

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

"CRITERIOS PARA LA SELECCION DE
INTERRUPTORES DE ALTA
TENSION DE CORRIENTE ALTERNA"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de
INGENIERO ELECTRICO

PRESENTADA POR:

PABLO ENRIQUE FIGUEROA CARVAJAL

GUAYAQUIL - ECUADOR

1982

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. POT-021

AGRADECIMIENTO

AL ING. ALBERTO HANZE C.
DIRECTOR DE TESIS, POR SU
AYUDA Y COLABORACION PARA
LA REALIZACION DE ESTE -
TRABAJO.

DEDICATORIA

ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. 107-021

A MI ADORADA MADRE QUE
CON AMOR Y ABNEGACION
HA SABIDO ENSEÑARME EL
CAMINO QUE ME HA HECHO
EL HOMBRE QUE SOY AHORA

A MIS QUERIDOS HERMANOS
QUE CON SU COMPRESION
Y CARIÑO ME ALENTARON
DURANTE MIS ESTUDIOS.

ESUELA SUPERIOR MILITARIA DEL ITORRAL
Ceto de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

N.º POT-021



.....
ING. ALBERTO HANZE C.
DIRECTOR DE TESIS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. 207-021

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).


.....
PABLO ENRIQUE FIGUEROA CARVAJAL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. POT-021

R E S U M E N

Con el presente estudio se ha pretendido dar un aporte más para la consecución del establecimiento de criterios que sirvan al sector eléctrico en general, con el propósito de procurar una adecuada selección de los Interruptores de Potencia de Alta Tensión de Corriente Alterna, ajustada a los aspectos técnicos y económicos que justifiquen la adquisición de tales equipos.

I N D I C E G E N E R A L

	PAG.
RESUMEN	I
INDICE DE FIGURAS	II
I GENERALIDADES	
1.1 Introducción	1
1.2 Los interruptores de alta tensión de corriente alterna.	2
1.3 El arco eléctrico	55
1.3.1 Extinción del arco en corriente alterna.	62
1.3.2 Condiciones de extinción del arco eléctrico.	63
1.4 Objetivos y Limitaciones del trabajo propuesto.	75
II CORRIENTES DE FALLA	
2.1 Parámetros de las máquinas eléctricas	77
2.2 Análisis de las corrientes de fallas	86
2.3 Componentes de las corrientes de fallas	88
2.4 Componente unidireccional	115
2.5 Componente alterna	115
III VALORES DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	
TRANSIENTES EN BASE A MEDIDAS OSCILOGRAMICAS	
3.1 Valores efectivos usados en la selección de interruptores de potencia de alta tensión de corriente alterna.	117

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 Dpto. de Ingeniería Eléctrica
 BIBLIOTECA
 Inv. No. POT-021

3.2	Clasificación de las ondas de corriente	119
3.2.1.	Valor efectivo de una onda sinusoidal simétrica en un instante dado.	119
3.2.2.	Valor efectivo de una onda sinusoidal asimétrica en un instante dado.	121
3.3.	Métodos gráficos para determinar el valor efectivo de una onda sinusoidal asimétrica.	124
3.4.	Medida del valor RMS de una corriente durante un cortocircuito de algunos ciclos de duración.	129
3.5.	Voltaje de recuperación a frecuencia normal.	131
IV DEFENICIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES DE ALTA TENSION DE CORRIENTE ALTERNA		
4.1.	Alcance.	136
4.2.	Condiciones de trabajo.	136
4.2.1.	Condiciones usuales de trabajo	136
4.2.2.	Condiciones no usuales de trabajo	137
4.2.3.	Condiciones que afecta la construcción	138
4.3.	Definiciones Generales	139
4.3.1.	Interruptor o disyuntor.	139
4.3.2.	Interruptor de aceite	140
4.3.3.	Interruptor de aire	140
4.3.4.	Interruptor de potencia	140
4.3.5.	Voltaje de operación	141
4.3.6.	Voltaje de recuperación	141

