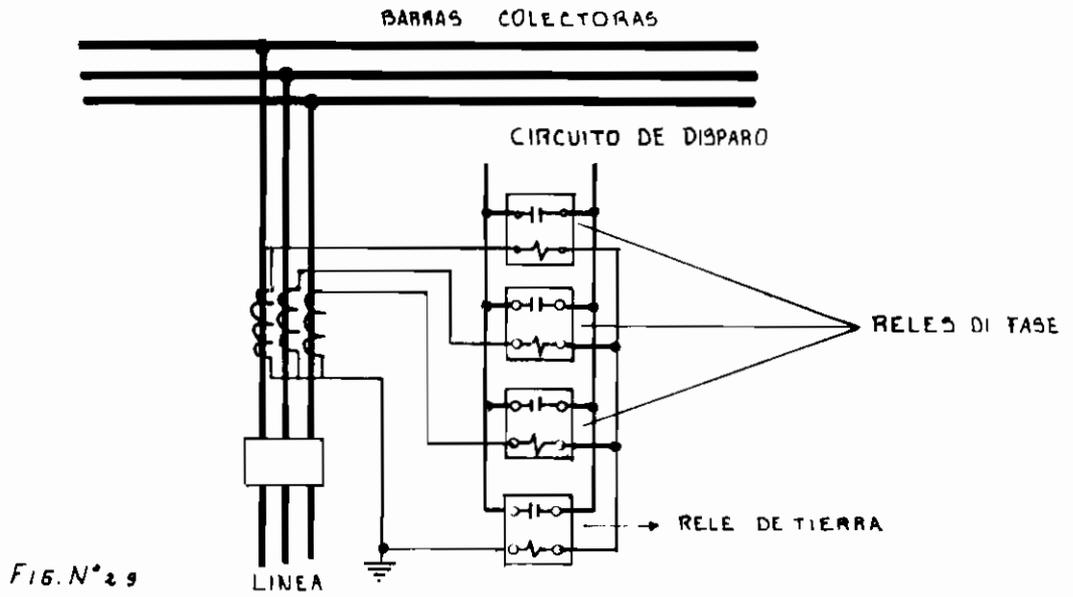
- a) En caso de ruptura de una conexión se produce un arco que se alarga rápidamente por fusión de los conductores pudiendo provocar un cortocircuito.
- b) Cuando existe una falta de aislamiento con la masa, causada a menudo por las sobretensiones, se produce también un arco entre la bobina y la cuba del transformador.

- c) En caso de cortocircuito y sobrecargas bruscas;
- d) Por la modificación de las propiedades químicas del aceite que reducen su rigidez electrostática, ciertas partes del arrollamiento quedan sometidas a sobretensiones que producen descargas que llegarán a dañar el transformador;
- e) Cuando hay fallas del tipo constructivo o averías efectuadas en el envío del transformador pueden producirse corrientes de Foucault internas que provocan el aumento de temperatura.

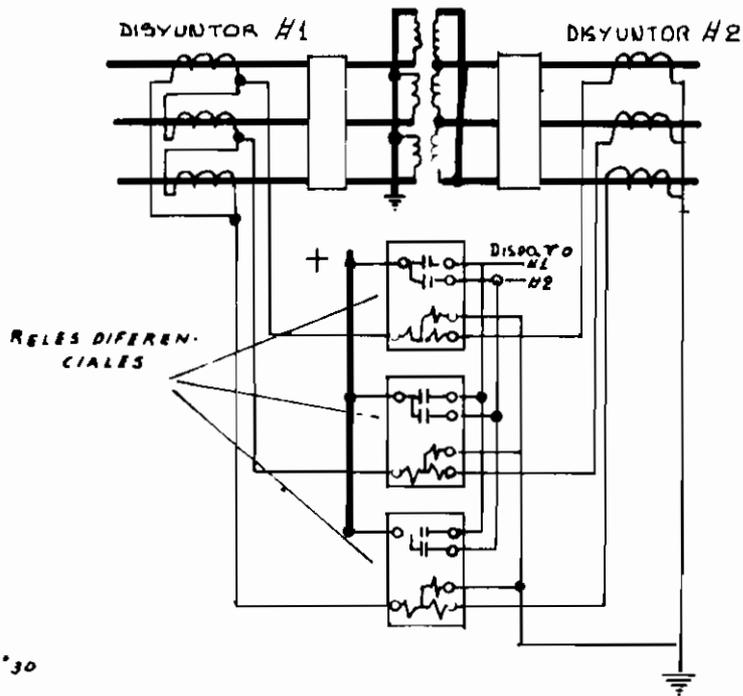
Es decir, este relé funciona sólo para el caso de fallas internas del transformador; sin embargo, si no hubiesen fallas que impliquen la inmediata descomposición del aceite, no funcionaría el relé.

El relé se presenta en forma de un pequeño recipiente inserte en la tubería ligeramente inclinada que une la cuba del transformador con el depósito de expansión colocada en posición más elevada y funciona actuando un primer contacto que da una señal preventiva y si el defecto es mayor acciona un contacto que se desencadena los disyuntores colocados en los lados de alta y baja tensión del transformador.

La protección diferencial es análoga a la utilizada en los alternadores; compara las corrientes a la entrada del primario y a la salida del secundario de cada fase. Sin embargo, cuando se utiliza en transformadores se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:



PROTECCION DE SOBRE CORRIENTE Y SOBRE CORRIENTE A TIERRA DE L.D.E.T.



PROTECCION DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR

- a) En el funcionamiento en vacío existe en el primario la corriente de magnetización. Los relés diferenciales deben ser insensibles a esta corriente que no representa ningún defecto.
- b) Al cerrar el interruptor de alimentación aparece una sobrecorriente instantánea, que provoca en los transformadores de medida corrientes que tienden a disparar el relé. El relé debe ser insensible a este fenómeno transitorio, sin que por ello disminuya su sensibilidad.
- c) Los errores que involucran los transformadores de corriente ya sea porque utilizan transformadores de corriente de diferentes tipos en los dos lados del transformador de poder ya que la corriente nominal estándar del transformador de corriente no coincida con la nominal del transformador de poder, etc., deben tenerse en cuenta al seleccionar el tipo de relé.
- d) Cuando los transformadores, como en el presente caso, están conectados en triángulo-estrella, las corrientes en los dos arrollamientos presentan un desfase entre sí, por consiguiente no se pueden comparar. Por tanto, se debe compensar este desfase lo cual se consigue conectando en estrella-triángulo los lados primario y secundarios de los transformadores de corriente.

El denominado relé de porcentaje diferencial resistente a la conexión cumple con los requisitos mencionados y será utilizado en el presente estudio. Estos relés son usualmente del tipo instantáneo o de alta velocidad y no requieren tiempo de re -

tardo para obtener selectividad ya que sus características lo hacen inmunes a los defectos transitorios, si estos relés están utilizados en forma correcta.

La utilización conjunta de estas dos clases de protección, Buschels y diferencial, si bien representan un ligero sobrecosto, tiene la ventaja de que en caso de falla de la una, la otra sirve como protección de retaguardia y también, en caso de que por cualquier circunstancia se retira del funcionamiento uno de los dos sistemas de protección, puede perfectamente funcionar el otro.

#### PROTECCION DEL TRANSFORMADOR CONTRA LAS SOBRECARGAS

Se manifestó que el relé Buschels protege al transformador contra sobrecargas bruscas siempre que se produzca la volatilización del aceite, lo cual no ocurre sino a una temperatura de 150°C. Como la elevación de temperatura es aproximadamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, se comprende que aún pequeñas sobrecargas pueden dar lugar a temperaturas, que aunque no lleguen al límite mencionado, ocasionarán con el tiempo averías en el transformador puesto que la mayor parte de los aislantes se deteriorarán con más rapidez si su temperatura sobrepasa constantemente un límite admisible.

Estos sobrecalentamientos pueden chequearse mediante las diferentes clases de relés térmicos que limitan el valor medio y no el valor máximo de la potencia absorbida. Estos relevadores pueden ser: del tipo de imagen térmica del transformador, relevadores que funcionan al llegar el aceite a una temperatura límite o aquellos que funcionan con detectores de temperatura de resistencia que se colocan entre los arrollamientos del transformador.

De uso más generalizado, en los transformadores de mediana y gran potencia, por su efectividad, es el dispositivo de "imagen térmica", que será empleado en el presente caso. En suma, es un elemento de resistencia con cuerpo de caleo sumergido en la cuba del transformador, y por consiguiente afectado por la temperatura del aceite, recorrido por una corriente proporcional a la del transformador y que tiene la misma característica de dispersión de calor y capacidad térmica que los arrollamientos de éste.

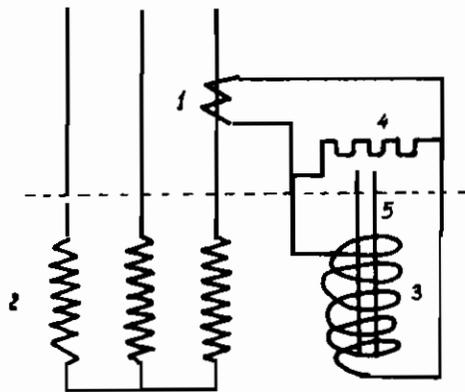
La Fig. N° 31 muestra un esquema de este dispositivo de protección. Un transformador de corriente 1 situado en el circuito de alimentación del transformador de potencia 2, proporciona una corriente, proporcional a la de los arrollamientos, a la resistencia de caleo 3 y a la resistencia externa ajustable 4. El termómetro de resistencia 5 mide la temperatura existente y cuando ésta sobrepasa un límite determinado (alrededor de 110°C) acciona un dispositivo de alarma y si aumenta más aún (por ejemplo, 120° C) desconecta el disyuntor.

#### PROTECCION CONTRA FALLAS EXTERNAS

Se ha previsto la protección contra este tipo de fallas mediante el empleo de relés de corriente del tipo inverso, que servirán como protección de retaguardía al circuito de transmisión debiendo su funcionamiento estar coordinado para procurar la selectividad.

#### PROTECCION CONTRA LAS SOBRETENSIONES ATMOSFERICAS

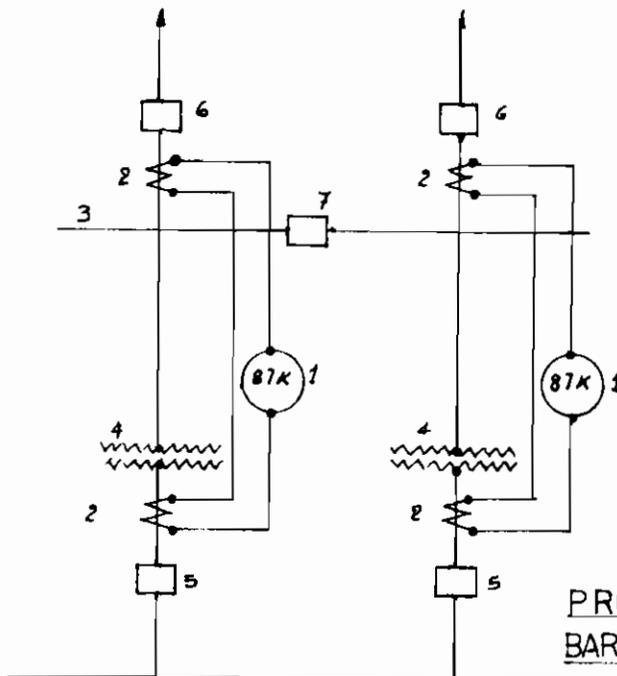
Se empleará un juego de pararrayos para cada trans-



LEYENDA

- 1.- Transformador de corriente
- 2.- Transformador de Poder
- 3.- Resistencia de calent
- 4.- Resistencia externa
- 5.- Termómetro de resistencia

fig N<sup>o</sup> 31 ESQUEMA DE DISPOSITIVO DE IMAGEN  
TERMICA



LEYENDA

- 1.- Relé diferencial
- 2.- Transformadores de corriente
- 3.- Barras colectoras
- 4.- Transformador de fuerza
- 5.- Disyuntores de B.T.
- 6.- " " A.T
- 7.- " " ENLACE

fig N<sup>o</sup> 30 PROTECCION DIFERENCIAL DE  
BARRAS Y TRANSFORMADORES

formador de poder, colocados muy próximos a los transformadores y sus bornes de toma de tierra estarán unidos directamente con la caba del transformador y en ningún caso "la tierra" de este último debe ser distinta de la del pararrayos. Se protege también la instalación con cables estáticos colocados lo más alto en el patio de transformación.

#### PROTECCION DE LAS BARRAS DE ALTA TENSION

Se ha adoptado para la protección de las barras de alta tensión la protección diferencial conjunta con el transformador de potencia, lo cual es posible debido a que dicha protección se extiende a todos los cortocircuitos producidos en la parte de la instalación comprendida entre las salidas de los transformadores de corriente colocados a uno y otro lado del aparato protegido.

La Fig. N° 30 nos muestra el correspondiente es-  
quema. El relé diferencial 1, cuyo funcionamiento y requisitos se trataron anteriormente, se conectará a los secundarios de los transformadores de corriente 2, ubicados en el lado de baja tensión del transformador de poder, y a la salida del circuito de transmisión. Si se produjera una falla en las barras 3, o en el transformador 4, o en los circuitos comprendidos entre los secundarios de los transformadores de corriente, el relé diferencial accionará los disyuntadores 5 y 6 y también el disyuntor de enlaces que seccionará las barras. De esta manera no se interrumpirá el servicio en forma completa ya que la alimentación continuaría por uno de los transformadores a uno de los circuitos de transmisión, sacrificando así solo la mitad de la capacidad hasta que sea reparada la avería.

## PROTECCION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

A excepción de las averías ocasionadas por sobrecargas mecánicas, en los sistemas de líneas de transmisión ocurren, por lo general, fallas de naturaleza temporal, especialmente cortocircuitos producidos por ramas, pájaros, etc., o arcos momentáneos originados por rayos.

Se protegerá contra las sobretensiones, como se manifestó, mediante pararrayos y con conductores de puesta a tierra. Mientras que para proteger contra los cortocircuitos se ha tenido en cuenta que para este caso los dos circuitos de transmisión llevarán la energía a una subestación de interconexión.

Para estos casos se suele emplear relés de distancia o máxima impedancia los cuales a más de ser muy efectivos aseguran la selectividad. Por su complicada construcción estos dispositivos tienen un alto precio. Para el caso en estudio se ha previsto dicha protección mediante interruptores de potencia accionados por relés de máxima intensidad de corriente a tiempo retardado en la salida de las líneas y al final de las mismas, relés de retorno de potencia con disparo instantáneo.

De esta manera, al producirse una falla en uno de los circuitos funcionará el otro, ya que, en un primer instante actuará el relé de retorno de potencia impidiendo que la falla se alimente, a través de la subestación, con el circuito sin falla lo cual ocasionaría el disparo del disyuntor de salida de este circuito. Con dicha disposición después que se ha abierto el disyuntor por acción del relé de retorno de potencia. La avería se alimenta

sólo por la línea fallosa que proviene de la central y no por el otro circuito cuyo relé de máxima retornará a la posición de reposo mientras que el del circuito de falla transcurriendo el tiempo para el cual ha sido regulado abrirá su interruptor. Se asegura así la selectividad.

Se prevé también la protección de los circuitos de transmisión contra fallas a tierra mediante un relé de sobrecorriente direccional de puesta a tierra, el cual proporcionará una señal y si la falla es peligrosa desconectará el disyuntor de la línea.

Una vez estudiado la forma cómo se llevará a cabo la protección del sistema, se describirá en forma sucinta las principales características de los relés de protección, interruptores automáticos y seccionadores, aparatos que permiten localizar, y aislar la sección fallosa y realizar las diversas maniobras que requiere el servicio.

**RELES DE PROTECCION.-** Son dispositivos que activados por condiciones físicas o eléctricas provocan el funcionamiento de los aparatos de maniobra, El automatismo de estos últimos es, pues, asegurado por los relés.

Los relés se clasifican y se designan indistintamente así, de acuerdo al principio de funcionamiento: electrodinámicos, electromagnéticos, a inducción, diferenciales, térmicos; a base de la magnitud medida: de intensidad, de tensión, vatimétricos; considerando el tiempo necesario para actuar: relé instantáneo, a tiempo dependiente, de acción diferida; considerando el tipo de in

tervenoións: relé de máxima, de mínima direccional; por último, relés directos si están insertos directamente en el circuito que protegen o indirectos si son alimentados por transformadores de intensidad o de tensión.

Se describirá los diversos tipos de relé que se utilizarán siguiendo, entre varios tipos de clasificación indicados, el correspondiente a su modo de funcionamiento.

**RELES ELECTROMAGNETICOS.-** Están constituidos por un imán que ac - túa sobre una armadura móvil. Su función es cerrar o abrir el circuito de una corriente auxiliar y la combinación de los esfuerzos producidos en el electroimán excitado por dicha corriente y los resortes convenientemente dispuestos, dan lugar al efecto deseado.

En esencia consta de un circuito magnético cons - truido de chapas de hierro en cuyo centro se fija un cilindro guía que lleva en su interior un núcleo de hierro dulce al que está adosado un vástago de duraluminio y constituye el elemento móvil que reposa sobre un tornillo regulable, Coaxial con la parte fija se coloca la bobina.

Cuando la corriente que circula por la bobina, que es proporcional a la corriente o tensión del circuito protegido, sobre pasa un valor fijado, el equipo móvil se eleva venciendo el propio peso o la fuerza de un muelle antagonista con la que esta - blece o interrumpe un circuito auxiliar.

Se fabrican, con ligeras variántes, como relés de máxima corriente o máxima tensión instantáneos, como relés auxilia

res y en combinación con un pequeño motor de campo giratorio constituyen los relés de tiempo regulable (de retardo).

Los relés de retardo son de dos clases: de retardo fijo, independiente del valor de la intensidad que los hace entrar en acción y de retardo inverso en los cuales, el tiempo transcurrido desde que la intensidad excede del límite fijado como máxima hasta el instante de funcionar el relé, depende del valor de aquella, siendo tanto más reducida cuanto mayor es dicha intensidad.

Un relé de retardo se obtiene haciendo que la acción provocada por el exceso de corriente en la bobina se limite a poner en marcha, por medio de palancas o de muelles, un dispositivo de retardo obteniendo por la inercia de un disco o con un sistema de re-lejería, el cual al cabo de un cierto tiempo, cierra el circuito de maniobra. Estos relés van provistos de escalas para la regulación del tiempo de disparo y de la intensidad de corriente para la cual funcionará el relé.

Se pueda obtener relevadores de mínima corriente o tensión si se invierten los papeles del electroimán y del resorte. De este modo cuando la corriente, o la tensión, desciendan de un cierto límite dicho electroimán no será capaz de sostener el núcleo móvil y los contactos del circuito de la corriente auxiliar se cerrarán por la acción del resorte sobre el elemento móvil.

**RELES ELECTRODINAMICOS Y FERRODINAMICOS.**- Su funcionamiento se basa en la acción de una bobina fija sobre una bobina móvil (relé electrodinámico). Si están dotados de un circuito magnético se llaman ferrodinámicos.

Su funcionamiento y los elementos esenciales de estos relés son análogos a los de los instrumentos electrodinámicos de los cuales se trató anteriormente. Se diferencian en que, en lugar del elemento indicador acoplado al sistema móvil, tiene un equipo de amortiguamiento constituido por una paleta que se mueve sobre las expansiones polares de un imán permanente. Posee además, un par de contactos mantenidos en su posición de reposo por un pequeño imán. El giro del elemento móvil debido a la interacción de los campos producidos por las bobinas mantiene cerrado un contacto, el cual se abre a la par que se cierra un nuevo contacto - cuando en el circuito exterior se producen condiciones anormales que hacen que la rotación se produzca en sentido contrario.

Los relés de este tipo son de disparo instantáneo y pueden funcionar a máxima potencia, a retorno de potencia, o a dirección de potencia, según la posición y diseño de sus elementos.

**RELES DE INDUCCION.-** Estos relés, que son los que más se emplean actualmente, se basan en los mismos principios de los aparatos de medida y contadores a inducción descritos en un acápite anterior.

Consisten en un disco, que puede girar libremente en un eje, que se tiene mediante un resorte y con el contacto móvil fijado a dicho eje. Dos arrollamientos generan respectivos flujos en expansiones polares del circuito magnético y dan lugar a un par que actúa sobre el disco en dirección opuesta al efecto antagónico del muelle. Un dispositivo de amortiguamiento magnético retiene al disco durante el arranque siendo un factor importante para la obtención de la característica de tiempo deseada. Para obte

ner el punto de funcionamiento de los contactos de relé se controla también la tensión del muelle.

De esta manera, cuando el par rotor es inferior al resistente el disco permanece inmóvil, pero en cuanto dicho par alcanza un valor mayor, el disco gira, con velocidad tanto más grande cuanto mayor sea aquél cerrando, si ha transcurrido el tiempo necesario, los contactos de la corriente auxiliar. Si el tiempo de duración de falla no alcanza al valor al cual se ha calibrado el aparato, el disco gira en sentido contrario por la acción del muelle hasta quedar en su posición de reposo mediante un tope del que está provisto.

Para mejorar la sensibilidad y obtener mayor precisión de funcionamiento, en algunos tipos de relé el disco se pone ya en movimiento para valores débiles de corriente, pero solamente para el valor exacto de la corriente controla un mecanismo que aplica el movimiento de un mecanismo de relojería.

Se utilizan los relés de inducción para conseguir un control sobre corriente, tensión o potencia requiriéndose únicamente dimensionar adecuadamente los dos arrollamientos de electroimán. Su aplicación principal, de acuerdo a lo dicho, es en los relevadores de retardo inverso; teniéndose así, relés de inducción de máxima corriente o tensión a tiempo inverso, de potencia de tiempo inverso y entre estos últimos los de inversión de potencia (direccionales). Mediante la adición de un torque compensador se puede obtener relés de tiempo definido.

Se puede lograr también un funcionamiento casi ins -

tantáneos de los relés de inducción si se disponen los contactos del circuito auxiliar de modo que para cerrar éste baste un ángulo de giro del disco de sólo  $7^{\circ}$  ó  $3^{\circ}$ .

Los relés de inducción de corriente tienen sus dos arrollamientos conectados en paralelo y llevan, uno de ellos una resistencia en serie y el otro una inductancia. En los de tensión la bobina inductiva está conectada en derivación con el circuito a controlar, mientras que el otro arrollamiento lleva en serie una resistencia graduable. Variando la resistencia se puede realizar la calibración de voltaje. Esta calibración puede hacerse entre 50 a 140 V. en los relés de voltaje nominal de 115 V. Pueden, por tanto, ser suministrados estos relés ya sea para ser empleados como relés de sobretensión o baja tensión.

En los relés vatimétricos de inducción direccionales (llamados indistintamente de potencia o energía), cuando la energía tenga la dirección normal, el disco gira en cierto sentido hasta chocar con una pieza de paro. Si por el contrario se produce un retorno de energía, el disco gira en sentido inverso hasta chocar con el contacto produciendo así la desconexión por apertura o cierre del circuito auxiliar. El disco vuelve a su posición inicial por la acción de un muelle o contrapeso. En estos relés, los dos polos superiores del electroimán son energizados por sobrecorrientes y el polo inferior por una corriente o voltaje polarizados. Los flujos producidos por estas dos cantidades eléctricas producen la rotación del disco en una dirección que depende del ángulo de fase entre las corrientes y el voltaje. Cuando se produce una falla de inversión de potencia se invierte la corriente en el relé, mientras la corriente o tensión polarizada permanece fija, produciéndose así el torque direccional.

En algunos casos los relés de potencia direccionales van equipados con un elemento limitador de tensión, lo que da lugar a que el relé tenga una característica de funcionamiento de elevada corriente mientras la tensión sea la nominal, adquiriendo una característica de funcionamiento a una corriente de poca intensidad al disminuir la tensión como ocurre al averiarse el sistema. Bajo condiciones normales de carga el relé permanece en la posición de reposo, más al ocurrir una disminución de tensión puede entrar en acción instantáneamente.

Combinando un elemento de sobrecorriente con un elemento direccional se obtiene los denominados relés de sobrecorriente direccionales, los cuales actúan sólo cuando la dirección de la corriente tenga un sentido determinado y su valor pase cierto límite. Se obtiene de esta manera un relé que actúa en forma segura dentro de un amplio margen de tensión y corriente.

Como relé de inducción se construyen los relés de frecuencia que pueden operar ya sea como relés de baja o sobre frecuencia. Son esencialmente idénticos a los relés de sobrecorriente, diferenciándose en que los dos arrollamientos se conectan en derivación con el circuito exterior, y el arrollamiento inferior lleva en serie una capacidad (exterior al relé) mientras el superior, una resistencia graduable para la calibración del relé. Al producirse un cambio en el valor normal de la frecuencia el ángulo de fase del circuito inferior cambia más rápido que el del superior lo cual origina un par que hace variar la posición de reposo del disco.

La mayoría de los relés de inducción y siempre que

sea necesario, puedan ir provistos de un dispositivo de disparo instantáneo constituido por un pequeño relé electromagnético que permite la acción instantánea del relé en cuanto ocurran condiciones anormales que sobrepasen un límite permisible.

**RELES TERMICOS.-** Debido a sobrecargas e corrientes un poco superiores a la normal pero de larga duración pueden producirse en los aparatos eléctricos sobrecalentamientos que llegarán a deteriorarlos. Los aparatos que vigilan este estado anormal son los relés térmicos que pueden ser de dos tipos: los que utilizan bobinas de exploración y los que emplean un termostato.

Los relés de bobina de exploración son del tipo de inducción y su funcionamiento se basa en el principio del puente de Wheastone. El Circuito puente se forma mediante dos resistencias dentro del relé y dos bobinas de exploración que van montados en los arrollamientos del aparato protegido. Donde comúnmente iría el galvanómetro se conectan los terminales del bobinado de los polos superiores del relé y la alimentación se realiza por medio de un transformador de corriente el que energiza también la bobina del polo inferior del relé de inducción.

Cuando las resistencias del puente son ajustadas para la temperatura normal de operación y las bobinas de exploración han alcanzado esta temperatura, no fluirá corriente en los arrollamientos superiores del relé. Sin embargo, cuando la temperatura del equipo crece, el puente se desequilibra y circulará corriente por el arrollamiento superior. La interacción entre estas corrientes y la del polo inferior produce un torque tendiente a cerrar los contactos de relé.

Para las instalaciones donde no se dispone de bobinas de exploración se emplea los termoelementos basados en el principio de la "imagen térmica".

Este relé consiste en un elemento térmico que se calienta indirectamente por medio de una corriente proporcional a la principal. Este calentamiento lo efectúa en un tiempo igual y siguiendo la misma ley que los de la máquina a proteger, dado que la constante de tiempo de calentamiento (tiempo necesario para que un ensayo de calentamiento con la corriente nominal se alcance el 63 % de su temperatura máxima), es aproximadamente la misma que la de la máquina. El calentamiento de este elemento produce el movimiento de rotación de los contactos y si la sobrecarga persiste por un largo tiempo dichos contactos llegarán a cerrarse. La bobina del relé por la cual circula la corriente de calentamiento posee tapas de regulación y los contactos del relé pueden ser ajustados para un desplazamiento grande o pequeño. De esta manera se tiene un amplio margen de trabajo del relé ya sea en tiempo y corriente.

Para sobrecargas excesivas, por ejemplo las que ocurren en un cortocircuito, la operación puede realizarse instantáneamente mediante la adición de un dispositivo electromagnético de sobrecorriente.

#### RELE DIFERENCIAL

El relé diferencial compara la corriente de entrada y de salida del objeto protegido. Estas corrientes son iguales en un estado normal, pero al ocurrir una falla se producirá un desequilibrio que puede ocasionar la operación del relé.

Dicha comparación se realiza de distintos modos, según sea el principio de funcionamiento del relé, así: por diferenciación eléctrica, en la cual las dos corrientes se suman y se anulan si son iguales, ya que tienden a circular en dirección opuesta; por diferenciación magnética, una tendiente a crear y otra a destruir el flujo en un núcleo de hierro móvil; por diferenciación mecánica, recorriendo dos bobinas diversas y atrayendo, por consiguiente, dos armaduras móviles unidas a un sistema de balancín que se inclina en una dirección en caso de desequilibrio; por acción antagónica de los arrollamientos sobre el mismo equipo móvil de disco en un dispositivo de inducción.

Debido a que pueden existir diferencias mínimas de corrientes que ocasionaría disparos indebidos, por las causas mencionadas al hablar de la protección de generadores y transformadores, y aún en estado normal, se acostumbra a emplear los relés diferenciales compensados denominados de porcentaje o cociente diferencial. Estos, a más de las bobinas normales de operación van provistos de arrollamientos de retención; de esta manera, el relé provoca la desconexión cuando el par producido por la bobina de operación o diferencial supera el producido en la bobina de retención y al de un elemento antagonista. Para vencer este último hace falta una cierta corriente mínima que puede ser regulada y elegida según convenga. El relé compensado está provisto para una sensibilidad límite de 20 a 45 % y puede ajustarse de un 10 a un 50 % de la corriente nominal, lo que se consigue ajustando al número de vueltas mediante taps que poseen los arrollamientos.

El llamado relé de porcentaje diferencial segure a la

conexión que se utiliza en los transformadores de poder, va provisto además de un dispositivo de bloqueo de los interruptores, compuesto de un relé temporizado y contactores auxiliares.

#### RELÉS AUXILIARES Y DE VERIFICACION

Se emplean los relés auxiliares para ayudar a los relés de protección a ejecutar sus funciones. No es práctico tratar de incorporar en el relé principal todos los contactos necesarios cuando se tiene un complicado circuito de control. Por esto, se dispone de algunos tipos de relés auxiliares, incluyendo los relés de tiempo, los cuales pueden ser usados solos o en combinación según la complejidad del problema, pero en todos los casos la operación es iniciada por el relé de protección.

El uso de relés auxiliares junto con el relé de protección se puede agrupar en tres clases: 1) energizar múltiples circuitos de control, 2) proporcionar capacidad para los circuitos de control que requieran elevadas corrientes y así ser manejadas sin peligro por el relé de protección, 3) para proveer una flexibilidad en la disposición de los contactos, tales como de apertura y cierre, para algunos circuitos, simultáneamente.

Los relés de verificación tienen por objeto comprobar que en un sistema las condiciones, con respecto a límites preestablecidos, son correctos e inician o permiten funciones automáticas tales como apertura de interruptores o funcionamiento de avisos.

#### DISPOSITIVOS DE ENSAYO

Todos los relés llevan bornes de ensayo que permi -

ten un control fácil del dispositivo de protección, incluso durante el servicio normal. Un control periódico es realmente necesario, en especial en aquellos dispositivos que por naturaleza, sólo raramente tienen ocasión de funcionar.

Desde hace algún tiempo, incluso se prevén dispositivos fijos de ensayo, que permiten el control de un relé por un simple botón pulsador o accionando con un conmutador, sin que sea necesario el deshacer ninguna conexión. En su disposición más usual, llevan para cada relé o grupos de relés iguales un manipulador con lámpara señal en su interior y tres posiciones "Servicio", posición intermedia y "Ensayo". En esta última se simula un defecto mediante, por ejemplo, la alimentación de los relés por corriente tomada del exterior y de valor superior al de funcionamiento; en caso de transformadores de intensidad que alimenten a los relés de tierra, éstos llevan una bobina de ensayo especial, a la que se envía una corriente equivalente a la del caso de producirse una masa. El circuito de desconexión queda interrumpido y conectado a una lámpara señal, la cual se enciende si el relé funciona correctamente. La posición intermedia proporciona la seguridad de que el relé ha vuelto a su posición inicial, antes de que el circuito de desconexión vuelva a ser establecido. En cuanto a la lámpara de señal, esta queda encendida todo el tiempo que el conmutador se encuentre fuera de la posición de servicio normal.

## SECCIONADORES

Los seccionadores o desconectadores son dispositivos mecánicos con una parte móvil dispuesta para abrir o separar u

nos contactos unidos a los conductores. Normalmente pueden trabajar bajo tensión pero sin carga pues el arco producido a la apertura del circuito pueda dar lugar a cortes circuitos y desgastar mucho los contactos pero pueden, sin embargo, efectuar también la desconexión de la intensidad de marcha en vacío de pequeños transformadores, así como de líneas aéreas cortas y de trozos de cables. Se emplean principalmente para separar equipos de las barras o de aparatos bajo tensión, para seccionar barras y circuitos, y también para transferencias, ensayos y puesta a tierra.

Se construyen seccionadores para satisfacer las necesidades del servicio, tanto en el interior como a la intemperie y pueden ser uni o tripolares. Sus principales elementos son: las cuchillas de desconexión, las piezas de contactos y los terminales de conexión a ambos lados, todo lo cual va soportado por aislado res montados sobre un bastidor. Circunstancialmente van provistos de barras de puesta a tierra.

Las dimensiones y el tipo de seccionador dependen de las características del circuito en el cual debe estar colocado. Si la corriente que lo recorre no es muy elevada, está constituida por una barra de cobre, cuya longitud es aproximadamente proporcional a la tensión de servicio; si dicha corriente es muy elevada, en vez de una barra se colocan dos o más en paralelo, cada una oprimida por un muelle o por otro dispositivo adecuado para asegurar el pase regular de la corriente y que no produzca frotamientos elevados en el momento de la maniobra.

Otra realización del separador es el llamado de des

lizamiento. Aquí la cuchilla separadora no gira lateralmente, sino que se desplaza hacia abajo. Se lo emplea principalmente en interiores donde no existe el espacio suficiente aunque su capacidad de desconexión alcanza sólo el 30 % de la de un normal.

Para altas tensiones se utilizan seccionadores montados sobre tres aisladores de los cuales el central es giratorio, se tiene de esta manera una interrupción doble requiriéndose sólo una distancia en el aire igual a la mitad de la total. El seccionador de contactos de garras utiliza dos aisladores giratorios y dos brazos unidos por pequeños árboles y engranajes; durante la manobra giran simultáneamente los dos en el mismo sentido o en el sentido opuesto.

En tipos modernos de seccionadores se usan, casi de un modo general, superficies de contactos plateadas o con incrustaciones de plata ya que dicho metal no está expuesto a los aumentos de resistencia de contacto y los recalentamientos causados por la oxidación.

La maniobra de los separadores suele realizarse a mano mediante pértigas de material aislante, o una manivela o volante y una transmisión mediante palancas y bielas; así se facilita disponer enclavamientos mecánicos o eléctricos para asegurar que la maniobra del seccionador y su interruptor se efectúe en el debido orden ya que el accionamiento equivocado de un desconectador bajo carga, puede traer consigo muy malas consecuencias, causar destrucción en partes de la instalación, así como motivar una costosa interrupción del servicio.

Dicha maniobra se realiza también a distancia mediante mando a motor, o por aire comprimido; para este último caso, van provistos de un cilindro con émbolo y colocado junto al árbol de mando de las cuchillas. Por apropiadas palancas ligadas al émbolo, cuando actúa el aire en uno u otro sentido de aquel, abren o cierran las cuchillas. El mando se efectúa desde el cuadro de distribución mediante interruptores de mando. Naturalmente, estos seccionadores se pueden accionar también a mano.

Junto con los dispositivos de accionamiento o unidos a ellos se montan los señalizadores para indicar la posición del seccionador y también los enclavamientos.

#### DISYUNTORES O INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

El disyuntor es un aparato destinado a establecer o a cortar la continuidad de un circuito bajo carga. Su objeto es pues insertar en un sistema eléctrico o retirar de él, máquinas, aparatos o líneas e interrumpir el circuito al producirse una falla. Esta interrupción se realiza automáticamente al ser accionado por los relés de protección o por voluntad expresa del operador cuando lo exigen las circunstancias.

Los corte circuitos representan la máxima carga de un interruptor aunque muchas veces deba interrumpir también una débil corriente inductiva, desconectar líneas que trabajan en vacío intervenir cuando dos redes que funcionan en paralelo pierden el sincronismo, cerrar sobre un corto circuito preexistente, etc.

Tales operaciones dan origen a fenómenos eléctricos

que puedan comprometer la seguridad de la instalación si el diayun tor no está dimensionado adecuadamente. Uno de estos fenómenos y el más importante es el arco eléctrico, siendo el problema básico de los interruptores la extinción del arco, el que aparece debido a la alta tensión y grandes corrientes que son interrumpidas. De la forma y el tiempo en que desaparece el camino ionizado que mantiene el arco depende el tipo de construcción del interruptor.

Existen varias clases de interruptores automáticos siendo dos los que ofrecen especial interés: los interruptores de cuba de aceite empleados por las altas cualidades dieléctricas de dicho líquido y los gases que se forman al producirse el arco, resultan eficaces para extinguirlo y para evitar su reconcebamiento, y los interruptores neumáticos en los cuales, desde un depósito, se suministra un agente de extinción gaseoso, principalmente el ai re, al espacio de ruptura.

Los principales elementos de un interruptor en acei te son: una cuba metálica casi llena de aceite provista de una tapa de fundición por la cual entran, por medio de aisladores pasantes, los conductores que terminan en los contactos principales. Una barra aislada en T, que asegura la continuidad metálica del circu ito, que lleva los contactos móviles y que para cerrar el inte rruptor se elevan, con lo cual los contactos móviles se oprimen fuertemente sobre los contactos fijos. Esta posición se mantiene por un gancho u otro dispositivo análogo, que queda liberado al mo mento de la apertura; un muelle que acelera el movimiento de des censo de los contactos. Si se trata de un interruptor de aceite trifásico, entonces, dentro de la misma cuba de aceite se encuen -

tran tres dispositivos de interrupción semejantes al unipolar, separados entre sí por paredes aislantes, e si las tensiones son muy elevadas cada fase tiene que alojarse en una cuba distinta provista de dispositivos de interrupción múltiples, a fin de obtener separaciones de contactos suficientemente grandes.

El aceite en estos interruptores tiene tres funciones: 1) como aislante líquido rodea completamente todas las partes vivas de los contactos bajo tensión y permite pequeñas distancias entre ellos. 2) Conduce el calor fuera de las superficies de con tacto. 3) Forma un medio de interrupción efectivo al saltar un ar co entre los contactos al abrirse el interruptor.

Sin embargo, la energía producida por el arco vapo riza y disocia el aceite en sus componentes. El gas producido podría formar una mezcla explosiva peligrosísima en el aire y la pre sión que se produce en el interior de la cuba puede ser elevada además, el mantenimiento que requiere el aceite, son desventajas de este líquido para su uso en los disyuntores.

Para permitir la interrupción de grandes potencias y disminuir el tamaño de la cuba se emplean en torno a cada contac to fijo las cámaras de expleción en la cual queda contenido el con tacto móvil al cerrarse el interruptor. De esta manera al abrirse los contactos, el arco se forma en el interior de dicha cámara lo que facilita la extinción.

El interruptor de poco aceite, que procede del in terruptor de cuba de aceite, se ha convertido actualmente en un ex celente interruptor de potencia. Estos interruptores van equipados

con cámaras rígidas de excitación y con un recinto acumulador de presión. La diferencia de presión entre las cámaras de presión en la cual arde el arco eléctrico y el recinto libre de presión, es suficiente para producir la corriente transversal necesaria para la extinción del arco. Para grandes potencias de ruptura, en las cámaras de presión existe además, un ímbolo diferencial que es accionado por la citada diferencia de presión y cuya carrera provoca una corriente intensificada del agente extintor.

Los interruptores en aceite son accionados generalmente por acumuladores de fuerza elástica, que son tensados a mano, por un pequeño motor eléctrico que tiene adosada una transmisión por tornillo sin fin o por ímbolo de aire a presión. Pueden accionarse también eléctricamente ya sea por un motor eléctrico o por solenoide alimentado desde una fuente exterior; este dispositivo utiliza un electroimán fuerte para cerrar el interruptor automático y otro más pequeño para dispararlo y abrirlo. La posición del interruptor se indica por un dispositivo de contactos auxiliares, dispuestos en el bastidor del interruptor, en combinación con unas lámparas de señales o con un interruptor de mando y señalización.

A causa de la inflamabilidad del aceite, su empleo en los interruptores constituye un peligro. Por ello, se utilizan los interruptores neumáticos en los que se aprovecha la alta capacidad de extinción de los gases comprimidos no inflamables, utilizándose especialmente el aire comprimido no sólo como elemento de extinción sino también como elemento de accionamiento. El aire comprimido envuelve al arco y barre energicamente la masa gaseosa ionizada, provocando de este modo la extinción en un tiempo extremada -

mente corto.

La superioridad del interruptor de aire comprimido frente a otros interruptores, estriba tanto en la gran seguridad de funcionamiento como consecuencia de una sencilla cinemática consistente de gatillos, como en el acoplamiento de los medios de accionamiento y extinción.

En el interruptor de aceite el arco eléctrico tiene que producir por sí mismo su agente de extinción; así pues, la cantidad disponible de agente de extinción depende de la intensidad del arco eléctrico. En el interruptor de aire comprimido, independientemente del valor de la intensidad, el arco eléctrico es aplacado siempre de un modo igual. Otra ventaja constituye el hecho de que no hay peligro de incendio o de explosión.