	PAG.
4.4 Definiciones, construcción	145
4.4.1. Rompearco	145
4.4.2. "Switch" auxiliar	145
4.4.3. Separación de contactos	145
4.4.4. Bujes ("Bushings")	145
4.4.5. Mecanismo del interruptor o disyuntor	146
4.4.6. Bobina de cierre (de un disyuntor)	147
4.4.7. Relé de cierre	147
4.4.8. Partes conductoras	147
4.4.9. Contactos	147
4.4.10 Superficies de contacto	148
4.4.11 Partes conectadas a tierra	148
4.4.12 Enclavamiento	148
4.4.13 Partes vivas	148
4.4.14 Contactos principales	149
4.4.15 Bobina de disparo (de un disyuntor)	149
4.5 Clasificación de términos	150
4.5.1. Disparo automático	150
4.5.2. Tiempo definido	152
4.5.3. Instantáneo	153
4.5.4. Tiempo inverso	153
4.5.5. Disparo no automático	153
4.5.6. Operación	153
4.5.7. Tiempo de operación	155
4.5.8. Tiro o disparo	157

	PAG.	
4.5.9	Disparo libre	158
4.6.	Regímenes	159
4.6.1.	Régimen de un equipo	159
4.6.2.	Voltaje nominal	160
4.6.3.	Regímenes de voltaje normalizados	161
4.6.4.	Frecuencia normal	161
4.6.5.	Regímenes de frecuencia normalizados	161
4.6.6.	Regímenes para 25 ciclos	162
4.6.7.	Corriente permanente nominal	162
4.6.8.	Corriente de tiempo corto nominal	162
4.6.9.	Corriente de trabajo nominal	164
4.6.10.	Corriente de conexión con enganche nominal	164
4.6.11.	Corriente de interrupción nominal (capacidad de interrupción nominal)	165
4.6.12.	Máxima corriente de interrupción nominal	166
4.6.13.	MVA de interrupción nominales	166
4.6.14.	Tiempo de interrupción nominal	167
4.6.15.	Régimen de interrupción normalizado	168
4.6.16.	Servicio de operación (Ciclo de servicio)	168
4.6.17.	Operación unitaria.	168
4.6.18.	Servicio de operación normalizado (ciclo de ser- vicio normalizado)	168
4.6.19.	Servicio de operación para trabajo de reconexión (ciclo de servicio para trabajo de reconexión)	169

ESQUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA

Inv. No. POT-021

	PAG.	
4.6.20	Performance de Interrupción	169
4.6.21	Voltaje de Control Nominal	170
4.6.22	Voltajes de Control Nominales norma lizados y sus rangos.	170
4.7.	Calentamiento	170
4.7.1	Limitaciones de temperatura	170
4.7.2	Condiciones y métodos para realizar pruebas de temperatura	173
4.8.	Pruebas de dieléctrico	176
4.8.1	Generalidades	176
4.8.2	Voltaje resistido	177
4.8.3	Voltajes de pruebas normalizados	177
4.8.4	Duración de la aplicación del volta je de prueba de baja frecuencia	177
4.8.5	Condición del interruptor o disyun- tor que va a probarse	178
4.8.6	Pruebas en alta tensión	178
4.8.7	Temperaturas a las cuales las prue- bas de alta tensión deben realizarse	178
4.8.8	Puntos de aplicación del voltaje de prueba	179
4.8.9	Frecuencia y forma de onda del vol- taje de prueba	180
4.8.10	Medición del voltaje de prueba	180
4.8.11	Prueba de dieléctricos de los bujes (Bushings)	181