El aire comprimido se genera en una instalación compresora central para toda la instalación de distribución. Se consigue una gran seguridad en el servicio con el empleo de accesorios montados junto a los mecanismos neumáticos, como manómetros calefactores, termostatos, conmutadores de alarma, válvulas de seguridad, etc.

Recientemente se han introducido en el mercado una serie de interruptores al aire, que se componen esencialmente de , contactos principales a presión elevada, de contactos secundarios y apagachispas fabricados con aleaciones especiales resistentes al arco. Uno o varios juegos de potentes bobinas y de placas magnéticas impulsan al arco rápidamente hacia antenas y cámaras extintoras donde el aire es desionizado, el arco aumenta su resistencia, se en

fría y sefeca en breves instantes. Su empleo es adecuado sobre todo en el interior.

### III- F EQUIPO PARA EL SERVICIO AUXILIAR

Toda central requiere para su funcionamiento elementos auxiliares que son accionados en su mayor parte por motores eléctricos; por tanto, es indispensable disponer de una fuente de energía que permita el accionamiento de dichos motores y proporcione la energía suficiente para todas las necesidades de la central. Dicho abastecimiento debe ser continuo y tener un funcionamiento seguro de lo contrario se producirán serias dificultades que impiden en definitiva el funcionamiento de la central.

Uno de los tantos procedimientos, y el que lo empleamos en el presente caso, es tomar la energía de las barras colectoras de los alternadores mediante transformadores. Sin embargo hay que contar también con que en caso de averías la central puede quedarse sin tensión siendo necesario disponer, para estos casos, de otra fuente. Por este motivo, se ha previsto la instalación de un grupo motor generador de emergencia.

La Fig. N° 17.0. representa el diagrama unifilar de la estación de servicio cuyos elementos esenciales son los siguientes:

Seccionadores, que permiten la conexión o desconexión de los transformadores a las barras colectoras, provistos de enclavamientos para impedir la operación bajo carga.

Dos transformadores de potencia trifásicos de una capacidad de 112.5 KVA c/u., es decir, una potencia total de 225. KVA que constituye aproximadamente el 2 % de la capacidad total de la central lo que está dentro de los límites aconsejados por las normas. Su conexión será delta-estrella y las tensiones, 2.3 - 0.48 KV.

Un interruptor automático principal en el lado de 480 V. de cada transformador.

Dos juegos de barras auxiliares para 480 voltios que en condiciones normales trabajarán independientemente y en caso de una falla o avería se conectarán mediante un interruptor automático de enlace interbloqueado con los interruptores principales.

Un grupo motor-generador de 30 KW., 480 voltios y su interruptor automático provisto de enclavamiento para conectarse a las barras auxiliares cuando haya sido interrumpido el suministro de energía por los transformadores.

De cada juego de barras auxiliares salen dos feeders cada uno con su interruptor automático que puede ser accionado mecánicamente y mediante relevadores térmicos. Estos alimentadores sirven a los siguientes centros de carga: a) centro de control de motores, b) tablero de distribución de potencia, c) transformador de alumbrado y d) gabinete del taller de mecánica.

Los sub-feeders de estos ramales pueden alimentar transformadores de pequeña potencia según se necesite utilizar voltajes diferentes a 480 voltios que es el que se empleará en las ba

rras y en la mayor parte de los aparatos auxiliares.

Se dispone además de aparatos de medida en los circuitos de los transformadores, en las barras y a la salida del generador los cuales serán colocados en el correspondiente panel del tablero de control

Los dos interruptores principales, el interruptor de enlace y el del motor-alternador, serán operados electricamente y se equiparán con relés de bajo voltaje, relés térmicos y relés de máxima corriente (excepto, éste último para el alternador).

Se proveerá de un enclavamiento a solenoide entre los desconectadores y los interruptores principales, de tal forma que al abrirse el interruptor de 480 voltios, se cierre un contacto que va en serie con la bobina del solenoide lo cual permite ser operado el mecanismo del seccionador. Cuando el interruptor automático se cierra, se abre el contacto mencionado desenergizando el solenoide, prevé así que el seccionador sea accionado sin carga.

La estación de servicio operará normalmente con los dos interruptores automáticos principales de 480 voltios cerrados y el interruptor de enlace y el de el generador abiertos. Se provee enclavamiento mediante relé de bajo voltaje y contactos auxiliares, asociados a estos interruptores, de manera de impedir el cierre del interruptor de enlace y el del motor generador cuando están cerrados los interruptores principales. En caso de falta de voltaje en una de las barras, operará su correspondiente interruptor y cerrará también automáticamente el interruptor de enlace. La secuencia de transferencia es iniciada por el relé de bajo voltaje que operará sólo cuando su contador en el pupitre de control esté

en la posición automática. En el caso de que ambas barras estén sujetas a bajo voltaje simultáneamente ningún interruptor disparará. Puedan, entonces ser operados estos interruptores manualmente según convenga el funcionamiento.

#### SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA

El sistema de corriente continua de la estación de servicio se realizará para energizar los principales circuitos de control (sistema de mando y maniobra), los anunciadores y el sistema de iluminación de emergencia.

Se ha escogido 125 voltios como tensión de servicio y la potencia es suministrada por dos circuitos que salen del feeder que se lo ha denominado "tablero de distribución de potencia" a través de un sistema con rectificador en seco el cual trabaja siempre en conexión con una batería, conectándose luego a las barras de corriente continua.

Dicho rectificador se compone de dos partes distintas, cada una con su transformador de rectificador. La primera suministrará la corriente continua a los consumidores en los periodos normales, es decir, cuando no haya interrupción de la corriente alterna, esta parte trabaja con una parte de la batería de acumuladores más no pueda suministrar corriente para la carga de la batería ya que posee células de bloque que no dejan pasar corriente por el sentido batería-consumidor.

La segunda parte asegura la carga de la batería, que la efectúa con dos regímenes diferentes según las necesidades. La

carga rápida se inserta automáticamente cuando la batería a su nistrado corriente, por ejemplo después de una avería de la red de corriente alterna. La carga permanente se destina en cambio a compensar las pérdidas internas de la batería, es decir, debe mantener la batería conetantemente cargada.

En caso de falta de corriente alterna las dos partes quedan fuera de servicio y es la batería la que exclusivamente suministra la energía; el paso se efectúa automáticamente y sin niguna interrupción del servicio.

### III - G - APARATOS DE AVISO

Para facilitar las distintas operaciones que deban realizarse en la central se instalará sobre el pupitre de control, junto con los dispositivos de mando, el esquema sinóptico de conexiones por medio de pletinas soldadas en los mismos y pintadas de un color tal que resalten del conjunto. Para comprobar las diversas manobras que se realicen se utilizarán señales óptimas producidas por el encendido de lámparas de colores y que indican la posición en que se encuentran los distintos interruptores. Para este, los dispositivos de maniobra van provistos de aditamentos eléctricos que encienden la propia lámpara de aviso en el tablero de contról indicando si el interruptor está abierto o cerrado. Luces de distintos colores se utilizarán para indicar la posición de los diversos elementos de la central.

En esta forma, la visión de conjunto que se tiene sobre las circunstancias del servicio permite pensar de antemano

las medidas que se pueden tomar de manera que queden casi en absoluto eliminadas las maniobras erróneas. En el capítulo siguiente se indicará los dispositivos que poseen esta clase de señalización y el color de la lámpara a usarse.

Por otra parte, se empleará aparatos de aviso para indicar determinadas condiciones anormales del funcionamiento de la instalación; por ejemplo, la intervención de un relé o la superación de la temperatura límite de la máquina, una puesta a tierra de la instalación, etc. El peligro se señala al personal con una señal acústica y óptica.

Un modelo moderno de estos aparatos que puede montarse en el panel del tablero de control consiste esencialmente en un relé de aviso, lámparas de señalización y una bocina. El conjunto va montado en una caja que posee varios compartimentos, uno para cada lámpara, cuya parte anterior está cerrada con plexiglas semitransparente sobre el cual se graba la posición de aviso correspondiente. Además, el aparato va provisto de una lámpara piloto roja, una lámpara blanca indicadora de potencial, botones de presión que servirán para la operación, prueba del anunciador y silenciar la bocina.

Quando a consecuencia de una perturbación se ha cerrado el contacto de cualquier aparato de protección, se excitará el relé del anunciador lo que hace encender la lámpara de aviso que iluminará la ventanita translúcida de su compartimento. Al mismo tiempo se pone a funcionar la bocina y brillará la lámpara piloto del grupo. El maquinista puede darse cuenta en seguida de la per-

turbación mirando la inscripción luminosa del aparato. Puede si -  
lenciar la bocina mediante el botón de presión, con lo cual se apa -  
gará también la lámpara piloto pero quedará iluminada la casilla  
correspondiente a la falla indicando que la falla ha sido descubier -  
ta pero no corregida.

Una vez corregida la falla el dispositivo puede ser  
vuelto a las condiciones normales presionando el botón correspon -  
diente en el panel de control.

Se ha previsto la instalación de un sistema de avi -  
so similar al descrito para cada unidad generadora, para cada cir -  
cuito de salida y para la estación de servicio. Las diversas indi -  
caciones que proporcionará cada sistema de aviso se enumerarán en  
el próximo capítulo.

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LOS CUADROS

#### IV - A - CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

Como un paso previo para determinar ciertas características de los aparatos de protección a usarse, es necesario el cálculo de las corrientes de corto circuito que pueden ocurrir en el sistema.

Pueden producirse corto circuitos ya sea por razones mecánicas o eléctricas, como son: falsas maniobras, desperfectos mecánicos, arcos encendidos por la presencia de sobretensiones atmosféricas, etc. Estos cortos circuitos dan lugar a intensidades de corriente elevadas que afectan el buen funcionamiento del sistema. Como todas las máquinas y aparatos de una instalación eléctrica: alternadores, transformadores, interruptores y barras colectoras deben ser dimensionadas para soportar una intensidad de corriente bien determinada, sin que los esfuerzos electrodinámicos deformen sus elementos y sin que la temperatura sobrepase un determinado valor de régimen, para el cual no se deteriore el aislamiento, es de particular importancia el cálculo previo de la magnitud de la corriente de corto circuito.

Los alternadores funcionan normalmente sobre un circuito cuya impedancia es tal que permite el paso de la corriente para la cual la máquina ha sido prevista. Al producirse un corto

circuito de la impedancia que controla la corriente varía repentinamente cambiándose instantáneamente el valor normal de la corriente y aún su forma de onda. Si la perturbación se produce en el instante en el que la tensión del generador pasa por su valor máximo dicha onda es simétrica. En cualquier otro instante en el que la tensión del alternador no es máxima, dicha onda es asimétrica. La amplitud inicial de estas corrientes va disminuyendo gradualmente debido a la acción electromagnética de la misma que depende entonces del tipo de alternador y se caracteriza por su impedancia ( o reactancia ) sincrónica.

En el caso de corriente asimétrica la amplitud es mayor que en el caso que hay simetría debido a que a la corriente alterna se le superpone una corriente unidireccional, la cual por causa de la resistencia del circuito, se amortigua con rapidez. Si se trata de un corto circuito tripolar esta asimetría desaparecerá por lo menos en las dos fases.

Para representar estos valores transitorios de la corriente se emplean tres valores de reactancia que son: subtransitoria, transitoria y sincrónica. La reactancia subtransitoria es la que presenta mayor interés particularmente en los generadores, donde controla la potencia inicial que alimenta la corriente de corto circuito determinando, por lo tanto, la corriente instantánea que el interruptor automático debe soportar antes que sus contactos se abran.

Existen varios métodos para la determinación de las corrientes de corto circuito, utilizándose generalmente métodos

prácticos que dan valores suficientemente aproximados. Los valores que interesan son: 1) La corriente alterna inicial de cortocircuito,  $I_s$ . 2) Corriente de corto circuito de choque (máxima amplitud),  $I_s$ . 3) Corriente asimétrica de ruptura,  $I_r$  y potencia de ruptura,  $P_r$ . 4) Corriente de corto circuito estacionaria o permanente,  $I_s$ .

Los tres últimos valores pueden obtenerse a base del primero aplicando factores prácticos que dependen tanto del valor de la corriente nominal como del tiempo en el que el interruptor abre el circuito.

La Fig. N° 18... representa el diagrama unifilar y el de reactancias de la parte del sistema que nos interesa y los diferentes puntos en los que al ocasionarse corte circuitos determinan las características de los interruptores automáticos.

Como se verá en el próximo acápite, los datos que se tienen son los siguientes:

Tres generadores de:      4.200 KVA e/u  
                                  0.8 F. de P.  
                                  2.3 KV.  
                                  25 % reactancia subtransitoria.

Dos transformadores de:    6.250 KVA e/u  
                                  0.8 F. de P.  
                                  2.3/22 KV.  
                                  7 % reactancia.

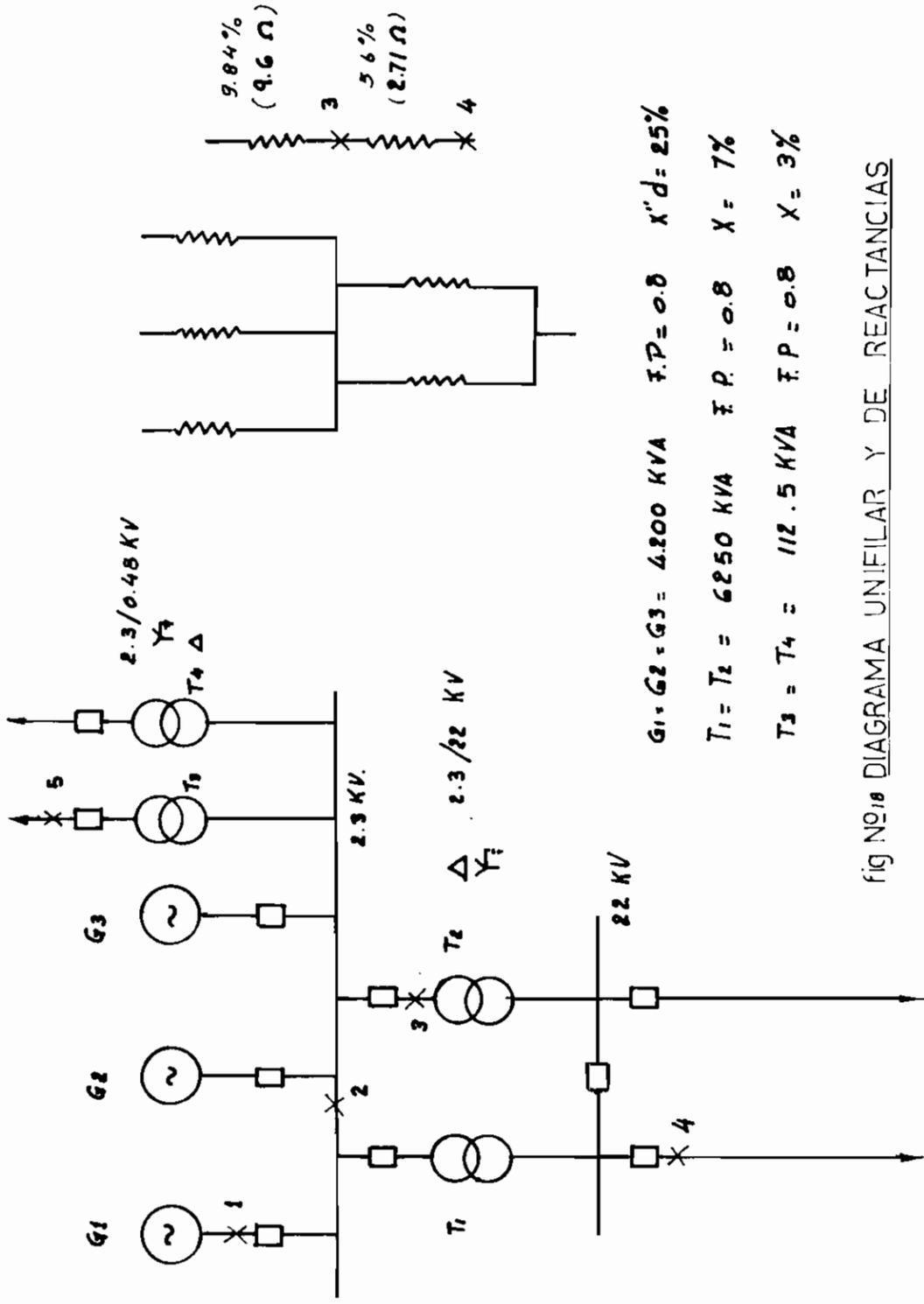


fig N°18 DIAGRAMA UNIFILAR Y DE REACTANCIAS

En el punto 1, el caso considerado es aquel en que se produce el corte circuito en los bornes de uno de los alternadores o en las primeras espiras del arrollamiento. El interruptor de este alternador debería cortar la corriente de corto circuito de los otros dos alternadores.

Cada alternador, por ser de las mismas características tiene una corriente de corto circuito igual a:

$$I_s = \frac{KVA}{\sqrt{3} KV} \times \frac{100}{X\%} = 4.200 \times \frac{100}{25} / \sqrt{3} \times 2.3 = 4223 \text{ A.}$$

luego, según lo dicho, la corriente de corto circuito sobre el disyuntor junto a 1 será:

$$I_{s1} = 2 \times 4.223 = 8.446 \text{ A.}$$

Por seguridad este valor se multiplica por un factor, 1.1, o sea que el valor anterior será:

$$I_{s1} = 1.1 \times 8.446 = 9.290 \text{ A.}$$

Quando se produce un cortocircuito en el punto 2 se ve claramente que el interruptor de cada generador debe cortar la corriente de corto circuito de su generatriz, por tanto este valor es:

$$I_{s2} = 1.1 \times 4.223 = 4.645 \text{ A.}$$

En el punto 3, al producirse un corto circuito la potencia de la central se lanza en bloque sobre este punto, por lo que el interruptor del transformador correspondiente al defecto en 3 es solicitado por la corriente integral de corto circuito de la central. Este valor es:

$$I_{s3} = 1.1 \times 3 \times 4.223 = 13.936 \text{ A.}$$

Este mismo valor, a igual que el valor de corriente de corto circuito en el punto 4, podemos obtenerlo sacando el valor de las reactancias referidas a una base común ( por ejemplo , 10.000 KVA ). Estos valores para cada transformador y generador son:

$$X_g \text{ \%} = 25 \times \frac{10.000}{4.200} = 59.52 \text{ \%}$$

$$X_t \text{ \%} = 7 \times \frac{10.000}{6.250} = 11.20 \text{ \%}$$

La reactancia equivalente de los generadores y transformadores, puesto que son de las mismas características y están conectados en paralelo, son:

$$X_g \text{ equiv. \%} = \frac{59.52}{3} = 19.84 \text{ \%}$$

$$X_t \text{ equiv. \%} = \frac{11.2}{2} = 5.6 \text{ \%}$$

En el punto 3 influyen sólo los alternadores, por tanto:

$$I_{s3} = f \times \frac{\text{KVA base}}{\sqrt{3} \times \text{KV}} = \frac{100}{X} \text{ \%}$$

$$I_{s3} = 1.1 \times \frac{10.000}{\sqrt{3} \times 2.3} \times \frac{100}{19.84} = 13.935 \text{ A}$$

En el punto 4, influyen tanto las reactancias de los alternadores como de los transformadores que están en serie, dando un valor igual a:

$$X_{total} \% = 19.84 + 5.6 = 25.44 \%$$

y la corriente de corto circuito en este punto será:

$$I_{s4} = 1.1 \times \frac{10.000}{\sqrt{3} \times 22} \times \frac{100}{25.44} = 1.136 \text{ A.}$$

En el punto 5, es decir cuando se produzca alguna falla en la estación de servicio auxiliar, se puede proceder de la misma manera que en los casos anteriores. En este caso intervendrá la reactancia de los alternadores y la del transformador de la estación.

La reactancia de este transformador referida a . . .  
10.000 KVA es:

$$X_{ta} \% = 3 \frac{10.000}{112.5} = 267 \%$$

$$X_{total \text{ equiv. } 5} = 267 + 19.84 = 286.84 \%$$

$$I_{s5} = 1.1 \frac{10.000}{\sqrt{3} \times 0.48} \times \frac{100}{286.84} = 4.620 \text{ A.}$$

Los valores de corto circuito obtenidos en los diferentes puntos corresponden a las corrientes alterna simétrica inicial. El valor de la corriente de choque la que se considera igual a la corriente de cierre de interruptor es 1.8 veces el valor de la componente alterna y su amplitud máxima será:

$$I_c = 1.8 \times \sqrt{2} \times I_s = \text{Amperios máximos}$$

La corriente simétrica de ruptura  $I_r$ , es la componente alterna de la corriente de corto circuito en el instante de producirse la interrupción de la corriente por el interruptor, Esta corriente se

comporta en forma sinéfrica desde el momento en que ha desaparecido la componente de corriente continua. Su valor es:

$$I_r = u \times I_s$$

donde  $u$  es un factor que depende de la relación  $I_s/I_n$  ( $I_n$  = intensidad nominal) y del retardo con que se abre el interruptor. Su valor puede obtenerse de la curva de la Fig. N° 19.

La potencia de ruptura tendrá un valor dado por:

$$P_r = \sqrt{3} \times I_r \times K V.$$

La corriente de corto circuito estacionaria o permanente viene dada por:

$$I_c = d \times I_s$$

donde  $d$  es un factor que depende de la relación  $I_c / I_n$  y que puede obtenerse de la curva de la Fig. N° 19-A.

Los diferentes valores de las corrientes de corto circuito en los puntos indicados y los factores que intervienen en su cálculo se les ha resumido en el cuadro N° 20.

Generalmente se adopta el mismo tipo para todos los interruptores de una misma categoría, siendo el interruptor más potente el que determina el tipo elegido. En el presente estudio, serán tres los tipos de interruptores; 1) el de los láternadores y lado de baja tensión de los transformadores, 2) el del lado de alta tensión de los transformadores y circuitos de transmisión, 3) el de los transformadores del equipo auxiliar. Para cada uno de e

**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO EN LOS DIFERENTES**

**PUNTOS DEL SISTEMA**

**CUADRO N° 7**

<b>PUNTO EN CORTO CIRCUITO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>TENSION ENTR FASES KV.</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>223</b>	<b>22</b>	<b>0.48</b>
<b>I<sub>s</sub> Amperios</b>	<b>9.290</b>	<b>4.745</b>	<b>13.936</b>	<b>1.136</b>	<b>4.620</b>
<b>I<sub>n</sub> Amperios</b>	<b>1.055</b>	<b>3.165</b>	<b>3.165</b>	<b>331</b>	<b>15.180</b>
<b>I<sub>s</sub> / I<sub>n</sub></b>	<b>8.80</b>	<b>1.47</b>	<b>4.40</b>	<b>3.43</b>	<b>0.30</b>
<b>u (0.1 seg.)</b>	<b>0.75</b>	<b>1.00</b>	<b>0.83</b>	<b>0.86</b>	<b>1.000</b>
<b>I<sub>o</sub> = 1.8 x √2 x I<sub>s</sub> Amp.N.</b>	<b>23.590</b>	<b>11.800</b>	<b>35.390</b>	<b>2.850</b>	<b>11.700</b>
<b>I<sub>r</sub> = u x I<sub>s</sub> Amperios</b>	<b>6.970</b>	<b>4.645</b>	<b>11.560</b>	<b>977</b>	<b>4.620</b>
<b>Pr = √3 x I<sub>r</sub> x KV KVA</b>	<b>27.730</b>	<b>18.480</b>	<b>46.000</b>	<b>37.180</b>	<b>3.830</b>
<b>I<sub>o</sub> = d x I<sub>s</sub> Amperios</b>	<b>3.716</b>	<b>3.390</b>	<b>6.970</b>	<b>625</b>	<b>4.340</b>

llos habrá que admitir las corrientes máximas halladas para el caso de cortocircuito.

Además de las corrientes de corto circuito encontradas es necesario también ver la corriente mínima de corto circuito para calibrar dentro de un determinado rango los relés de protección que se utilizarán con los interruptores automáticos.

Esta corriente mínima de corto circuito se producirá cuando esté trabajando un solo alternador y un solo transformador. Para los puntos 1 - 2 - 3 este valor es igual al de punto 2 del caso anterior, o sea 4.610 Amp.

Para el caso del punto 4, la reactancia equivalente que influiría en caso de corto circuito será:

$$X_{equiv. \%} = 59.52 + 11.20 = 70.72 \%$$

y la corriente de corto circuito:

$$I_{s4 \text{ min.}} = 1.1 \times \frac{10.000}{\sqrt{3} \times 22} \times \frac{100}{70.72} = 410 \text{ Amp.}$$

#### V - B CALCULOS Y ESPECIFICACIONES

En el presente acápite se procederá a calcular algunas características de los principales elementos de la central y al mismo tiempo se darán las especificaciones requeridas para que dicho equipo pueda ser solicitado a la casa constructora.

DATOS.- De lo expuesto anteriormente, se dispone de los siguientes datos:

- 150 -

3 grupos similares

$H_n = 180$  metros

$Q = 2.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$  (Para cada grupo)

$H = \text{n. s. n. m.} = 2.700 \text{ m.}$

Veremos el tipo más adecuado de turbina teniendo la posibilidad de escoger la velocidad.

$$N = \frac{n \times Q \times H_n}{75} = (CV) \quad n = 0.80 + 0.85$$

$$N = \frac{0.85 \times 1.000 \times 2.3 \times 180}{75} = 4.700 \text{ CV}$$

Potencia eléctrica  $KW = 0.736 \times CV \times n.$   $n = 0.96$

$$KW = 0.736 \times 4.700 \times 0.96 = 3.320$$

si  $\cos = 0.8$

$$KVA = \frac{3.320}{0.8} = 4.200 \text{ KVA.}$$

Número específico de revoluciones, tipo de turbina.

$$N_s = \frac{n \sqrt{N}}{H_n \sqrt{H}} = \frac{n \sqrt{4.700}}{180 \sqrt{180}} = n \times 0.104$$

si $n = 1200$	$N_s = 125$
900	93.5
720	75
600	62.5
514	53.5
450	46.5
400	41.5
360	37.5

Según el  $N_s$  obtenido, con las velocidades citadas, el tipo de turbina aconsejado por las normas es la francis lenta que corresponde a saltos de 150 a 350 metros y velocidades específicas de 50 a 125. Debido a que con elevadas velocidades se producen calentamientos excesivos en los cojinetes o excesivas velocidades periféricas en las partes rotativas, lo que implica un mayor mantenimiento, creo conveniente adoptar una velocidad de 720 R.P.M., con lo cual se tiene una velocidad específica media entre los límites aconsejados.

Otro fenómeno que hay que tener en cuenta en la limitación de  $n$  es la cavitación. Los factores que tienen influencia en este fenómeno son:

$h_s$  = altura de aspiración

$h_a$  = altura correspondiente a la presión atmosférica

$H_n$  = salto útil

$\sigma_{\min.}$  = coeficiente que depende del valor de  $N_s$ .

A fin de que el fenómeno de cavitación no se produzca, es necesario que se cumpla la condición siguiente:

$h_s = h_a - H_n \cdot \sigma_{\min.}$ , siendo:

$h_a = 10 - 0.0012 Z$  y

$Z = 2.700$

$h_a = 10 - 0.0012 \times 2.700 = 6.76$

$h_s = 6.76 - 180 \times 0.04 = -0.20$

El valor negativo nos indica que la turbina trabaja con centrapresión. Para estos casos es aconsejable el empleo de turbinas con eje vertical que tienen como ventajas: poco costo de cimentación, exigen menor espacio, posibilidad de colocar los órganos de transmisión y alternadores tan arriba como se quiera del nivel del agua, tubos de aspiración cortos que garantizan la seguridad contra la cavitación y mayor rendimiento; mejor estabilidad y apoyo y por tanto menores vibraciones, etc. Por estos motivos, se ha previsto la instalación de turbinas francis de este tipo.

#### ESPECIFICACIONES PARA LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

El tipo seleccionado para las turbinas es el francis en razón de la velocidad específica resultante para las condiciones de caída, caudal y número de revoluciones que tendrán estas máquinas. Serán de eje vertical, rodete simple, una sola descarga, con caja espiral y de regulación exterior. El sentido de rotación será contrario al de las manecillas del reloj, mirando desde arriba.

El diseño de la turbina deberá ser previsto para una altitud sobre el nivel del mar de 2.700 m. y para una presión igual a la estática más un 32 % de sobre presión. La presión estática de las turbinas no será menor de 180 metros de agua.

Cada turbina desarrollará una potencia de 4.700 CV. con gastos de 2.3 m<sup>3</sup>/seg. (distribuidor a plena abertura) bajo una caída de 180 metros y una velocidad de 720 RPM.

#### RODETE

El rodete será de acero fundido al cromo de la mejor calidad, construido de una sola pieza. Soportará en forma satisfactoria las condiciones normales de operación y la velocidad de embalamiento. Los anillos de desgaste serán cambiables y de acero al cromo.

#### COJINETES

El suministro comprenderá un cojinete guía de la turbina. Este cojinete será auto lubricado y enfriado por agua. Irá provisto de un relé térmico de control de temperatura para operar con corriente continua de 125 voltios. en caso de sobrecalentamiento del cojinete, y de un detector de temperatura de resistencia para indicar la temperatura del cojinete en un instrumento colocado en el tablero principal para tal objeto. Además, se proveerá de un indicador visible del nivel de aceite.

#### EJE

Será de material y dimensiones adecuadas a su función. En la parte de acoplamiento con el suministro el generador, el eje debe ir provisto de brida de acoplamiento.

#### CARCAZA ESPIRAL

Será de acero fundido o chapa de acero soldada. La entrada a la carcasa espiral irá provista de brida para unirse a la tubería de aproximación. Sobre la carcasa espiral y en sitio adecuado, irán montados un manómetro para indicar la presión del agua en la carcasa espiral y un vacuómetro para indicar las condi -

ciones en el tubo de succión. La escala de estos instrumentos irá graduada en Kg./cm<sup>2</sup>.

Los dispositivos de control y protección de la turbina deberán montarse en o cerca el panel del regulador y por esto se describirán en el siguiente acápite.

#### REGULADOR AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD

Cada turbina irá provista con su regulador automático de velocidad. Cada regulador será a presión de aceite, de capacidad adecuada para operación de la turbina, con mecanismo completo para accionamiento del anillo de regulación del distribuidor y provisto de un elemento sensible a la velocidad accionado eléctricamente. Serán equipados con los dispositivos automáticos necesarios para permitir la operación automática y manual de puesta en marcha y parada, regulación de velocidad y voltaje, sincronización, dispositivo captador de carga.

Los elementos sensibles a la velocidad de cada regulador serán accionados por un motor de corriente alterna, recibiendo su corriente de un generador de magneto que estará montado en la parte superior del eje de la excitatriz piloto del generador. Dichos elementos y los mecanismos de conexión serán suficientemente sensitivos y exactos para producir el movimiento correcto de los álabes de la turbina sobre variaciones de 1 % de la velocidad de la turbina. La velocidad de estos elementos variará directamente de acuerdo a la velocidad de la turbina.

La operación de los álabes se hará por medio de ser

vo motores que serán suplidos con aceite bajo presión de la bomba del regulador, el regulador debe ser capaz de mover las paletas directrices hacia cierre o aperturas totales, el recorrido completo, en 5 segundos bajo condiciones máximas de operación. Sin embargo este tiempo será ajustable entre límites de 5 y 15 segundos.

#### CONTROL, INDICACION Y DISPOSITIVOS AUXILIARES

Los siguientes dispositivos de control y accesorios se proveerán con cada turbina y regulador:

1° Mecanismo automático de parada y puesta en marcha y dispositivos auxiliares necesarios.

2° Dispositivo limitador de apertura para ser operado manualmente en el mismo regulador y también eléctricamente desde el tablero de control principal por medio de un motor reversible de corriente continua a 125 voltios. Se proveerá de un dial para mostrar, por medio de una señal roja, la posición límite del flabe y una señal negra para mostrar la posición del flabe en cualquier tiempo.

3° Control manual de velocidad, limitador de carga, regulación y un suiche para seleccionar la operación manual e automática. Luces de control, roja y verde, que se localizarán en el tablero de control indicarán la posición manual o automática.

4° Dispositivo de ajuste del nivel de velocidad, para operar manualmente desde el regulador y eléctricamente por medio de un motor de corriente continua de 125 voltios (motor de sincro-

nización). El control de velocidad será desde el 85 % de la velocidad sin carga y caída de velocidad nula, a 105 % de la velocidad a plena carga y máxima caída de velocidad. Se proveerá con instrumentos de indicación en el regulador o en el tablero principal.

5° Dispositivo indicador de caída de velocidad de la turbina y ajuste de dicha caída operado manualmente desde el regulador. El grado de caída de velocidad será ajustable de 0 a 5 %.

6° Dispositivo para parar automáticamente la turbina en caso de sobre velocidad, falla del regulador a presión de aceite, exceso de temperatura del eje y cojinetes de la turbina o en operación de cualquier protección automática en conexión con la turbina, generador o excitatriz. Puede ser operado manualmente desde el regulador y eléctricamente desde el tablero principal. El dispositivo estará constituido por una bobina solenoide diseñada para servicio continuo a 125 voltios, corriente continua y para parar la turbina cuando se desenergice y por dos contactos de mercurio de 15 amperios y 125 voltios eléctricamente independientes, el uno cerrado en la posición de parada y el otro será cerrado cuando el mecanismo está en la posición de volver a poner en servicio.

7° Una combinación manual automática de válvula de frenado del generador con operación intermitente para controlar la operación de los frenos del generador. Dicha válvula podrá ser controlada por un manguito de tres posiciones: parada, manual y automática. La operación automática se efectuará una vez que los álabes de la turbina están completamente cerrados, el alternador desconectado de las barras y su velocidad está en un valor mínimo pre-

determinado ajustable entre 50 y 20 % de la velocidad normal. La aplicación intermitente del freno será causada por un dispositivo de tiempo y hasta un valor predeterminado de velocidad. Luego, los frenos serán aplicados constantemente hasta que la unidad llegue a estabilizarse. Los frenos se soltarán después de cierto tiempo que asegure la parada completa de la unidad. El equipo eléctrico será adecuado para la operación con corriente continua a 125 voltios.

8° Tacómetro para indicar el número de revoluciones de la turbina.

9° Manómetro montado sobre el regulador para mostrar la presión en el sistema de aceite a presión.

10° Motor eléctrico de corriente continua de 125 voltios para accionar la bomba que proveerá aceite a presión para la apertura y cierre de los álabes de la turbina siempre que el sistema de aceite a presión del regulador no esté disponible. Un suiche de contacto simple será provisto para indicación remota cuando esta bomba esté en operación.

11° Suiche de falta de aceite a presión con dos contactos de mercurio de corriente continua, 1.5 amperios, 125 voltios, que serán ajustados para cerrar o abrir cuando la presión de aceite del regulador caiga a un valor determinado.

12° Suiche de sobre velocidad, con los contactos necesarios de 1.5 amperios, corriente continua, ajustable para abrir o cerrar a cualquier velocidad de la turbina desde 125 % de la normal a la velocidad de embalamiento y para reponer automáticamente

a 105 % de la velocidad normal.

13° Un suiche de baja velocidad, con los contactos necesarios eléctricamente independientes de 1.5 amperios, 125 voltios, corriente continua, ajustables para abrir o cerrar en baja velocidad, que operará el circuito válvula de freno automático del alternador cuando la unidad desacelere a una velocidad determinada entre el 20 y 50 % de la velocidad normal.

14° Un suiche flotador de bajo nivel de aceite para operar cuando el nivel de aceite en el tanque de presión caiga a un valor determinado. Se proveerá con dos contactos de mercurio que pueden ser ajustados para abrir o cerrar en bajo nivel de aceite.

15° Un indicador de temperatura del estator y cojinetes del generador y la turbina, con conmutador. Será operado por detectores de temperatura del tipo resistencia.

16° In panel de señalización por cada unidad, con lámparas que proporcionen las siguientes indicaciones:

- a.- Turbina en operación automática;
- b.- Turbina en operación manual;
- c.- Suiche del freno del generador en la posición automát.
- d.- Suiche del freno del generador en la posición manual;
- e.- Suiche del freno del generador en la posición de volver a poner en marcha. (para operación automática;

- f.- Válvula electromagnética de aceite cerrada;
- g) Válvula electromagnética disparada por humedad;
- h.- Válvula electromagnética disparada por cavitación;
- i.- Válvula electromagnética disparada por presencia de aire en el tanque de aceite a presión.

## A L T E R N A D O R E S

### DESCRIPCION

El generador eléctrico será del tipo interior, de eje vertical, accionado por turbina hidráulica, tipo sincrónico, adecuado para trabajo en paralelo. Vendrá equipado con cojinetes, una excitatriz piloto y una excitatriz principal acopladas directamente, un generador de magneto localizado en la parte superior y directamente conectado a la unidad generadora; regulador de voltaje y réstato de campo. Será diseñado a igual que las excitatrices para condiciones iguales de servicio, excepto la altitud de instalación que será de 2.700 m. sobre el nivel del mar.

### NORMAS

Los alternadores y excitatrices serán diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las últimas revisiones de las normas y especificaciones aplicables contenidas en la siguiente lista, o a sus equivalentes en vigencia en el país de origen de la maquinaria:

A S A American Standar Association  
I E E E Institute of Electrical and Electronic Engineers  
N E M A National Electrical Manufacture Association  
A W S American Weldin Society  
A S T M American Society for Testing Materials

#### CARACTERISTICAS DEL GENERADOR

Las características normales del generador operado a 2.700 m.s.n.m. serán:

Capacidad	4.200 KVA
Factor de Potencia	0.8
Frecuencia	60 c/seg.
Velocidad	720 R.P.M.
Fases	3
Voltaje entre fases	2.300 Voltios
Conexion de estator	estrella
Voltaje de excitación	125 Voltios

El generador deberá operar satisfactoriamente a la capacidad, frecuencia y factor de potencia nominales para cualquier valor del voltaje generado dentro de los límites de 5 % hacia arriba y 5 % hacia abajo del voltaje nominal.

Además, el fabricante deberá suministrar los siguientes datos adicionales:

1° Pérdidas al 25 - 50 - 75 - 100 % de la potencia nominal, a 80 % y 100 % de factor de potencia.

2° Resistencia de los embobinados del estator y del cam  
po, a 75 grados centígrados.

3° Factor de deformación de onda.

4° El valor en % de las siguientes reaktancias:

Reaktancia sinrónica en dirección del eje y en cu  
dratura (  $X^d$ ,  $X_q$  )

Reaktancia transitoria directa a voltaje nominal  
(  $X^d$  )

Reaktancia subtransitoria directa y en cuadratura a  
voltaje nominal (  $X^d$ ,  $X^q$  ).

Componente homopolar de reaktancia. (  $X_0$  )

Componente inversa de reaktancia. (  $X_2$  )

5° Curvas características del generador.

6° Temperaturas máximas de operación en grados centí -  
grados.

7° Momentos de inercia de las partes rotativas.

#### CARACTERISTICAS MECANICAS

El sentido de rotación será contrario al de las ma-  
necillas del reloj mirando desde arriba. Las partes rotativas del  
generador y excitatrices serán diseñadas para la velocidad máxima  
de embalamiento (aproximadamente 1.300 R.P.M.).

#### CLASE DE AISLAMIENTO

Las bobinas del estator y rotor del alternador y excitadoras serán de aislamiento clase A.

#### AUMENTO DE TEMPERATURA

El aumento de temperatura del generador y las excitadoras sobre una temperatura ambiente de 40°C., será así: 50° C., medidos por termómetro (o detector de temperatura incrustado) para los bobinados del estator y 60° C., medidos por resistencia, para los bobinados del rotor del generador y 40° C., medidos por termómetro para la de los embobinados de la excitadora pero con la diminución para operar a 2.700 m.s.n.m.

#### ESTATOR

Las bobinas del estator estarán conectadas en estrella. Los dos extremos de cada fase deberán salir por la parte inferior del generador y serán provistos de terminales adecuados para conectarse a cable. El neutro del generador se formará en el cable de neutro que será descrito posteriormente. El neutro será por tanto un neutro puesto a tierra. Se deben incrustar en el embobinado del estator detectores de temperatura del tipo resistencia de 10 ohmios en número adecuado incluyendo los de repuesto.

#### ROTOR

Será montado sobre el eje del generador en la fábrica. Para tener una buena estabilidad y para poder soportar cargas

asimétricas, los polos magnéticos del campo deben ser provistos de devanado amortiguador de baja resistencia.

#### COJINETES

Comprenderá dos cojinetes guía y un cojinete soporte dispuesto en la estrella soporte superior. El cojinete soporte será combinado con el cojinete guía superior. Según del tipo auto engrase y deberá prestarse especial atención al problema de la refrigeración que puede ser por agua o sistema de refrigeración por serpentín o aceite circulante. Deberán tener amplia capacidad para operar en condiciones normales y a la velocidad de embalsamiento. Se proveerán cada uno con un detector de temperatura del tipo resistencia de 10 ohmios y relé de control de temperatura para operar con corriente continua y actuará sobre la válvula electromagnética en caso de sobrecalentamiento.