4.8.12	Datos de placa	181
4.8.13	Datos de placa de los disyuntores	181
V	EJEMPLO DE APLICACION DE COMO SELECCIONAR UN DISYUNTOR DE ALTA TENSION DE CORRIENTE ALTERNA	183
5.1.	Regímenes del disyuntor	183
5.2.	Consideraciones para la selección	184
5.2.1.	Voltaje del circuito	186
5.2.2.	Frecuencia del Sistema	186
5.2.3.	Corriente de cortocircuito	186
5.2.4.	Corriente de trabajo y de conexión con enganche nominales	191
5.2.5.	Corriente continua o permanente	191
5.3.	Condiciones de servicio	191
5.3.1.	Condiciones usuales de servicio	191
5.3.2.	Condiciones no usuales de servicio	192
5.3.3.	Efecto de la temperatura	192
5.3.4.	Efecto de la altura	192
5.3.5.	Otras Condiciones no usuales	192
5.4.	Accesorios de montaje del interruptor	193
5.5.	Referencias	196
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197
ANEXOS		
BIBLIOGRAFIA		

" CRITERIOS PARA LA SELECCION DE INTERRUPTO
RES DE ALTA TENSION DE CORRIENTE
ALTERNA "

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

El suministro de energía eléctrica se efectúa en nuestro país con corriente alterna de 60 Hz de frecuencia y varios niveles de tensión. El uso de otros tipos de corrientes y de frecuencia aún no se han implantado en el Ecuador.

Niveles de tensión como 230 KV, 138 KV y 69 KV, han sido establecidos en el país dentro de lo que se ha denominado el "SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO".

La ejecución de este plan nacional involucra la adquisición de grandes cantidades de equipos eléctricos que deben ser cuidadosamente escogidos por parte de los Profesionales Técnicos que tengan que hacerlo.

Dentro de estos equipos van a estar incluidos los

" Interruptores de Alta Tensión de Corriente Alterna " o " Disyuntores " que deberán ser seleccionados en forma apropiada tanto técnica como económica.

En nuestro país aún no se han elaborado Normas para la Selección de Interruptores de alta tensión de circuito alterna por lo que el desarrollo del presente tema de Tesis se ha considerado con la finalidad de dejar establecidos los criterios que deberán ser considerados durante la Selección de los disyuntores y que los mismos sirvan para establecer las normas que rigen dicha selección.

1.2. LOS INTERRUPTORES DE ALTA TENSION DE CORRIENTE ALTERNA

El interruptor es un aparato destinado a cortar o establecer la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga.

La corriente que tiene que interrumpir el interruptor puede ser la corriente normal del circuito o una corriente que puede ser mucho mayor debida a una situación anormal producida por un corto circuito, o -

una corriente mucho menor que la normal, por ejemplo al desconectar una línea de transmisión o un transformador en vacío.

Podemos clasificar los interruptores en tres grupos principales de acuerdo con el procedimiento de extinción del arco:

1^o.- Interruptores en los que el arco se alarga y se enfría aumentando grandemente su resistencia, lo que reduce la corriente hasta que el arco se extingue.

En este tipo la corriente que se va a interrumpir se utiliza para crear un campo magnético que impulsa el arco contra un laberinto de celdas de material cerámico donde el arco se alarga y se enfría hasta apagarse. (Fig. # 1).

2^o.- Interruptores en los que se aprovecha la energía desprendida por el arco mismo para apagarlo.

Este tipo corresponde a los interruptores en

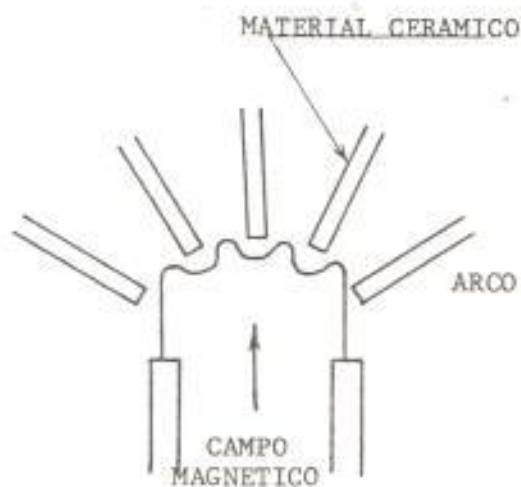


Fig. 1.- Representación esquemática de un interruptor de gran resistencia de arco.

aceite. Al realizar la separación de los contactos en un baño de aceite en lugar de en aire a la presión atmosférica, la capacidad interuptiva se aumenta grandemente debido a dos razones principales: primero, la rigidez dieléctrica del aceite es mayor que la del aire a la presión atmosférica; segundo, el arco descompone el aceite, generando hidrógeno y este gas es un medio refrigerante superior al aire.