#### TIPO DE REFRIGERACION

Deberá emplearse la refrigeración en circuito cerrado, mediante refrigerantes de aire compuesto por tubos verticales con aletas que aumenten las superficies de refrigeración, y dispuestos de manera conveniente y tal que se consiga que, no solamente el devanado, sino también todas las demás partes de la máquina se calienten de manera uniforme y no se produzcan en ningún lugar de la misma temperaturas inadmisibles. Los refrigerantes deben poder ser fácilmente accesibles para su revisión y limpieza y suministrados con los dispositivos de protección necesarios.

#### DISPOSITIVO DE FRENADO

Comprenderá el número adecuado de cilindros de fre-

nado, accionados por medio de aceite a presión que actuarán sobre el anillo de frenado. El accionamiento de los frenos deberá hacerse solamente cuando la velocidad del grupo haya llegado a ser entre el 50 al 20 % de la velocidad de sincronismo. Los cilindros de frenado serán dispuestos de tal manera que el esfuerzo no produzca una carga suplementaria sobre los cojinetes.

#### **VOLANTE**

Se proveerá de un volante de momento de inercia adcuado para mantener buenas características de regulación de la u - nidad.

#### **EXCITATRICES**

Cada generador irá equipado con una excitatriz prin cipal, conexión en paralelo ( shunt ), de corriente continua a 125 voltios, excitada independientemente a tensión constante por medio de una excitatriz auxiliar. Se proveerá una derivación con todas las conexiones, dispositivos de montaje, etc. para el voltímetro y amperímetros de campo del generador. La relación de respuesta (V<sub>s</sub> / velocidad de excitación) de acuerdo a las normas ASA no será menor de 0.5.

La excitatriz principal será del tipo estabilizado de modo que no requiera rebátato en el campo del generador, su capacidad será por lo menos un 10 % en exceso de la capacidad real requerida y la de la excitatriz piloto será por lo menos 50 % de la capacidad real requerida. El voltaje máximo o de techo (Ceiling

Voltage) de las excitatrices, entregando sus corrientes nominales, no será menor del 120 % del que corresponde al servicio nominal . La corriente de campo de la excitatriz piloto se controlará manualmente y dispondrá de protección de sobre voltaje que operará el relé correspondiente cuando el valor de su tensión supere el 120 % del nominal.

Las excitatrices se diseñarán para soportar la misma velocidad máxima de embalamiento del generador y apropiadas para trabajar con el equipo de regulación automática de voltaje que se indicará a continuación.

#### REGULADOR AUTOMATICO DE TENSION

El regulador será de acción indirecta, para operar con la excitatriz descrita anteriormente, el cual deberá controlar el voltaje del generador por medio de variaciones de la corriente de campo de la excitatriz principal. Será de acción rápida y provisto de elementos de amortiguación para disminuir los efectos producidos por los cambios bruscos de carga o cortocircuitos. Deberá tener una bobina de compensación para distribución uniforme del factor de potencia entre los generadores conectados en paralelo y una bobina de "Compoundaje" para subir el voltaje en 5 %, automáticamente entre generador sin carga y generador a plena carga. Deberá responder al voltaje promedio de las tres fases del generador y su sensibilidad será de más - menos 1 %. Se proveerá de un restato de ajuste normal del voltaje que permita variar el voltaje del generador desde - 10 % hasta más de 10 % del valor normal.

## REOSTATOS

La excitatriz piloto vendrá equipada con un reóstato de campo operado manualmente y un reóstato de campo de acción directa de regulación automática de voltaje, de capacidad adecuada que permita mantener el voltaje de la excitatriz piloto en un valor aproximado al normal durante el tiempo de embalamiento del equipo.

El reóstato para el campo de la excitatriz principal será operado por motor y adecuado para uso con el regulador de voltaje. Se proveerá de un dispositivo que controle la excitación desde un valor máximo positivo a un valor levemente negativo para proteger al generador y la excitatriz principal contra sobrevoltaje producido por sobre velocidades.

Vendrán equipados con los contactos necesarios que indiquen su posición, sea límite superior, la posición sin carga o el límite inferior. También se suministrará una resistencia de descarga del campo para operar con el interruptor del campo de la excitatriz principal.

## INTERRUPTOR DEL CAMPO

El interruptor del campo del generador será bipolar, diseñado para el circuito inductivo de este campo, operación a distancia desconexión eléctrica mediante bobina alimentada por corriente continua de 125 voltios, equipado con contactos de descarga para conectar la resistencia de descarga del campo del generador.

## DISPOSITIVOS DE CONTROL AUTOMATICO DE FRECUENCIA

Se suministrará un dispositivo de control automático de frecuencia que tendrá conexión con el motor de ajuste de velocidad, de modo que éste pueda maniobrase manual y automáticamente, para lo cual se dispondrá de un conmutador en el escritorio de control con dos posiciones, manual y automática y dos lámparas de señalización para indicar estas posiciones.

## ALTERNADOR PILOTO

Se proveerá de un generador de magneto directamente conectado a la unidad generadora. Será de dos arrollamientos de capacidad y voltajes adecuados. El arrollamiento principal se conectará al motor de accionamiento del péndulo del regulador y el arrollamiento auxiliar será conectado a los relés de sobre velocidad, baja velocidad y al dispositivo de parada.

## TRANSFORMADORES DE FUERZA

Se proveerá dos transformadores de fuerza del tipo sumergido en aceite, apropiado para la instalación a la intemperie y con los implementos necesarios para su movilización y alzado para cuando esté completamente ensamblado y lleno de aceite, como son ruedas girables y apoyo de gata hidráulica ( jacking pads ). Sus características estarán de acuerdo a los requerimientos y condiciones de servicio enumerados en estas especificaciones.

## CARACTERISTICAS

Capacidad nominal continua

6.250 KVA

Tipo de enfriamiento	autorefrigerado OA
Frecuencia	60 c/seg.
Número de fases	3
Voltaje nominal baja tensión	2.3 KV.
Voltaje nominal alta tensión	22 KV
Conexión baja tensión	Delta
Conexión alta tensión	Y (neutro a tierra)
Derivaciones en alta tensión	$\pm 5\%$
% de impedancia	7 %
Clase de aislamiento baja tensión	2.5 KV. (65 KV. BIL)
Clase de aislamiento alta tensión	25 KV. (150 KV BIL)
Clase de aislamiento neutro	15 KV. (130 KV BIL)
Grupo de conexión según E I C	Y de 1
Elevación media de temperatura	(40° C ambiente)
55° C. según normas ASA	
Temperatura efectiva en el cobre, límite superior en condiciones normales de funcionamiento	65° C. (Hot spot temperature rise).

#### ACCESORIOS

Cada transformador será equipado con:

- a) Un detector de temperatura tipo resistencia de 10 - ohmios para indicar la temperatura del bobinado en un instrumento indicador de temperatura situado en el tablero de control de la central.
- b) Caja de terminales para interperie, con blocks de terminales para todos los circuitos de control, de alarma y secundarios de transformadores de corriente.

- c) Tres transformadores de corriente tipo bushing, uno en cada aislador de paso del lado de alta del transformador, de características adecuadas para la protección de sobrecorriente.
- d) Relé Buchholz que operará por aumento de presión producida por la descomposición del aceite debido a fallas eléctricas, así como también por bajo nivel de aceite.
- e) Terminales de conexión apropiados.
- f) Sistema de preservación de aceite por medio del cual se evite que el aceite pueda entrar en contacto con el aire ambiental, cuando varía su temperatura durante su operación.
- g) Indicador del nivel de aceite.

#### RELES DE PROTECCION

Los relés de protección a emplearse serán del tipo tablero, para ser montados al semirés, con conexión en la parte posterior, a prueba de polvo, con caja rectangular y con cubierta transparente removible, Serán del tipo retirable o removible y llevarán dispositivos incorporados para facilitar su prueba. Cada relé estará provisto de tarjeta indicadora de operación y contactos para operar con corriente continua de 125 voltios por fase, con dispositivos de reposición externa en la parte frontal del tablero. Serán apropiados para conectarse a los transformadores de corriente y voltaje tanto en condiciones normales como bajo corto-

circuitos.

Cada generador se equipará con los siguientes relés de protección:

Relé de máxima tensión temporizado con desconexión instantánea a la tensión límite. Protege al generador contra las sobretensiones de servicio y produce el accionamiento del anunciador, disparo del interruptor del generador y disparo del interruptor del campo. Será monofásico y del tipo de inducción con palanca para variar el tiempo de operación. Se dispondrá también de un relé de sobre voltaje y otro de sub-voltaje de similares características. El primero, servirá para retirar el control automático del voltaje del generador y el segundo, para producir el disparo del interruptor del campo, siempre que haya operado el relé diferencial.

Relés monofásicos térmicos con desconexión instantánea a corriente límite para proteger al generador contra sobrecargas y corto circuitos exteriores. Serán de elemento térmico calentado indirectamente por corriente proporcional a la del generador. Su característica de tiempo será del tipo inverso pero poseerá dispositivo electromagnético para el disparo instantáneo. Serán acoplados con un relé temporizado. De esta manera, la desconexión térmica da la alarma cuando la temperatura de la máquina alcanza un valor peligroso, mientras que la desconexión instantánea, junto con el relé temporizado, provocará la desconexión y desexcitación de la máquina en caso de corto circuito.

Relés diferenciales, para protección de corto cir -

cortos entre fases a cortos dobles a tierra. Serán del tipo de inducción y de porcentaje, con curvas características apropiadas para el desempeño de sus funciones. Caso de requerirse llevarán contactos para corto o circuitar el secundario de los transformado - res de corriente. Desconectarán el interruptor principal, el de campo, accionarán la alarma, el cierre de la válvula mariposa y la operación del dispositivo de protección contra incendios.

Relé para desequilibrio de fases, será del tipo de inducción, irá provisto de un indicador del grado de la carga asimétrica y contactos que anuncien su operación y produzcan el disparo del interruptor de campo y el del generador.

Relés de sobrecorriente con voltaje controlado (voltage restraint) para protección de cortos entre espiras. Serán del tipo de inducción con características de corriente tiempo may inversas. Al operar estos relés accionarán la alarma, el interruptor principal y el de campo. Un relé similar se ha previsto contra las fallas a tierra del estator.

Relé de falta de excitación, será trifásico, de alta velecidad y protegerá al generador contra pérdidas de la excitación. Deberá poder diferenciar entre pérdidas accidentales de la excitación y reducciones transitorias y pérdidas de la corriente de excitación debidas a operación intencional o disturbios en el sistema. Tendrán suficiente selectividad como para no funcionar durante condiciones del sistema en que ocurran grandes intercambios de KVA restivos de naturaleza más o menos transitoria, como corto circuitos en el sistema, sincronización de máquinas, etc. Operará el anun -

ciador, disyuntores principal y de campo y cerrará la válvula mariposa.

Se ha previsto además un relé de indicación de falla a tierra del rotor, Relés de sub-velocidad y sobre velocidad, relés térmicos para los cojinetes, etc. que se los ha descrito anteriormente y serán de características apropiadas.

Para la protección de los transformadores de poder se han previsto los siguientes relés:

Relés diferenciales del tipo de inducción y porcentaje, seguros a la conexión, que no funcionen con corrientes bruscas de magnetización, y presenten una seguridad suficiente contra las desconexiones intempestivas en caso de corto circuitos exteriores y gran sensibilidad con respecto a los defectos interiores. Desconectarán los interruptores automáticos de ambos lados del transformador y accionarán la alarma.

Relés de sobre corriente, monofásicos, del tipo de inducción de tiempo inverso que proporcionen una selectividad adecuada y desconecte los interruptores automáticos del transformador.

Relé Buchholz, montado sobre el transformador, para protección contra defectos interiores. Anunciará la falla y si persiste desconectará el transformador.

Cada circuito de la línea de transmisión irá provisto de un relé de sobre corriente y un relé de sobre corriente a tierra. Provocarán el disparo del interruptor asociado a la línea

y accionarán el correspondiente aviso.

En la estación de servicio se proveerá relés de sub voltaje térmicos que accionarán el interruptor automático asociado y anunciarán su operación.

En el cuadro N° .?.. consta el tipo de relé a emplearse de acuerdo a la construcción de la Westinhouse, su amplitud y su aplicación general.

C U A D R O N° 8

APLICACION GENERAL	TIPO 4' RELE		DISPOS. N°	AMPLITUD
	WESTINHOUSE	SWGR.		
Sobre voltaje	CV-2	59	55-140 voltios	
sub voltaje	CV-2	28	55-140 voltios	
relé térmico	BL-1	49	2.5 - 5 amperios	
Relé diferencial generador	CA	87G	10 % pendiente	
Relé diferencial transformador	CA	87K	50 % pendiente	
Equilibrio de fases	CM	46	2.0 - 6 amperios	
Sobre corriente voltaje control	COV-9	51/27	2.0 - 6 amperios	
Pérdida de campo	HLF	40	8 - 40 ohmios	
Sobre corriente	CO-9	51	2.0 - 6.0 A. 10-40 amp.*	
Sobre corriente de línea	CO-9	151	2.0-6.0 A 10-40 amp.*	
Sobre corriente a tierra	CO-9	151G	2.0-6.0 A 10-40 amp.*	

(\*) Aditamentos de instalación.

La amplitud de cada tipo de relé se ha determinado, de acuerdo a las condiciones de servicio del sistema, características propias del relé y de acuerdo a los datos e informaciones que se dispone en los catálogos.

Como se verá posteriormente, las diversas corrientes que se obtiene en los secundarios de los transformadores de corriente escogidos son:

<u>TRANSFORMADOR DE CORRIENTE</u>	<u>I NOMINAL</u>	<u>I C.C.máx.</u>	<u>I C.C. mín.</u>
DEL GENERADOR	3.52 A.	30.48 A.	15.48 A.
DEL TRANS. BAJA TENSION	3.93 A.	34.84 A.	11.62 A.
DEL TRANS. ALTA TENSION	4.75 A.	32.75 A.	11.82 A.
CIRCUITO LINEA TRANSMISION	4.12 A.	29.2 A.	10.25 A.

Basándose en estos datos se ha determinado la amplitud de los relés que operan por corriente. Así, para los relés térmicos del alternador, según catálogos podemos disponer de relés ajustables entre 2.5 y 5 amperios; escogemos este relé pero en el tap correspondiente a 5 amperios.

Los relés diferenciales del generador pueden ser de una pendiente del 10 % a 25 %; se ha escogido el primer valor con el cual se obtiene un mínimo tiempo de disparo de 5 a 6 ciclos y mayor seguridad.

EL TIPO CA de relé diferencial para transformadores se construye para operar con una pendiente del 50 % y con diferen-

tes taps que son : 5 - 5 ; 5 - 5.5 ; 5 - 6 ; 5 - 6.6 ; 5 - 7.3 ;  
5 - 8 ; 5 - 9 ; 5 - 10.

En estado normal, las corrientes que circulan por las bobinas de retención son 3.93 A. y 4.12 A., puestos que estos relés estarán conectados a los secundarios de los transformadores de corriente del lado de baja tensión del transformador y del circuito de transmisión. El Tap requerido será el correspondiente a

$$\frac{5 \times 4.12}{3.93} = 5.3$$

es decir, 5 - 5.5. Por otro lado, las diferencias de corriente tanto en estado normal como en corto circuito externo, no producirán el cierre del relé porque no llegan a la pendiente del 50 %.

Son diversos los tipos de relés de corriente existentes. Así tenemos el C06, cuyas características de tiempo corriente son del tipo de tiempo mínimo definido; el C07 de tipo moderadamente inverso; el C08 de tipo inverso; el C09, muy inverso y el C011, más inverso. El tiempo de disparo de estos relés, si la corriente es dos veces la de arranque es para: C06 - 0.33 seg. ; C07 - 0.75 seg.; C08 - 2.5 seg.; C09 - 3.0 seg. y C011 - 10 seg.

Para la protección de sobre corriente en los circuitos de transmisión y del transformador de poder creo conveniente utilizar el tipo C09 del cual se construyen de las siguientes amplitudes: 0.5 - 2.5 A.; 2 - 6 A.; 4 - 15 amp.. De las corrientes secundarias anteriormente calculadas, deducimos que el rango de capacidad de corriente nominal que nos ofrece mayor ventaja es

el de 2 - 6 amperios. Estos relés poseen taps para variar el valor de corriente desde 2 - 2.5 - 3 - 3.5 - 4 - 5 - amp. El tap que nos interesará será: para los relés de sobre corriente del transformador el de 5 amperios; para los relés de sobre corriente a línea y a tierra será el de 5 amperios.

Además estos relés poseen 12 niveles de tiempo y también un dispositivo de disparo automático instantáneo cuyos rangos típicos son dos: uno ajustable entre 10 y 40 amperios y otro ajustable entre 20 y 80 amperios. Utilizaremos según las corrientes de corto circuito halladas, el dispositivo ajustable entre 10 y 40 amperios, con lo cual aseguraremos la protección contra corrientes máximas de corto circuito, y un nivel de tiempo adecuado para asegurar la selectividad entre los relés de línea y los del transformador, debiendo ser el nivel más bajo para el relé de línea.

En cuanto a los relés de tensión y reactantes su construcción les da las amplitudes dadas a las que pueden ser ajustadas.

#### INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (DISTINTORES)

Se ha previsto la instalación de los siguientes interruptores automáticos:

- 1 interruptor automático para cada generador
- 1 interruptor automático para el primario de cada transformador
- 1 interruptor automático para cada circuito de línea de transmisión
- 1 interruptor automático de enlace en las barras de al-

ta tensión.

Creo conveniente y por la disposición que tendrán estos elementos en la central, adoptar para los alternadores y primario de los transformadores interruptores automáticos en aceite y para el de las barras y circuitos de línea de transmisión interruptores en aceite.

En el capítulo anterior y de acuerdo a los cálculos realizados, se manifestó que era conveniente emplear un mismo tipo de interruptor tanto para los alternadores como para el lado primario de los transformadores de poder. Según esto y eligiendo el tipo más potente, estos interruptores tendrán las siguientes características:

Voltaje nominal	2.3 KV
Voltaje de prueba a 60 c/seg.	15 KV
Nivel básico de aislamiento (BIL)	45 KV
Corriente nominal continua a 60 c/s.	1570 A.
Corriente alterna inicial de corto circuito	13.936 A.
Corriente de cierre nominal	35.390 A. Máx.
Corriente de ruptura nominal	11.560 A.
Capacidad nominal de ruptura	46.000 KVA.
Tiempo de interrupción sobre la base 60 c/seg.	8 ciclos

Prestación. Los interruptores deben poder soportar tres cortos sucesivos de corriente de la intensidad correspondiente a su capacidad de ruptura con tres minutos de intervalo, sin quedar fuera de

servicio y sin producir calentamientos anormales en los contactos y terminales de conexión.

En caso de utilizarse equipo estandar, se recomienda el empleo de interruptores de las características dadas a continuación, que están de acuerdo a las normas preparadas por el Comité conjunto de E.E.I - A. E.I.C. - N.E.M.A., para interruptores tipo interior sin aceite.

Tensión de servicio:	2.5 KV.
a) Tensión nominal	5 KV.
b) Tensión mínima	2.3 KV.

Grado de Aislamiento:

a) Ensayo de rigidez dieléctrica:	
1) Baja frecuencia	15 KV
2) Impulso. Valor de cresta	45 KV.

Intensidades Nominales en amperios:

a) Servicio continuo	2.000 A.
b) Período - instantáneo	50.000 A.
c) Período - 5 seg.	25.000 A.

Capacidad Nominal de ruptura:

a) Capacidad trifásica	100.000 KVA.
b) Amperios a la tensión nominal	11.500 A.
c) Amperios máximos	25.000 A.

Estos interruptores serán del tipo interior, para instalar a una altura de 2.700 m. Serán tripolares, para operación eléctrica con corriente continua de 125 voltios mediante dispositivo electromagnético, tanto para el cierre como para el despe

ro y con previsión para la operación manual de emergencia. Será completo con mecanismo de cierre y disparo, suiches auxiliares, accesorios, etc. La posición de cerrado o abierto se indicará por lámparas de aviso, tarjetas mecánicas o por la posición de las manillas de operación. Cada interrupción o interruptor se proveerá con un mecanismo de interbloqueo para prevenir que los contactos de la parte móvil sean contactados o desconectados de la parte fija a menos que los contactos de operación estén abiertos.

Serán del tipo retirable del tablero y poseerá los accesorios estandares requeridos para el montaje, desmontaje y mantenimiento.

De igual manera, se empleará interruptores automáticos en aceite de las mismas características para la sección de alta tensión de la central y que vienen determinadas por las corrientes de corto circuito calculadas en el punto 4 (figura N° 4.1.3.3.).

Estas características son:

Voltaje nominal	22 KV
Voltaje de prueba a 60 c/seg.	60 KV
Nivel básico de aislamiento (BIL)	150 KV
Corriente nominal continua a 60 c/e.	330 A.
Corriente alterna inicial de c.c.	1.136 A.
Corriente de cierre nominal	2.850 A.
Corriente de ruptura nominal	977 A.
Capacidad de ruptura nominal	37.180 KVA.
Tiempo de interrupción sobre la base de 60 c/seg.	8 ciclos.

Como en el caso anterior, si se utiliza equipo estandar las características que tendrían los interruptores, de acuerdo a las mencionadas normas para interruptores en baño de aceite, para intemperie son las siguientes:

**Tensión de Servicio:**

- |                    |        |
|--------------------|--------|
| a) Tensión nominal | 22 KV. |
| b) Tensión mínima  | 12 KV. |

**Grado de Aislamiento:**

**Ensayo de rigidez dieléctrica:**

- |                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 1- Baja frecuencia          | 60 KVerf. |
| 2- Impulso, valor de cresta | 150 KV.   |

**Intensidades nominales:**

- |                          |           |
|--------------------------|-----------|
| a) Servicio continuo     | 600 A.    |
| b) Periodo - instantáneo | 25.000 A. |
| c) Periodo - 5 seg.      | 12.000 A. |

**Capacidad nominal de ruptura:**

- |                              |             |
|------------------------------|-------------|
| a) Capacidad trifásica       | 250.000 KVA |
| b) Amp. a la tensión nominal | 6.300 A.    |
| c) Amp. máximos              | 12.000 A.   |

**Duración en periodos** 8 ciclos.

Estos interruptores serán tripolares, para la instalación a la intemperie y con mecanismo de cierre y disparo eléctricos a distancias, deberán también ser equipados con dispositivos

de cierre y disparo manual, con estructuras de soporte, caja terminal de conexiones para intemperie con bloques de terminales para los circuitos de control y secundarios de los transformadores de corriente. El cierre y disparo serán con corriente continua de 125 voltios de la estación de servicio de la central y por medio de dispositivos electromagnéticos.

Se suministrará los interruptores con los accesorios siguientes: en cada aislador de pase, un transformador de corriente tipo bushing, apropiado para servir a los relés de sobre corriente y sobre corriente a tierra y medición de las líneas de transmisión. 2) Terminales apropiados para la conexión del interruptor a los seccionadores. 3) Contador de operaciones.

#### SECCIONADORES

Se ha previsto la instalación de seccionadores tipo interior para la conexión de los generadores y transformadores al doble embarraje de baja tensión y seccionadores tipo intemperie, a cada lado de los interruptores automáticos en aceite colocados en la sección de alta tensión. La disposición puede verse en la Fig. N° 4.

Los primeros serán para un voltaje nominal de 2.3 KV. y una corriente nominal de 1.570 amperios. Los segundos para un voltaje nominal de 22 KV. y corriente nominal continua de 330 amperios y de capacidad suficiente para interrumpir las corrientes de magnetización del transformador o la corriente de carga de la línea de transmisión.

Serán para montaje y desconexión vertical y tendrán todos los accesorios de montaje. El mecanismo de operación provee ra operación rápida y efectiva y dispondrán de dispositivos mecáni cos para evitar su apertura por la acción de las fuerzas magnéti cas que se producen en caso de corto circuitos. La varilla de ope ración será aislada adecuadamente y será montada aproximadamente a un metro del nivel del suelo. El soporte de la manilla llevará ter minal para conexión de cable al sistema de tierra. Se proveerá un sistema de bloqueo mecánico para la posición abierto y cerrado.

#### TRANSFORMADORES DE TENSION Y CORRIENTE

Para medida, regulación, sincronización y protección en la sección de 2.3 KV., se empleará transformadores de corriente y tensión en la siguiente forma:

Del lado del punto neutro del alternador: dos jue gos de transformadores de corriente; el uno para la protección di ferencial del generador, y el segundo para la medida, para la pro tección contra las sobre cargas, contra los corto circuitos en las barras colectoras, es decir, reserva de protección, etc.

En las partes de las barras colectoras del alterna dor: dos juegos de transformadores de corriente; el primero para la protección diferencial y el otro para la compensación del regu lador de tensión y para la protección contra cortos a tierra. Dos transformadores monofásicos de tensión para protección, medida, - sincronización y dos transformadores monofásicos de tensión para el regulador de tensión (ver diagrama General de la Central).

3000	600/400/300/, : 1
4000	800/600/400/ : 1

Para determinar la relación de corriente apropiada nos hemos basado en las corrientes nominales y de corto circuito en los diferentes puntos del sistema. Estas corrientes son:

CORRIENTES NOMINALES	CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO		
	PUNTO	I máx.	I mín.
Generador 1055 amp.	1	9290 A.	4645 A.
Transformador baja tensión 1570 A.	2	4645 A	4645 A.
Transf. alta tensión 165 amp.	3	13936 A.	4645 A.
Barras alta tensión 330 amp.	4	1136 A.	410 A.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA EL ALTERNADOR

Con corriente primaria standar de 1200 A. y relación 240: 1 las corrientes en el secundario del transformador son:

$$I_n \frac{1055}{240} = 4.40 \text{ amp.}$$

$$I_{cc} \text{ máx.} = \frac{9290}{240} = 38.70 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc} \text{ mín.} = \frac{4645}{240} = 19.35 \text{ amp.}$$

Con corriente primaria standar de 2000 amperios y relación 300 : 1 las corrientes en el secundario del transformador son:

= 187 =

Por conexión triángulo  $I_n = \sqrt{3} \times 4.12 = 7.12 \text{ amp.}$

Empleando la relación 60 : 1

$$I_n = \frac{165}{60} = 2.75 \text{ amp.}$$

$$\text{Conex. delta } I_n = \sqrt{3} \times 2.75 = 4.75$$

$$I_{\text{comf.}} = \frac{1136}{60} = 18.93 \text{ Amp.}$$

$$\text{Conex. delta} = \sqrt{3} \times 18.93 = 32.75$$

$$I_{\text{comf.}} = \frac{410}{60} = 6.83 \text{ Amp.}$$

$$\text{Conex. delta} = \sqrt{3} \times 6.83 = 11.82 \text{ Amp.}$$

#### TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA CIRCUITOS DE TRANSMISION

Corriente nominal primaria standar 600 amperios

Relación 60 : 1

Corrientes secundarias:

$$I_n = \frac{165}{60} = 2.75 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{comf.}} = \frac{1136}{60} = 18.93 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{comf.}} = \frac{410}{60} = 6.83 \text{ Amp.}$$

Relación 40 : 1

$$I_n = \frac{165}{40} = 4.125$$

$$I_{\text{con} \acute{\text{a}}\text{x.}} = \frac{1136}{40} = 28.3$$

$$I_{\text{con} \acute{\text{a}}\text{r.}} = \frac{410}{40} = 10.25$$

Estos transformadores, como los colocados en el primario del transformador de poder se emplearían para la protección diferencial. Por tanto, la diferencia de las corrientes a la salida de los secundarios de no debe pasar de un determinado porcentaje ya sea en estado normal como cuando se presenten fallas externas a la protección.

Con esta última relación la citada diferencia es mínima, por tanto, creo conveniente emplear esta relación.

Además, deberán tener doble secundario ya que se emplearán también para mediciones y protección contra sobrecorrientes.

**RESUMEN:**

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	TIPO	CORRIENTE PRIMARIA	RELACION
Generadores	Barra	2.000 Amp.	300 : 1
Transf. baja tensión	Barra	2.000 Amp.	400 : 1
Transf. alta tensión	Bushing	600 Amp.	60 : 1
Línea de transmisión	Bushing (Doble secundario)	600 Amp.	40 : 1

Puede emplearse, para servicio interior, los transformadores de corriente tipo JEM-2 de la Westinhouse, o similares,

Como en el caso anterior, si se utiliza equipo estandar las características que tendrían los interruptores, de acuerdo a las mencionadas normas para interruptores en baño de aceite, para intemperie son las siguientes:

**Tensión de Servicio:**

a) Tensión nominal	22 KV.
b) Tensión mínima	12 KV.

**Grado de Aislamiento:**

**Ensayo de rigides dieléctrica:**

1- Baja frecuencia	60 KVec.
2- Impulso, valor de cresta	150 KV.

**Intensidades nominales:**

a) Servicio continuo	600 A.
b) Periodo - instantáneo	25.000 A.
c) Periodo - 5 seg.	12.000 A.

**Capacidad nominal de ruptura:**

a) Capacidad trifásica	250.000 KVA
b) Amp. a la tensión nominal	6.300 A.
c) Amp. máximos	12.000 A.

**Duración en periodos** 8 ciclos.

Estos interruptores serán tripolares, para la instalación a la intemperie y con mecanismo de cierre y disparo eléctricos a distancias, deberán también ser equipados con dispositivos

de cierre y disparo manual, con estructuras de soporte, caja terminal de conexiones para intemperie con bloks de terminales para los circuitos de control y secundarios de los transformadores de corriente. El cierre y disparo serán con corriente continua de 125 voltios de la estación de servicio de la central y por medio de dispositivos electromagnéticos.

Se suministrará los interruptores con los accesorios siguientes: en cada aislador de paso, un transformador de corriente tipo bushing, apropiado para servir a los relés de sobre corriente y sobre corriente a tierra y medición de las líneas de transmisión. 2) Terminales apropiadas para la conexión del interruptor a los seccionadores. 3) Contador de operaciones.

#### SECCIONADORES

Se ha previsto la instalación de seccionadores tipo interior para la conexión de los generadores y transformadores al doble embarraje de baja tensión y seccionadores tipo intemperie, a cada lado de los interruptores automáticos en aceite colocados en la sección de alta tensión. La disposición puede verse en la Fig. N° .4..

Los primeros serán para un voltaje nominal de 2.3 KV. y una corriente nominal de 1.570 amperios. Los segundos para un voltaje nominal de 22 KV. y corriente nominal continua de 330 amperios y de capacidad suficiente para interrumpir las corrientes de magnetización del transformador o la corriente de carga de la línea de transmisión.

Serán para montaje y desconexión vertical y tendrán todos los accesorios de montaje. El mecanismo de operación provee ra operación rápida y efectiva y dispondrán de dispositivos mecáni cos para evitar su apertura por la acción de las fuerzas magnéti cas que se producen en caso de corto circuitos. La varilla de ope ración será aislada adecuadamente y será montada aproximadamente a un metro del nivel del suelo. El soporte de la manilla llevará ter minal para conexión de cable al sistema de tierra. Se proveerá un sistema de bloqueo mecánico para la posición abierto y cerrado.

#### TRANSFORMADORES DE TENSION Y CORRIENTE

Para medida, regulación, sincronización y protección en la sección de 2.3 KV., se empleará transformadores de corriente y tensión en la siguiente forma:

Del lado del punto neutro del alternador: dos jue gos de transformadores de corriente; el uno para la protección di ferencial del generador, y el segundo para la medida, para la pro tección contra las sobre cargas, contra los corto circuitos en las barras colectoras, es decir, reserva de protección, etc.

En las partes de las barras colectoras del alterna dor: dos juegos de transformadores de corriente; el primero para la protección diferencial y el otro para la compensación del regu lador de tensión y para la protección contra cortos a tierra. Dos transformadores monofásicos de tensión para protección, medida, - sincronización y dos transformadores monofásicos de tensión para el regulador de tensión (ver diagrama General de la Central).

Los transformadores de corriente serán del tipo seco, para servicio al interior y apropiados para dispositivos de control y relés, con aislamiento para 2.5 KV., es decir, suficiente para soportar la prueba determinada por ASA que requiere un ensayo durante un minuto a 15 KV a 60 c/seg. y un ensayo de impulso a onda completa a 45 KV. Su capacidad térmica y mecánica no será menor que la que representa la corriente momentánea nominal del interruptor automático del generador. Cada transformador de corriente estará provisto con tornillos de contacto en los terminales secundarios y un dispositivo para cortocircuitarlo formando una parte integral del transformador. Las conexiones a tierra serán hechas lo más cerca posible al transformador.

La precisión, de acuerdo a las normas ASA, será por lo menos la correspondiente a la clasificación 10 H 100, para operación de relés y no menos de 0.3 - B0.1, 03-B0.5, 03-B2.0 para medición, según sea necesario.

Los transformadores de tensión serán del tipo seco, para servicio interior tendrán aislamiento clase 2.5 KV. y vendrán equipados con los dispositivos de montaje necesarios.

Se proporcionarán dos fusibles limitadores de corriente, o dos fusibles primarios en serie con resistencias limitadoras capaces de limitar las corrientes de corto circuito en los terminales de alta tensión del transformador e impedir que sufran daño los arrollamientos. Los fusibles resistirán la máxima corriente de magnetización posible, pero se fundirán en caso de corto circuito en el secundario del transformador de tensión. Poseerán también fusibles secundarios de capacidad adecuada y de tiempo inverso. Su cla

sificación de acuerdo a las normas ASA, en cuanto a la precisión, será 0.3 W - 0.3X - 0.3Y o mejor.

Para la protección y medida en la sección de alta tensión se ha previsto la instalación, tanto en los aisladores pasantes del secundario del transformador de poder, como en los aisladores pasantes del lado de las barras de alta tensión de los disyuntores de los circuitos de transmisión, transformadores de corriente tipo bushing. Además, se conectará a cada circuito de salida dos transformadores de tensión, para instalación a la intemperie, en aceite, con aislamiento completo y dos aisladores de paso para su conexión entre fases del sistema. Su clasificación en cuanto a precisión, según las normas ASA, será: 0.3 W - 0.3X - 8 0.3Y. Sus características principales las siguientes: (ver Diagrama General de la Central).

Voltaje nominal alta tensión	22 KV.
Voltaje nominal baja tensión	115 V.
Frecuencia	60 c/seg.
BIL	150 KV.

Según las normas ASA, podemos disponer de transformadores de corriente de las siguientes relaciones, obteniendo en el secundario 5 amperios:

CORRIENTE PRIMARIA STANDAR	RELACIONES STANDAR
Corriente nominal máxima	
600	120/80/60/40/20/ : 1
1200	240/160/120/80/40/ : 1
2000	400/300/240/160/ : 1

3000	600/400/300/, : 1
4000	800/600/400/ : 1

Para determinar la relación de corriente apropiada nos hemos basado en las corrientes nominales y de corto circuito en los diferentes puntos del sistema. Estas corrientes son:

CORRIENTES NOMINALES	CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO		
	PUNTO	I máx.	I mín.
Generador 1055 amp.	1	9290 A.	4645 A.
Transformador baja tensión 1570 A.	2	4645 A.	4645 A.
Transf. alta tensión 165 amp.	3	13936 A.	4645 A.
Barra alta tensión 330 amp.	4	1136 A.	410 A.

**TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA EL ALTERNADOR**

Con corriente primaria standar de 1200 A. y relación 240: 1 las corrientes en el secundario del transformador son:

$$I_n \frac{1055}{240} = 4.40 \text{ amp.}$$

$$I_{cc} \text{ máx.} = \frac{9290}{240} = 38.70 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc} \text{ mín.} = \frac{4645}{240} = 19.35 \text{ amp.}$$

Con corriente primaria standar de 2000 amperios y relación 300 : 1 las corrientes en el secundario del transformador son:

$$I_n = \frac{1055}{300} = 3.52 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com}\acute{\text{a}}\text{x.}} = \frac{9290}{300} = 30.96 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com}\acute{\text{i}}\text{n.}} = \frac{4645}{300} = 15.48 \text{ Amp.}$$

Creo conveniente utilizar este último tipo de transformador ya que se utilizará para protección y medida y cuando más reducida es la corriente, la potencia absorbida en las conexiones secundarias es menor.

#### TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA EL LADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR

Con corriente nominal primaria standar de 2.000 amperios y relación 400 : 1 , las corrientes en el secundario del transformador de intensidad serán:

$$I_n = \frac{1570}{400} = 3.93 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com}\acute{\text{a}}\text{x.}} = \frac{13936}{400} = 34.84 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com}\acute{\text{i}}\text{n.}} = \frac{4645}{400} = 11.62 \text{ Amp.}$$

#### PARA EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE PODER

Corriente nominal primaria standar 600 amperios. Relación 40 : 1. Las corrientes secundarias serán:

$$I_n = \frac{165}{40} = 4.12 \text{ Amp.}$$

= 187 =

Por conexión triángulo  $I_n = \sqrt{3} \times 4.12 = 7.12 \text{ amp.}$

Empleando la relación 60 : 1

$$I_n = \frac{165}{60} = 2.75 \text{ amp.}$$

$$\text{Conex. delta } I_n = \sqrt{3} \times 2.75 = 4.75$$

$$I_{\text{com} \times} = \frac{1136}{60} = 18.93 \text{ Amp.}$$

$$\text{Conex. delta} = \sqrt{3} \times 18.93 = 32.75$$

$$I_{\text{com} \text{m} \text{i} \text{n}} = \frac{410}{60} = 6.83 \text{ Amp.}$$

$$\text{Conex. delta} = \sqrt{3} \times 6.83 = 11.82 \text{ Amp.}$$

#### TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA CIRCUITOS DE TRANSMISION

Corriente nominal primaria standar 600 amperios

Relación 60 : 1

Corrientes secundarias:

$$I_n = \frac{165}{60} = 2.75 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com} \times} = \frac{1136}{60} = 18.93 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{com} \text{m} \text{i} \text{n}} = \frac{410}{60} = 6.83 \text{ Amp.}$$

Relación 40 : 1

$$I_n = \frac{165}{40} = 4.125$$

$$I_{ca\acute{m}x.} = \frac{1136}{40} = 28.3$$

$$I_{ca\acute{m}n.} = \frac{410}{40} = 10.25$$

Estos transformadores, como los colocados en el primario del transformador de poder se emplearán para la protección diferencial. Por tanto, la diferencia de las corrientes a la salida de los secundarios de no debe pasar de un determinado porcentaje ya sea en estado normal como cuando se presenten fallas externas a la protección.

Con esta última relación la citada diferencia es mínima, por tanto, creo conveniente emplear esta relación.

Además, deberán tener doble secundario ya que se emplearán también para mediciones y protección contra sobrecorrientes.

**RESUMEN:**

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	TIPO	CORRIENTE PRIMARIA	RELACION
Generadores	Barra	2.000 Amp.	300 : 1
Transf. baja tensión	Barra	2.000 Amp.	400 : 1
Transf. alta tensión	Bushing	600 Amp.	60 : 1
Línea de transmisión	Bushing (Doble secundario)	600 Amp.	40 : 1

Puede emplearse, para servicio interior, los transformadores de corriente tipo JEM-2 de la Westinhouse, o similares,

y los de tipo bushing pueden ser del tipo BYM DE La Westinhouse o similares ya que estos cumplen con los requisitos mencionados anteriormente.

De igual manera, los transformadores de tensión pueden ser del tipo JVM-2, o similares, para servicio interno y para intemperie del tipo ET-150, de la citada Casa.

#### INSTRUMENTOS.

Los instrumentos de medida deberán ser del tipo "sewflush monted", es decir, para ser montados al sewírás; de forma cuadrada, conexión posterior, a prueba de polvo, para instalación en tablero, tendrán cubierta removible transparente y serán adecuados para operación con los transformadores de corriente o tensión correspondiente, sea en condiciones normales o de corto circuito.

Los instrumentos indicadores serán cuadrados de 11.4 cm. de lado (  $4\frac{1}{2}$  " ) y cumplirán con los requisitos establecidos por las normas ASA, o sus equivalentes, tales como las que se dan en la tabla N° 9... para amperímetros y voltímetros. El sin-cronoscopis y los voltímetros empleados para la sincronización tendrán 16 cm. de lado ( 7" ) y la longitud de la escala de estos no será menor de 12.7 cm. ( 5 " ).