En los interruptores en aceite, los contactos se rodean de un recipiente pequeño, la cámara de explosión, provista de algún orificio de salida. El hidrógeno desprendido por el arco y confinado en la cámara de explosión aumenta de presión, lo que aumenta la rigidez dieléctrica del gas; además el gas a presión que atraviesa el arco para salir por los orificios de la cámara de explosión enfría y apaga el arco. (Fig. # 2).

Con este tipo se alcanzan capacidades interruptivas de 10 millones de KVA y se han realizado para voltajes hasta de 345 KV.

3º.- Interruptores en los que se utiliza una energía exterior para soplar y apagar el arco.

Este tipo corresponde a los interruptores nemáticos de aire o de hexafluoruro de azufre a presión. El aire comprimido a una presión de 15 Kg/cm² o el hexafluoruro de azufre, sopla el arco generalmente circulando a lo largo del eje del arco, adelgazándolo primero e interrumpiéndolo. (Fig. # 3).

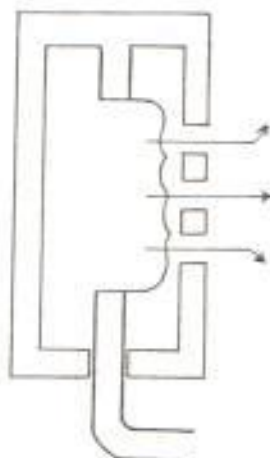


Fig. 2.- Representación esquemática de un interruptor en aceite.

Con este tipo se han alcanzado capacidades interruptivas de 25 millones de KVA en 500 KV.

Podemos citar además de estos tres tipos de uso muy extendido, un tipo de interruptor que está empezando a utilizarse industrialmente, en voltajes inferiores a 20 KV: el interruptor en vacío. Los contactos se separan en una cámara donde se ha hecho el vacío. De esta mane

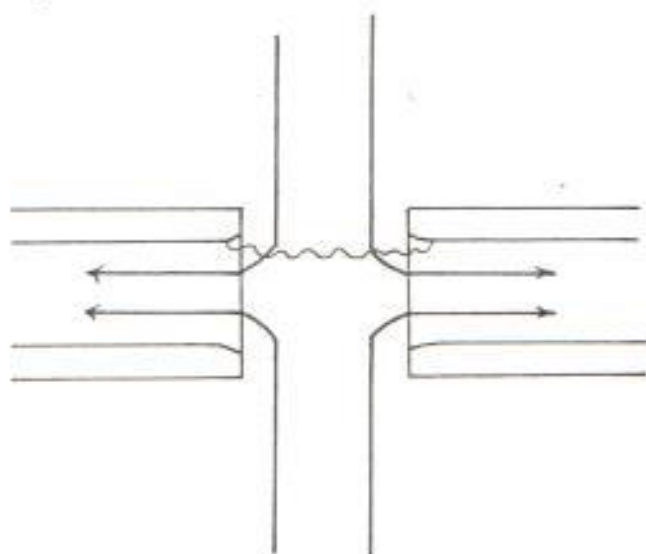


Fig. 3.- Representación esquemática de un interruptor neumático.

ra se trata de evitar el nacimiento del arco y aunque ésto no se logra totalmente, se disminuye mucho la duración del arco, la energía producida por el arco y la distancia que tienen que separarse los contactos.

Citemos por último lo que podría ser el interruptor ideal: un interruptor en que los contactos empezasen a separarse exáctamente en el momento en que la corriente pasa por cero y con una rapidez suficiente para evitar que pu-

diera producirse el arco.