La escala del varímetro tendrá el 0 en el centro y las gravaciones "DENTRO" y "FUERA" a izquierda y derecha respectivamente. El medidor del factor de potencia llevará las marcas "ADELANTE", a la derecha y "ATRÁS" a la izquierda. La amplitud de la escala será determinada de acuerdo a las relaciones de acuer

REQUISITOS DETALLADOS PARA INSTRUMENTOS INDICADORES ELECTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA EN CUADRO DE DISTRIBUCION. CUADROS DE 11.4 C.M. ( 4½ " ) - INCLuye AMPERIMETROS Y VOLTIMETROS

T A B L A N°9

A P A R A T O

R E Q U I S I T O S

1. Caja, material, acabado	Compuesto moldeado de fraguado térmico o metal, superficie frontal negra mate.
2. Longitud de la escala	172.7 mm ( 6.8" )
3. Posición normal de funcionamiento	Montado en panel vertical.
4. Influencia de la posición	60° inclinación respecto a la posición normal de funcionamiento, 1 % de la longitud máxima de la escala.
5. Exactitud nominal	1 % del valor de plena escala.
6. Factor de amortiguamiento	5 mínimo (rebasamiento 20 % máximo)
7. Tiempo de respuesta	2.5 segundos máximo.
8. Pérdidas	Voltímetros autocalentados para 50 ciclos, 10 VA máximo. Amperímetros hasta 50 amperios, 5 VA máximo.
9. Influencia de la temperatura ext.	Voltímetro, 0.75 % máx con $\pm 10^{\circ} C$ variación desde $+ 25^{\circ} C$
10. Influencia del campo exterior	Amperímetros, 0.5 máx. con $\pm 10^{\circ} C$ variación desde $+ 25^{\circ} C$
11. Influencia de la frecuencia	3 % máximo con campo de 5 oersted.
12. Tensión de trabajo respecto a tierra	0.5 % con desviación de $\pm 10$ % desde la frecuencia nominal ( 60 o/s. )
13. Ensayos de dieléctricos	1100 voltios, valor de eresta. Partes activas a frente, incluyendo ajustador de cero y panel 2600 voltios corriente alterna.
14. Valores nominales autocalentados	30 amperios y menos; pueden utilizarse accesorios externos para todos los márgenes de potencial.
15. Corriente de fuga	1.0 miliamperio máximo cuando se mida a 500 voltios o 0.2 mA máximo a 120 voltios.

do a las relaciones de los transformadores de corriente y tensión. El error máximo será del 1 % del valor máximo de la escala.

Los kilowatihorímetros, serán del tipo removible, tendrán topes u otros dispositivos que eviten la rotación contraria del eje en caso de invertirse el sentido de la corriente eléctrica. Tendrán dispositivos incorporados para facilitar su prueba.

El vatímetro registrador, será del tipo de acción directa y registro continuo. Dispondrá de un tambor de arrastre movido por un motor sincrónico de corriente alterna de 115 voltios y 60 c/seg. el cual se pondrá en marcha automáticamente y capaz de producir el arrastre hasta con el 80 % del valor del voltaje. El ancho de la banda de papel no será menor de 10 cm. ( 4" ) y estará calibrada en función del tiempo en dirección del eje X y en función de la potencia efectiva en dirección del eje Y. La velocidad de desarrollo del gráfico será de 3" por hora. El error máximo no será mayor del 2 % del valor a plena escala. Las características dinámicas, especialmente el amortiguamiento, deben ser muy regulables para medir correcta y rápidamente la cantidad variable. El amortiguamiento será ajustado de tal forma de evitar que se manifiesten crestas falsas debidas a rebasamientos.

Los contadores de tiempo de los generadores indicarán el tiempo total acumulado que la unidad haya estado operando, funcionarán con corriente alterna de 115 voltios y 60 c/seg. y registrarán no menos de 10.000 horas sin repetición. No tendrán botón de reposición e indicarán décimas de hora.

Las lámparas de señalización serán del tipo tablero

y de color verde, rojo blanco, etc. según como se requiera e indicará posteriormente. Podrá ser remplazables desde la parte frontal del tablero.

Los señalizadores serán del tipo descrito en el capítulo anterior y sus indicaciones se las da posteriormente.

#### SERVICIO AUXILIAR DE LA CENTRAL

En el capítulo anterior se describió el funcionamiento y los elementos constitutivos del equipo para el servicio auxiliar de la central. En el presente, se darán las características de los principales elementos.

#### TRANSFORMADORES

Los transformadores para el servicio auxiliar serán del tipo sumergido en aceite, para servicio interior y de los siguientes valores:

1.- Capacidad nominal	112.5 KVA
2.- Tipo de enfriamiento	Autoenfriado OA
3.- Frecuencia	60 c/seg.
4.- Número de fases	3
5.- Voltaje nominal baja tensión	480 voltios
6.- Voltaje nominal alta tensión	2.3 KV.
7.- Conexión baja tensión	Estrella (neutro a tierra)
8.- Conexión alta tensión	Delta
9.- Porcentaje de impedancia	3 %

- 10.- Derivaciones alta tensión  $\pm 5 \%$
- 11.- Clase de aislamientos:
  - Baja tensión 1.2 KV. (BIL 45 KV)
  - Alta tensión 2.5 KV. (BIL 60 KV)
- 12.- Elevación media de temperatura 55° C (40° C ambiente)

Cada transformador irá equipado con un dial indicador de temperatura y un dispositivo tipo resistencia detector de temperatura.

Estos transformadores, junto con el barraje de 480 voltios desconectadores, interruptores automáticos, transformadores de tensión y corriente necesarios para operar el equipo de la estación de servicio, irán en una subestación unitaria (ver Diagrama General de la Central).

#### GENERADOR DE EMERGENCIA

El generador de emergencia será accionado por un motor a diésel, de acoplamiento directo con el que irá montado en una base común. Su capacidad será de 30 KW. operando a 2.700 m. sobre el nivel del mar y a 25° C. Será trifásico, 60 c/seg., 480 voltios 45 amperios, 1800 RPM., 27.5 KVA, factor de potencia 0.8.

Junto a la unidad se proveerá un panel de control que contendrá los siguientes dispositivos:

- 1.- Amperímetro, escala 0 - 100 amperios
- 2.- Frecuencímetro
- 3.- Voltímetro, escala 0 - 600 voltios

- 4.- Medidor de tiempo de operación
- 5.- Reóstato de campo y suiche regulador de voltaje
- 6.- Interruptor automático
- 7.- Interruptor de temperatura del agua de enfriamiento
- 8.- Lámpara piloto - verde
- 9.- Interruptor de puesta en marcha
- 10.- Interruptor de parada
- 11.- Interruptor de sobre velocidad
- 12.- Interruptor de ignición
- 13.- Relé de alarma que actuará por la operación de los interruptores 7 y 11.

#### ESTACION DE BATERIAS

Comprende dos partes principales, el sistema de baterías de 125 voltios y el cargador de baterías. Los circuitos de distribución de corriente continua junto con sus interruptores estarán localizados en la parte superior del panel posterior del tablero de control que se mostrará en el próximo apartado.

La estación de baterías se compondrá de 60 acumuladores de plomo ácido, de una tensión media por elemento de 2.1 voltios aproximadamente, tipo trabajo pesado, en vasijas selladas de vidrio o de plástico.

La capacidad en amperios hora, debe ser suficiente para cubrir el consumo continuo al presentarse una interrupción momentánea en el sistema de corriente alterna, es decir, adecuada para el cierre y disparo de los interruptores automáticos de los al-

ternadores, de los interruptores de los transformadores de poder y línea de transmisión, relevadores, accionamiento de las válvulas na riposa, accionamiento de los motores para variaciones de velocidad en los reguladores de velocidad de los grupos, sierre y disparo de los interruptores de campo, para alimentar el equipo indicador del nivel de agua en el tanque de presión, alumbrado de emergencia, am nunciadores, etc.

Sin embargo, esta capacidad no será menor de 150 amperios-hora a régimen de descarga a 8 horas, con voltaje final de 1.75 v. por elemento a 25° C.

El cargador de baterías será de onda completa, para frecuencia de entrada de 60 ciclos, voltaje corriente alterna de 480 voltios con fluctuaciones de  $\pm 5\%$ , voltaje de salida 125 voltios, con ajuste para 125 a 130 voltios.

#### IV - C .- DISPOSICION DE LOS APARATOS DE PROTECCION Y MANIOBRA

Al realizar el proyecto de la casa de máquinas es e nencial que se estudie la disposición general más conveniente te - niendo en cuenta no sólo el costo inicial, sino también la facilidad de las diversas operaciones de manipulación, servi cio y conservación.

En general, comprenderá los siguientes departamentos:

A.- Departamento eléctrico formado por las siguientes partes:

- a) Equipo generador
- b) Engranaje que acciona el conmutador de tensiones del

generador (generador voltage switchgear)

- e) Cabinas
- d) Barras generales del generador
- e) Conductores principales a los transformadores del exterior.
- f) Aparatos de protección contra incendios del generador
- g) Galerías para las tuberías de agua, aceite, aire y todos los servicios análogos para las unidades generadoras.
- h) Subestación unitaria para el servicio de la central
- i) Sala de control y equipo asociado:
  - 1. Paneles de control
  - 2. Cuadros de mando de las unidades generadoras
  - 3. Baterías y sus cargadores
  - 4. Aparatos telefónicos
  - 5. Galerías para cables de control y líneas de accionamiento y medida.

B.- Departamento de servicios comprenderá el equipo común a todas las unidades generadoras utilizado por la central en conjunto, tales como:

- a) Bombas de sumidero
- b) Depósitos y equipos purificador de aceite
- c) Taller de mecánica
- d) Taller eléctrico
- e) Generador de emergencia
- f) Instalaciones para purificación de agua
- g) Laboratorios
- h) Oficinas.

Para alojar los equipos de protección, control y ma  
niobra se ha previsto tableros del tipo completamente cerrado. Es  
tos tableros ofrecen gran seguridad para el personal de operación  
y mantenimiento disminuyendo las posibilidades de accidentes, per-  
miten una mejor disposición y gran accesibilidad, son de mejor pre-  
sentación que los de tipo abierto y si bien originalmente tienen  
un costo mayor la capacidad de cada unidad los justifica.

Los dispositivos de maniobra estarán dispuestos en  
dos paneles para cada unidad generadora que se los ha denominado:  
a) panel para el control de la excitatriz, b) panel del disyuntor  
del generador.

En el panel para el control de la excitatriz irán  
dispuestos de manera adecuada los siguientes dispositivos:

- a) Regulador de voltaje del generador y los relés auxi-  
liares necesarios.
- b) Reóstato de ajuste de voltaje y su motor de acciona-  
miento.
- c) Reóstato de la excitatriz principal y su motor de ac  
cionamiento.
- d) Resistencia de descarga del campo de la excitatriz  
principal.
- e) Regulador de voltaje de la excitatriz piloto y reós-  
tato de ajuste de voltaje con su motor de acciona -  
miento.
- f) Un interruptor bipolar del campo de la excitatriz.

**g) Panel de contactores.**

En el panel correspondiente al disyuntor del alternador se dispondrá:

- a) Los transformadores de voltaje del generador
- b) Los transformadores de corriente del lado de las barras colectoras
- c) Disyuntor aéreo del alternador
- d) Doble juego de seccionadores para conectar a las barras colectoras
- e) Dispositivos auxiliares y enclavamientos necesarios.

Se dispondrá también de dos secciones iguales a la anterior para la conexión del lado primario de los transformadores de poder a las barras del generador, que llevarán similares dispositivos a excepción de los transformadores de instrumentos.

En o sobre estos paneles y montadas sobre bastidores se colocarán de manera adecuada el doble sistema de barras colectoras de provisión.

El neutro del generador se formará en un CUBICULO DE NET NO que contendrá los siguientes elementos:

- a) Dos juegos de transformadores de corriente, los del lado del punto neutro del generador, incluirá block de terminales con tarjeta de identificación renovibles para los circuitos de los transformadores de corriente y terminales apropiados para recibir los cables de fuerza provenientes del generador.

b) Transformadores monofásico autorefrigerado en líquido no inflamable y demás accesorios requeridos para formar el neutro del generador y llevarlo a tierra, los aisladores de paso del lado de alta llevarán terminales adecuados para recibir el cable del neutro del generador y el cable de cobre trenzado del sistema de tierra de la central. El tanque del transformador dispondrá de terminales para su conexión a tierra.

c) Una resistencia de características adecuadas para conectarse, junto con el relé de protección watinétrica del contacto a tierra, al secundario de 120 voltios del transformador de puesta a tierra del generador.

Como parte complementaria para la protección contra cortos a tierra del estator se dispondrá además, para cada sistema de barras colectoras, un transformador trifásico de puesta a tierra con punto neutro exterior que se llevará a tierra a través de un transformador monofásico cargado con lámparas de filamento de hierro y atmósfera de hidrógeno.

Para la protección contra las sobre tensiones de origen atmosférico de los generadores se ha previsto la instalación de un tablero que contendrá, en tres compartimentos separados entre sí, los equipos de protección contra descargas atmosféricas de cada uno de los generadores de la central. El equipo estará constituido de los siguientes elementos en cada sección: (Pueden disponerse en tres paneles separados)

a) Tres pararrayos especiales tipo válvula para máquina rotativa.

- b) Tres condensadores monofásicos o un condensador tri  
fásico de 0.5 microfaradios por fase.
- c) Accesorios necesarios para montaje, conexión, etc.

Se ha previsto además paneles o cabinas que se utilizarán en determinados lugares del edificio para llevar a cabo las funciones de control y protección del alumbrado, distribución de potencia y la operación y comando de los equipos. Las funciones generales de las principales cabinas se da a continuación;

1.- Panel del control del regulador. Contendrá los ins  
trumentos de control e indicación, enumerados anteriormente, para la protección y control manual o automático del regulador y la tur  
bina.

2.- Cabina para el control automático de frecuencia, con los relés y suiches necesarios, luces de indicación, controles y dispositivos auxiliares para poner el equipo de control automático de frecuencia en servicio.

3)- Subestación unitaria, descrita anteriormente, consta de dos transformadores con los seccionadores, interruptores y controles necesarios para operar el equipo de servicio auxiliar de la central.

4.- Cabinas de válvulas mariposa. Con los suiches de control, luces de indicación y dispositivos de protección necesarios para la operación de las válvulas mariposa.

5.- Cabina de comunicación. Dispondrá del equipo neces-

sario para la operación del sistema telefónico.

6.- Diversos paneles con los interruptores necesarios y dispositivos asociados para distribuir corriente alterna para las distintas operaciones que se realizan en la central.

7.- Tablero principal de control. Contendrá el control principal, relés de protección y dispositivos de medida, de la operación de las unidades generadoras, equipo del servicio de la excitación y líneas de salida.

8)- Pupitre de control. Con los dispositivos de operación e indicación, conmutadores, botones de presión, luces de indicación requeridos para operar las unidades generadoras, equipo de servicio auxiliar de la central y dispositivos de conexión de la línea de transmisión.

Por ser estos dos últimos tableros los principales elementos para el control y comando para la operación de la central y constituir el objeto del presente acápite, se ha realizado su diseño como puede verse en las figuras correspondientes y en la siguiente descripción. (Fig. N° 3.7. )

#### TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL

Se ha escogido el tipo duplex o doble el que se define según las normas AINE como "una estructura con paneles frontal y posterior de metal o material aislante, separados en una distancia relativamente corta por un pasillo o pasadizo y unidos por ambos extremos. El acceso al pasadizo entre los paneles frontal y

posterior se hace a través de una puerta con bisagras".

El tablero de control previsto consta de cinco secciones o paneles tanto en su parte frontal como en la posterior - donde se han dispuesto los instrumentos de medida y relés de manera de facilitar la tarea del operador y personal de servicio en condiciones normales y de emergencia y evitar la posibilidad de errores y confusiones.

Estas secciones son: 3 para el control de los alternadores y sus excitadores, 1 para los transformadores de poder y circuitos de salida, 1 para la subestación para el servicio de la central.

En cada panel de alternador y excitador se instalarán los siguientes elementos:

a) Sistema de anunciadores de 18 posiciones:

- 1.- Sobretemperatura del cojinete guía superior  
( 38GU )
- 2.- Sobretemperatura del cojinete guía inferior  
( 38GL )
- 3.- Sobretemperatura del cojinete de empuje (38GT)
- 4.- Sobretemperatura del cojinete de la turbina  
( 38HU )
- 5.- Sobrevelocidad del generador ( 12 )
- 6.- Relés diferenciales del generador operados  
( 87G).

- 7.- Relés de sobre corriente-voltaje controlado operados ( 51/27 )
  - 8.- Relé de falta de excitación operado ( 40 )
  - 9.- Relés térmicos del generador operados (49G)
  - 10.- Relé de tierra del generador operado (64G)
  - 11.- Relé indicador de tierra del rotor operado ( 64F )
  - 12.- Relé de desequilibrio de fases operado (46)
  - 13.- Baja presión de aceite del regulador de velocidad ( 63 )
  - 14.- Relé del sistema de CO<sub>2</sub> del generador operado ( 63MD )
  - 15.- Fallas en la turbina
  - 16.- Interruptor de campo disparado (41)
  - 17-18.- Raymestec.
- 
- b) Lámpara roja piloto del anunciador
  - c) Lámpara blanca del anunciador indicadora de potencial
  - d) 3 amperímetros, escala 0 - 1200 amperios
  - e) 1 voltímetro, escala 0 - 3 KV.
  - f) 1 vatímetro, escala 0 - 5 MW
  - g) 1 varímetro, escala 3 - 0 - 3 MVAR
  - h) 1 amperímetro de la excitatriz principal, escala 0 - 300 Amp.

- i) 1 voltímetro de la excitatriz principal, escala 0 - 200 voltios
- j) 1 voltímetro de la excitatriz piloto, escala 1 - 100 voltios
- k) 1 indicador del factor de potencia, escala 0.1 - 1 - 0.8 inductiva, capacitiva respectivamente.
- l) 1 vatímetro registrador, escala 0 - 5 MW
- m) 1 kilovatihorímetro de dos elementos
- n) 1 indicador de temperatura
- o) 1 contador de horas de operación
- p) 1 indicador de velocidad del generador
- q) 1 indicador del nivel de velocidad del regulador
- r) 1 indicador de la posición de apertura
- s) 1 suiche para descargar manualmente el dispositivo de CO<sub>2</sub>
- t) Blocks de prueba de potencial
- u) Blocks de prueba de corriente.

#### EN EL PANEL POSTERIOR

- a) Interruptores térmicos de los circuitos de corriente continua
- b) 3 relés diferenciales para el generador (87G) y relé auxiliar (87GX)
- c) 3 relés térmicos (49) y relé auxiliar (49X)
- d) 3 relés de sobrecorriente voltaje controlado (51/27)
- e) 1 relé de tensión (59)
- f) 1 relé de falla a tierra del generador (64G) y relé auxiliar (64GX)

- g) 1 relé detector de tierra del rotor (64F)
- h) 1 relé de desequilibrio de fases del generador (46)
- i) 1 relé de falta de excitación (40)
- j) 1 relé de voltaje para el dispositivo 002 (800)

Los elementos a instalarse en el panel correspondiente a los transformadores de poder y circuitos de salida son los siguientes:

En el panel frontal:

- a) Anunciador de 12 posiciones:
  1. Relés diferenciales del transformador operado (87K)
  2. Relés de sobrecorriente del transformador operados (51)
  3. Relés de sobrecorriente de línea operados (151)
  4. Relés de sobrecorriente a tierra operados (1510)
  5. Sobretemperatura del transformador
  6. Repuesto.

Como en este panel se ubicarán los dispositivos de control de los dos transformadores de poder provistos, las posiciones del anunciador enumeradas serán para cada transformador y circuito de salida a igual que los demás elementos.

- b) Lámpara roja piloto del anunciador
- c) Lámpara blanca del anunciador indicadora de potencial
- d) 3 amperímetros, escala 0 - 2.000 amperios
- e) 1 voltímetro, escala 0 - 30 KV.

- f) 1 vatímetro, escala 0 - 6 KW
- g) 1 varímetro, escala 3 - 0 - 3 MVAR
- h) Bloques de prueba de potencial
- i) Bloques de prueba de corriente.

En el panel posterior:

- a) Interruptores térmicos de los circuitos de corriente continua
- b) 3 relés diferenciales para cada transformador de poder (87KQ) y relé auxiliar correspondiente (87KX)
- c) 3 relés de sobre corriente para cada transformador (51)
- d) 3 relés de sobre corriente para cada circuito de salida (151)
- e) 1 relé de sobre corriente a tierra para cada circuito de salida (151G)

El panel para el equipo auxiliar de la central estará equipado con los siguientes elementos:

En el panel frontal:

- a) Anunciador con las siguientes posiciones para cada transformador:
  - 1. Falla en el transformador de servicio
  - 2. Relé de tierra del sistema de corriente continua operado (64B)
  - 3. Repuestos.

- b) 3 amperímetros para cada transformador, escala 0-150 amperios
- e) 1 voltímetro para cada transformador, escala 0 - 600 voltios
- d) 1 amperímetro para el generador de emergencia escala 0 - 100 Amp.
- e) 1 voltímetro para el generador de emergencia, escala 0 - 600 voltios
- f) 1 amperímetro para el sistema de corriente continua, escala 0 - 100 amperios.
- g) 1 voltímetro para el sistema de corriente continua , escala 0 - 150 voltios
- h) Bloques de prueba de potencial
- i) Bloques de prueba de corriente

En el panel posterior:

- a) Interruptores térmicos para los circuitos de corriente continua
- b) 1 relé de tierra (64B), para detectar fallas a tierra del sistema de corriente continua. Las características de este relé serán: de corriente continua, tipo D'Arsenval, voltaje nominal 125 voltios, amplitud 0.75 - 0 0.75 miliamperios.
- c) 1 relé de baja tensión para cada transformador ( 27 81 ) ( 2752 )
- d) 1 relé de baja tensión para el control automático de frecuencia (27 10)

Se instalarán en estos paneles cualquier otro dispo

sitivo que sea necesario para el servicio de la central, por ejemplo indicador de nivel de agua del reservorio, etc.

#### PANEL DE SINCRONIZACION

Adosado a un lado del tablero principal de control irá el panel de sincronización, será girable en ambas direcciones para lo cual se proveerá de los accesorios necesarios. Sobre la parte frontal llevará los siguientes instrumentos:

- a) 2 frecuencímetros, escala 55 - 65 ciclos por segundo
- b) 2 voltímetros, escala 0 - 2.5 KV.
- c) 1 sincronoscopio
- d) lámparas de sincronización.

#### PUPITRE DE CONTROL.

En la central eléctrica, las turbinas, generadores, barras, transformadores e instalación de consumo propio forman una unidad de servicio. Sus funciones están concatenadas entre sí de tal manera que las averías de uno de los elementos pueda dar lugar a que falle todo el sistema. Por esta razón es evidente la necesidad de crear para toda la central un puesto de mando desde el cual se tenga una visión completa del estado de servicio de las respectivas partes de la instalación. Desde aquí deben accionarse todas las impulsiones y órganos de ajuste con el fin de que en el caso de avería, el personal de servicio intervenga oportunamente y evitar fallas mayores; además, desde el puesto de mando se podrá poner en marcha y parar la instalación, pues precisamente en estas maniobras

se producen cambios de estado en los pertinentes grupos, que requieren una atención especial por parte del personal. Por ello se ha previsto un pupitre de control

Las normas ARIE definen al pupitre de control como "un cuadro de distribución en posición horizontal o ligeramente inclinada para montar los dispositivos de control, lámparas indicadoras e instrumentos de conmutación pudiendo comprender, o no, paneles verticales para los instrumentos".

El pupitre de control previsto será simple, ligeramente inclinado y constará de cinco paneles que irán colocados en la sala de control y frente al tablero principal. Tres de los paneles corresponderán a los generadores, 1 para los transformadores de poder y circuitos de salida y 1 para la subestación para el servicio de la central.

Cada panel constará con una instalación de barras de conexión en miniatura, copia fiel de los circuitos de potencia, para facilitar la operación e indicar en miniatura las conexiones de las barras y de los circuitos maniobrados por los diferentes mandos.

En el panel de alternadores se dispondrá los siguientes elementos:

1. Sistema de barras colectoras modelo
2. Botones de presión para pruebas y reposición del anunciador y para silenciar la bocina del anunciador.
3. Interruptores desconectores modelo (operables).

4. Interruptor de sincronización del tipo de llave
5. Un conmutador de voltímetro que permita leer el voltaje entre fases del generador.
6. Interruptor de control del selector operador de frecuencia automática. Tendrá tres posiciones "manual" "prueba" y "automático".
7. Interruptor de control para el sistema de CO2 de tres posiciones: "en funcionamiento" (ON), "fuera de funcionamiento" (OF) y "prueba", y 3 lámparas: roja, amarilla y verde, respectivamente.
8. Interruptor de control para el rebátado de ajuste de voltaje, actuando sobre un motor reversible de corriente continua 125 voltios localizado en el panel para el control de la excitatriz, con lámparas ándicadoras verde y azul que indiquen respectivamente bajada de voltaje y elevación de voltaje.
9. Interruptor de control, del tipo del retorno por resorte, con lámparas indicadoras roja, blanca y verde, para ajuste del rebátado de campo de la excitatriz principal, actuando sobre un motor reversible de 125 voltios corriente continua. La lámpara roja índicará el límite superior, la blanca velocidad sin carga y la verde el límite inferior.
10. Interruptor de control, del tipo de retorno por resorte, con lámparas indicadoras similares al anterior, para ajuste del rebátado de campo de la excitatriz piloto actuando sobre un motor reversible de corriente continua de 125 voltios.

11. Interruptor desconectador del regulador de voltaje, del tipo de retorno por resorte. Tendrá tres posiciones: "desconectado", "prueba" y "conectado".
12. Un interruptor selector de temperatura para el indicador de temperatura con 12 posiciones de indicación, una posición de "prueba" y una de "abierto".
13. Interruptor de control del disyuntor del generador, del tipo de retorno por resorte, con lámparas indicadoras roja en la posición cerrado y verde en la posición abierto.
14. Un interruptor de control, del tipo de retorno por resorte, con lámparas indicadoras, roja y verde para el interruptor del campo.
15. Interruptor de control, del tipo de retorno por resorte, para el ajuste de la posición superior de apertura de la turbina, actuando sobre un motor ubicado en el regulador.
16. Interruptor de control, del tipo de retorno por resorte, para el ajuste del nivel de velocidad actuando sobre un motor reversible de corriente continua de 125 V. situado en el regulador de velocidad.
17. Un interruptor de control, del tipo de retorno por resorte, con lámparas indicadoras roja y verde, para abrir o cerrar la válvula mariposa, actuando sobre un motor reversible de corriente continua 125

- voltios situada en la válvula mariposa. La lámpara roja indicará la posición completamente cerrada y la verde la posición completamente abierta.
18. Lámparas indicadoras para indicar la posición manual o automática de la turbina. Serán para corriente continua de 125 V.
  19. Lámparas de indicación para señalar la posición automática o manual del control del freno del generador, similares a las del ítem anterior.
  20. Símbolo del generador iluminado
  21. Placas de identificación de cada dispositivo.

En el panel correspondiente a los transformadores de poder y circuitos de salida irán los siguientes elementos:

1. Interruptores desconectadores modelo (operable)
2. Botones de presión para pruebas y reposición del amnunciador y para silenciar la alarma del mismo.
3. Conmutador de voltímetro que permita leer el voltaje entre fases.
4. Interruptor de control para el interruptor aéreo del primario de los transformadores.
5. Interruptor de control para el interruptor en aceite de cada circuito de salida.
6. Interruptor de control para el interruptor en aceite para el seccionamiento de las barras de alta tensión
7. Símbolo de los transformadores
8. Símbolos de las líneas iluminadas

**9. Placas de identificación de cada dispositivo.**

Los interruptores serán del tipo de retorno por resorte, y tendrán lámparas de señalización roja y verde para indicar la posición cerrado o abierto respectivamente.

En el tablero correspondiente al control del equipo para el servicio auxiliar de la central se dispondrá:

1. Interruptores desconectadores modelo (operables)
2. Los botones correspondientes para operar el anunciador.
3. Conmutador de voltímetro que permita la lectura del voltaje en las tres fases.
4. Interruptor de control del interruptor del suministro del servicio de la central.
5. Interruptor selector para la transferencia del servicio de la central.
6. Interruptor de control para el interruptor de enlace del servicio de la central.
7. Interruptor de control del interruptor del grupo mejor generador de emergencia.
8. Símbolo de los transformadores.
9. Placas de identificación de los dispositivos.

Los interruptores serán del tipo de retorno por resorte y poseerán lámparas indicadoras roja y verde para la indicación de las posiciones cerrado e abierto.

## DATOS GENERALES DE LOS TABLEROS DE CONTROL

El material de los tableros será chapa de acero, de un espesor no menor de 2.5 mm. Los armazones de los cuadros serán de perfiles robustos y deberán sujetarse sólidamente a la obra de fábrica con el fin de evitar toda clase de vibraciones. Los tableros se pintarán tanto interior como exteriormente de un color gris claro mate (gris eléctrico).

Las conexiones a los equipos serán por medio de cables subterráneos que correrán a través de canales situadas bajo el nivel del piso y que saldrán y entrarán, a igual que los cables de control, por la parte posterior y por abajo de los tableros.

El alumbrado se hará con conductor de cobre macizo ligeramente templado y estañado, con aislamiento termoplástico para 600 voltios con revestimiento de asbesto resistente al fuego, calor y humedad y cubierta resistente a la humedad e incombustible.

Los conductores llegarán y saldrán de blocks de terminales del tipo moldeado para 600 voltios con barras aisladoras entre terminales y placas de identificación removibles. Los blocks de terminales con llegada de secundarios de transformadores de corriente llevarán dispositivos que permitan corte circuitarios.

Cada circuito de la instalación se marcará con la designación del esquema correspondiente. Esta denominación se gravará en tipo de imprenta sea con tinta indeleble o en alto relieve en un lado de las marcas de identificación removibles de cada block

de terminales.

Cada panel dispondrá de una barra de puesta a tierra, a la que se conectarán todos los equipos que la requieran, excepto los instrumentos y relés que para igual finalidad van conectados al panel de acero. Una barra adecuada de cobre unirá además los paneles de acero entre sí, conectándoles a tierra.

#### IV - D - CONEXION A TIERRA DEL EQUIPO

La puesta a tierra se hace necesario con el objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificio y superficie del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y al mismo tiempo permitir el paso a tierra de las corrientes de avría y descarga. Su efectividad asegura la continuidad del servisio, la protección del equipo y la seguridad del personal encargado de su servicio y conservación.

Para conseguir tales finalidades la puesta a tierra debe estar prevista para los siguientes fines específicos:

- a) Habilitar la conexión a tierra del sistema con neutro a tierra.
- b) Proporcionar un punto de descarga para los pararayos.
- c) Estabilizar los potenciales de los circuitos con regpecto a tierra y permitir se cierre el circuito de los relés encargados de la eliminación de tierras.

- d) Asegurar que las partes sin corrientes, tales como las armazones de los equipos, estén siempre al potencial de tierra aún en caso de fallar el aislamiento.
  
- e) Proporcionar un medio eficaz de descargar los equipos y alimentadores antes de proceder en ellos a trabajos de mantenimiento.

Para evitar diferencias de potencial elevadas, debidas a caídas de tensión que sufren las corrientes que fluyen a través del suelo, el valor de las impedancias de las tomas de tierra debe ser uniforme y lo más reducido posible, por ejemplo 5 ohmios, por tanto, es necesario el uso de buenos contactos, tanto para unir los aparatos a los conductores de tierra como éstos a los electrodos; de igual manera, los conductores y electrodos de tierra deben tener alta conductividad y dimensiones convenientes.

Pero lo que más influye en el valor de la impedancia del circuito a tierra es la elevada resistividad del suelo que a su vez depende del tipo de terreno, grado de humedad, salinidad, temperatura, etc.

La tabla siguiente de valores típicos de resistividad del terreno que se aconseja tomarlos cuando no se han hecho mediciones:

NATURALEZA DEL SUELO	RESISTIVIDAD MEDIA
----------------------	--------------------

Suelo orgánico húmedo	10
-----------------------	----

Suele humedecido	$10^2$
Suele seco	$10^3$
Lecho rocoso	$10^4$

El sistema a tierra puede estar constituido de placas de toma de tierra, emparrillados de hilos soldados o mallas con conductores y varillas o tubos hincados. En vista de la calidad del terreno que se dispone en el sitio de la central (arenoso seco) y la capacidad de la instalación, creo conveniente utilizar el sistema de mallas. Este sistema comprende las tres partes siguientes:

- Circuitos de conductores de unión
- Electrodo o toma de tierra
- Tierra propiamente dicha.

El planeamiento mismo del sistema de tierra, estará de acuerdo con la construcción del edificio de la central, pero básicamente deberá estar formado por tres mallas todas ellas a base de cobre trenzado desnudo. Estas mallas son, la de la estación de elevación, la de las salas de máquinas y control y la del canal de descarga, todas ellas interconectadas entre sí.

Según catálogos de la Burndy podemos disponer de cables de acuerdo a la capacidad de conducción de las corrientes de este circuito, como muestra la siguiente tabla:

CALIBRE DEL CABLE

CORRIENTES

1/0

menor de 2.000 Amp.

2/0	2.000 a 4.000 Amp.
250 MCM	4.000 a 6.000 Amp.
350 MCM	6.000 a 10.000 Amp.
500 MCM	10.000 a 15.000 Amp.
750 MCM	15.000 a 20.000 Amp.
1.000 MCM	20.000 a 30.000 Amp.

De acuerdo a las corrientes de cierto circuito calculadas anteriormente, corresponde utilizar, para formar las ma-las, un cable de sección correspondiente a 350 MCM.

En lo que se refiere a las varillas de tierra podemos disponer, según catálogos, de barras de copperweld de 1/2" - 5/8" - 3/4" de diámetro y de 5 a 10 pies de longitud. Para estar de acuerdo con las normas que aconsejan, para los casos como el presente, utilizar barras no menores de 16 mm. de diámetro exterior y 2 metros de longitud cre conveniente utilizar varillas de copperweld de 5/8" de diámetro y 8 pies de longitud que se suministrarán con los aditamentos de conexión necesarios que aseguren la eficacia del contacto.

Estas barras se hincarán alrededor del perímetro de la central complementadas con otras varillas adicionales repartidas por la superficie de la estación en los puntos de conexión de los pararrayes y demás elementos importantes del equipo.

En cuanto a la profundidad que serán enterradas las varillas corresponde a la longitud de éstas. Se ha experimentado que pasado los 3 metros no se consigue disminuir mayormente la re-

sistencia del terreno. La separación entre barras será de 2 metros ya que a partir de esta distancia el momento de resistencia es de escaso valor.

A este sistema general de tierra debe ser conectado el equipo de la central, tanto aquellos dispositivos cuyos circuitos se prevé puedan sufrir el pase de corrientes fuertes como pararrayos, neutros de generadores y transformadores, etc. que se conectarán directamente a los electrodos con el fin de que dichas corrientes pasen a tierra lo más directamente posible, como aquellas partes de la instalación normalmente sin tensión o con tensiones no peligrosas, como circuitos secundarios de transformadores de corriente, armaduras metálicas, tanques de transformadores e interruptores, soportes de aisladores, volantes y empujaduras de los aparatos de maniobra, paneles de cuadros, armazones de motores, armaduras de hierro del edificio, escaleras y barandillas metálicas, cercas e vallas, etc. de manera que una persona que se acerque a ellos no resulte afectada en la posibilidad de que alguno de los conductores con tensión se encuentre unido o se descargue sobre cualquiera de las partes mencionadas.

Estas conexiones deberán hacerse con cable de cobre recubierto desnudo de sección adecuada para cada conexión, que en ningún caso será mayor que 350 MCM ni menor que el número 2 AWG, y llevar en lo posible protección mecánica. De esta manera se logrará obtener una resistencia pequeña en el circuito a tierra y por tanto un perfecto funcionamiento del sistema y una completa seguridad del personal y del público, objetos primordiales de un sistema de puesta a tierra.

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

DR JF BOLTON.- Costos y Tarifas en el Suministro de Electricidad.  
Buenos Aires 1.944.

BUCHHOLD - HAPFOLDT.- Centrales y Redes Eléctricas. Barcelona  
1.959.

ISAAC F. KINARD.- Medidas Eléctricas y sus Aplicaciones. Bilbao  
1.958.

CHESTER L. DAVES.- Tratado de Electricidad. Barcelona 1.957.

COYNE.- Electricidad Práctica Aplicada. Tomo II. Méjico 1.950.

GAUDENCIO ZOPPETTI J.- Estaciones Transformadoras y de Distribu -  
ción. Barcelona 1.964.

GIUSEPE CASTELLFRANCHI.- Instalaciones Eléctricas. Barcelona  
1.962.

FENDER DEL MAR.- Manual del Ingeniero Electricista. Tomo I. Bar  
celona 1.962.

A. H. KNOWLTON.- Manual Standar del Ingeniero Electricista. Bar-  
celona 1.962.

L. QUANTE.- Motores Hidráulicos. Barcelona 1.953.

MARCOS GANDARA H.- Motores Hidráulicos. Quito 1.948.

A.S.G. Manual para Instalaciones Eléctricas. Essen 1.956

WESTINGHOUSE E. G. Applied Protective Relaying. Newark 1.958

#### CATALOGOS Y PUBLICACIONES

ALLIS CHALMERS : Instrument Transformer

Horizontal Drawout - metal Clad Switchgear  
switchboard

BROWN BOVERI : Quick - acting Regulators

Alternadores Brown Boveri para Centrales Hidro -  
léctricas.

Dispositivos para la Protección de Alternadores.

A. E. G. : Alternator Protection

Hydro - Electric Plants

ABG Al Oia - Revista N° 2 - 1.963.

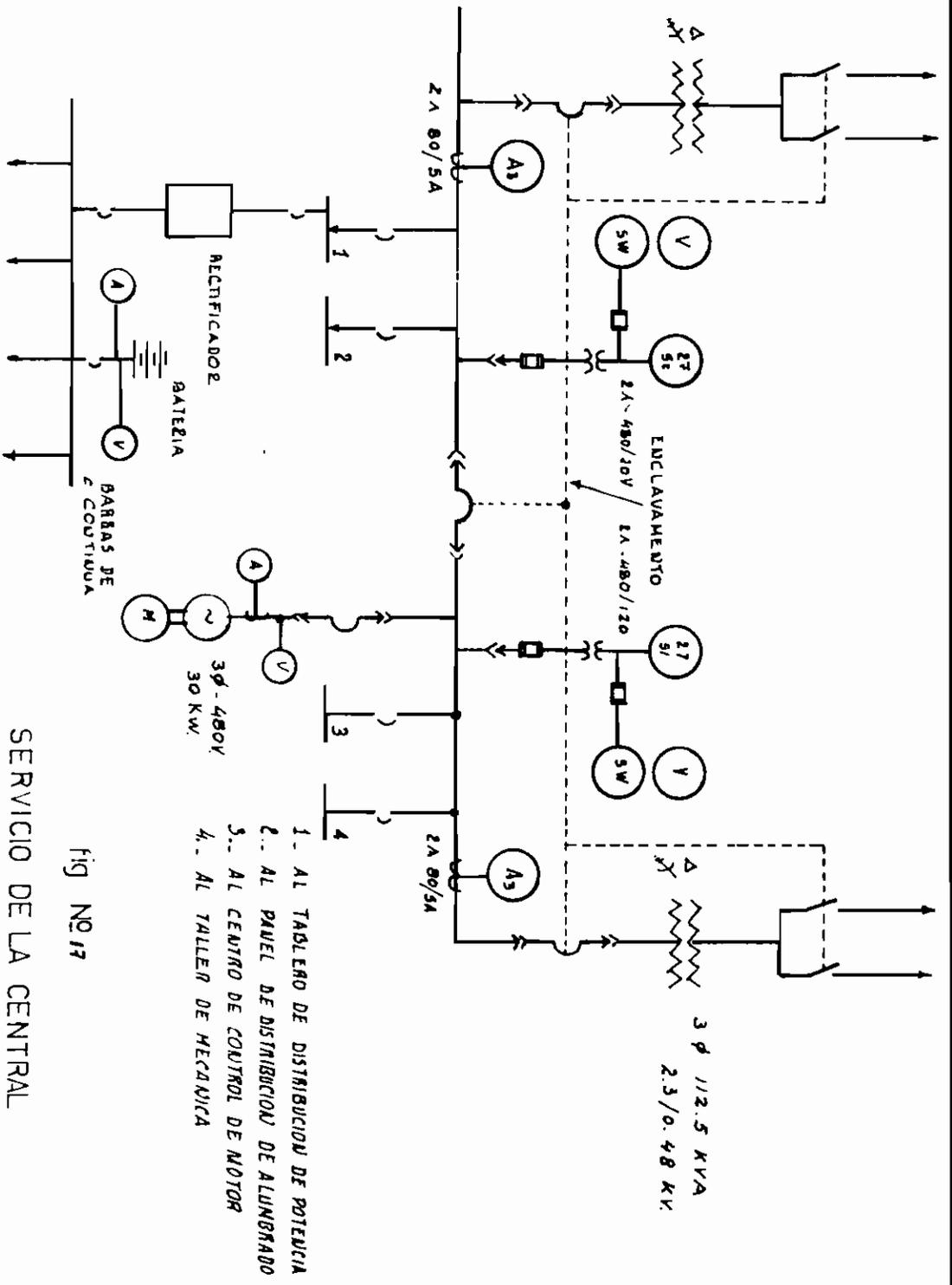
WESTINGHOUSE E. G. Relés. Transformadores de Instrumentos

BURNOY. Catálogo N° 50

E. H. QUITO S. A. Cumbaya Power Plant (second Stage) Specification  
for Control Board.

APUNTES DE CLASE DE: Ing. Vicente Jácome.

Ing. Raul Recalde.



- 1.- AL TABLERO DE DISTRIBUCION DE POTENCIA
- 2.- AL PAUCEL DE DISTRIBUCION DE ALUMBRADO
- 3.- AL CENTRO DE CONTROL DE MOTOR
- 4.- AL TALLER DE MECANICA

fig N° 17  
SERVICIO DE LA CENTRAL