1.2.1. DISYUNTORES EN BAÑO DE ACEITE

En estos disyuntores, el corte de la corriente se realiza en el interior de unos depósitos cerrados y llenos de aceite aislante, semejante al empleado para los transformadores. Para conocer el principio de funcionamiento de un disyuntor en baño de aceite, hemos preparado la representación esquemática de un disyuntor de esta clase, en la figura # 4. El conjunto del disyuntor se introduce en una cuba o depósito de aceite aislante; en la posición de la figura # 4, el interruptor está abierto y para cerrarlo basta maniobrar hacia abajo la palanca de accionamiento, tal como se indica en la figura. Los conductores bajo tensión se introducen en la cuba por medio de aisladores de paso y también deben aislarse cuidadosamente todas las piezas que no sean exclusivamente de paso de la corriente, tales como elementos de accionamiento y paredes metálicas del depósito de aceite; el conjunto metálico del disyuntor debe ponerse a tierra.

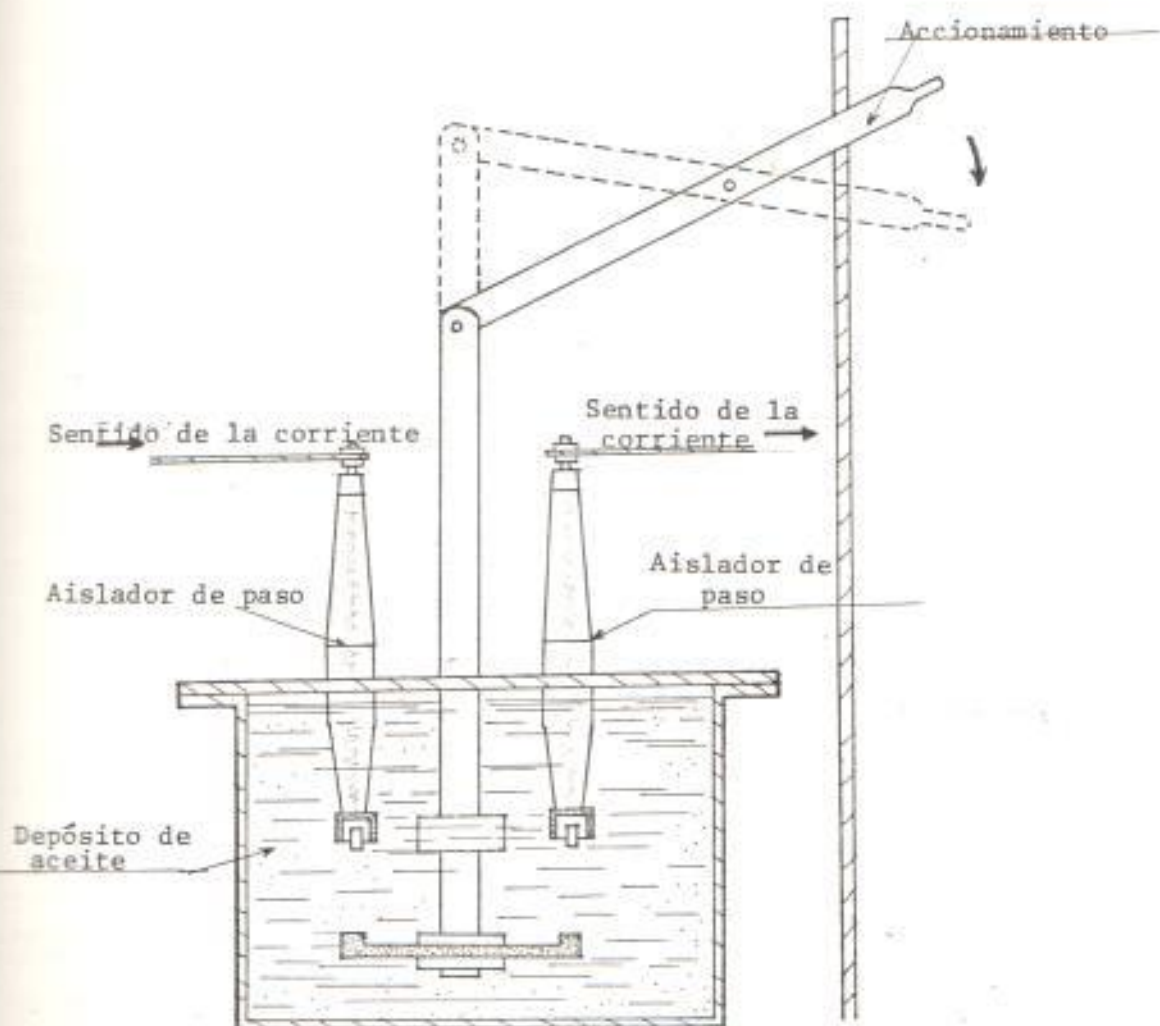


Fig. 4.- Representación muy simplificada de un disyuntor en baño de aceite.

El disyuntor representado en la figura # 4 es unipolar, o sea que solamente corta la corrien

te en una fase; pero pueden disponerse tantos dispositivos de desconexión como sean necesarios, semejantes al de la figura; y accionados por un dispositivo común a todos ellos (palanca, volante de accionamiento, etc...).

Naturalmente, el disyuntor representado en la figura # 4 es muy simplista y solamente servirá para que el lector se forme una primera idea de la disposición de un disyuntor en baño de aceite. En la práctica, estos disyuntores tienen aspecto constructivo diferente y son de más compleja constitución. A lo largo de este parágrafo iremos estudiando varios ejemplos de disyuntores en baño de aceite.

La cuba de aceite es, por lo general, de plancha de acero que, al principio fue rectangular y posteriormente cilíndrica. La cuba no está enteramente llena de aceite, sino que, entre el nivel del aceite y la parte inferior de la tapa, se deja cierto volumen de aire que actúa de amortiguador.

Veamos a continuación (figura # 5) el semi-

corte de un disyuntor automático en baño de aceite para tensiones nominales hasta 75 KV, corrientes nominales hasta 800 A y capacidad de ruptura de 1.500 MVA. En la figura se muestran los más importantes elementos constructivos de este disyuntor.

Los disyuntores normales son de doble ruptura, a base de disponer un puente o traviesa móvil entre dos contactos fijos por fase. Los contactos fijos se unen a las varillas de conducción de la corriente que, como hemos dicho, pasan por el interior de aisladores pasatapas, sujetos a la tapa de la cuba. La forma constructiva de los contactos es muy variada y cada firma constructora tiene sus variantes; los contactos fijos son del tipo denominado de tulipa, formado por varios segmentos de cobre sujetos elásticamente a una base de latón atornillada a la varilla de conducción; el puente conductor móvil dispone de dos vástagos de cobre electrolítico por fase, que actúan como contactos móviles, y se introducen en las tulipas fijas para cerrar el circuito. Otras veces se dispone también contactos longitudina -

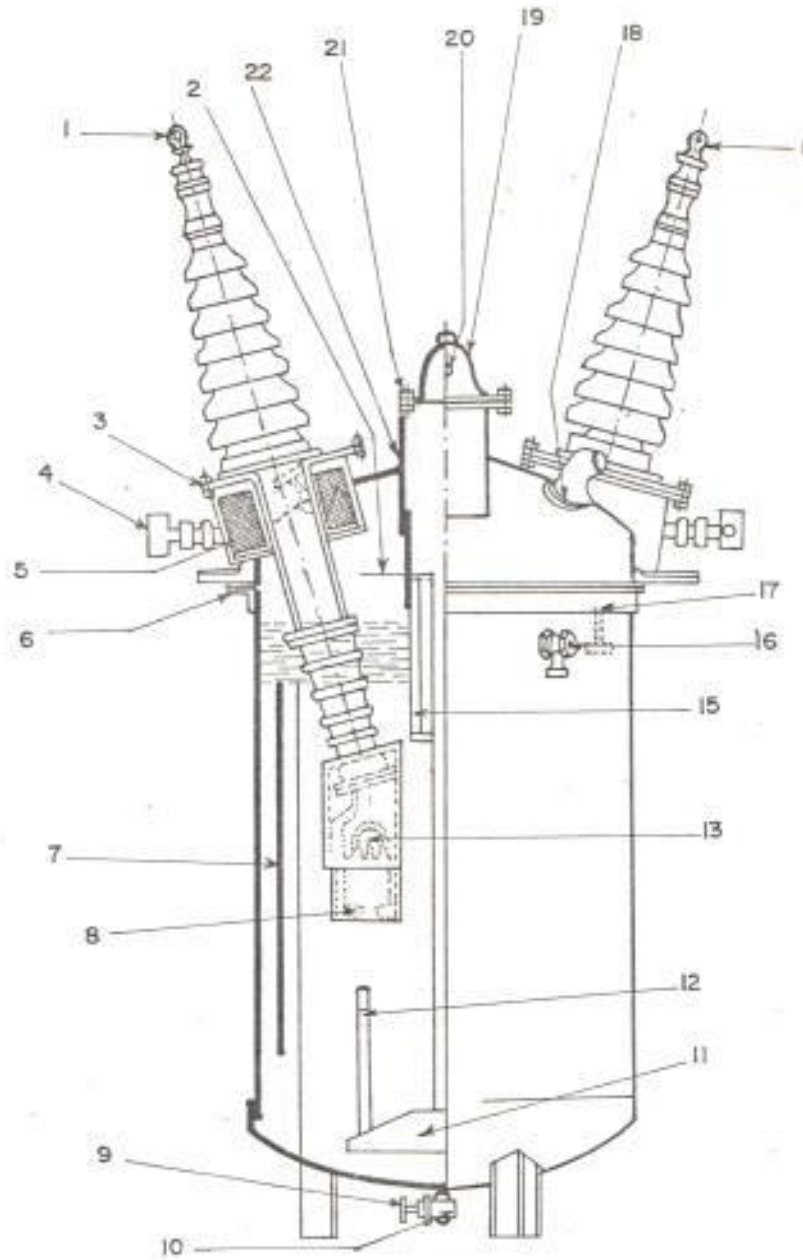


Fig. 5.- Semicorte de un disyuntor automático en baño de aceite: 1.- Tomas de corriente. 2.- Cámara de expansión. 3.- Junta estanca. 4.- Caja de paso de las conexiones de los transformadores de los pasatapas. 5.- Transforma

dor del pasatapas. 6.- Junta estanca. 7.- -
 Pantalla aislante. 8.- Cámara de extinción
 del arco. 9.- Grifo de vaciado. 10.- Grifo
 de bola para extracción de aceite. 11.- Trava
 viesa móvil. 12.- Contacto visual. 13.- Conta
 cto fijo elástico. 14.- Varilla de acciona
 miento del contacto móvil, de madera trata
 tada. 15.- Guía del vástago de contacto móvi
 vil. 16.- Grifo de llenado de aceite. 17.-
 Indicador de nivel de aceite. 18.- Membrana
 de seguridad. 19.- Tapa. 20.- Biela de acci
 onamiento del mecanismo. 21.- Junta estanca
 ca. 22.- Caja de accionamiento.

les, elásticos los fijos y rígidos los móviles.
 Casi todos los disyuntores en baño de aceite esta
 n provistos de un dispositivo para bajar la
 cuba. Con ello se facilita la inspección de
 los contactos y su limpieza y recambio cuando
 sea necesario, en el propio lugar donde está
 instalado el disyuntor. Hasta tensiones nominales
 de 35 KV y potencias de ruptura de 500 MVA,
 el disyuntor en baño de aceite se realiza en cuba
 única, como hemos visto hasta ahora. Para
 mayores tensiones de servicio (a partir de u

nos 35 KV) y mayores potencias de ruptura, se emplea generalmente una cuba por fase.

Cuando aparecieron estos disyuntores, la solución adoptada para aumentar su capacidad de ruptura y, también, su tensión de servicio, consistió en incrementar la distancia entre contactos, con el consiguiente aumento del volumen de la cuba. Se llegó a reglamentar, incluso, las distancias explosivas en el aire, en el aceite y la altura de éste sobre los contactos, para que un disyuntor pudiera ser utilizado a una tensión dada, y con una potencia de ruptura determinada.

Muchos constructores europeos, admitiendo estas bases como racionales, resolvieron, en parte, el problema del incremento de potencia de ruptura aumentando, casi proporcionalmente, el volumen de aceite y, por lo tanto, el de la cuba. Con un criterio diferente, los constructores americanos, incrementaron la potencia de ruptura sin aumentar exageradamente las distancias de ruptura, sino utilizando cubas y tapas más robustas, que pudieran resistir las elevadas presiones desarrolladas por la bolsa de gases.

La primitiva cuba rectangular se sustituyó por la cilíndrica, mecánicamente más resistente, y, con objeto de reducir los esfuerzos sobre la cuba así como de aumentar la velocidad de separación de los contactos, se pensó encerrar el arco en una pequeña cámara aislante muy resistente, con una abertura para dar paso al vástago móvil de contactos. Esta idea, aplicada por primera vez en los Estados Unidos, fue el punto de partida de los actuales disyuntores con cámaras de control del arco.

Resulta interesante destacar que éstas no fueron, en realidad, las razones del éxito que, desde hace bastantes años, tienen estas cámaras, sino que se ha debido a un fenómeno que, en un principio, pasó desapercibido a los primeros experimentadores y posteriormente se ha demostrado fecundo en relaciones que han permitido incrementar considerablemente la potencia de ruptura y, a la vez, reducir el volumen de aceite. En efecto, el arco formado en la cámara de explosión crea una bolsa de gases a elevadas presiones que, en el momento en que el contacto móvil abandona la cámara, salen por la abertura

citada anteriormente, a gran velocidad y arrastrando partículas de aceite fresco que se proyectan sobre el arco, enfriándolo, provocando su rápida desionización y, a la vez, contribuyen a aumentar la velocidad de regeneración dieléctrica. Con estos dispositivos, la ruptura libre en el aceite que antes se producía de una forma arbitraria, ha pasado a ser dirigida y controlada con toda exactitud.

Resumiendo, podemos clasificar los disyuntores en baño de aceite, en dos grandes grupos:

1. Disyuntores de ruptura libre.
2. Disyuntores con cámara de explosión.

Los disyuntores de ruptura libre solamente pueden utilizarse para interrumpir circuitos con potencias de ruptura hasta 400 MVA. En estos disyuntores, el arco salta entre los contactos apagachispas sumergidos en aceite y la desionización del canal del arco se produce de forma aleatoria, relacionada solamente con la separación entre los contactos y la presión que sobre la bolsa de gases crea la masa de aceite y la propia sobrepresión de los gases formados en la

ruptura.

Según la sobrepresión de los gases producidos durante la ruptura, se distinguen dos tipos de disyuntores: los de baja presión, con gran cámara de aire y los de alta presión con una cámara de aire relativamente pequeña.

Las pruebas de cortocircuito en los laboratorios han demostrado que los disyuntores de baja presión tienen imprevisibles características de ruptura. Como la duración del arco es en ellos mayor que en cualquier otro tipo de disyuntor, muchas veces, la presión a que quedan sometidos es mayor de la prevista en el proyecto del disyuntor.

Los disyuntores de pequeña cámara de aire tienen la cuba y la tapa diseñadas para resistir las mayores presiones que en ellos se alcanzan; estas elevadas presiones favorecen la rápida desionización del canal del arco, obteniéndose rupturas seguras. La gran simplicidad de construcción, la facilidad para la inspección y su casi nulo entretenimiento, junto con una gran seguridad de

aislamiento y de funcionamiento, constituyen ventajas que aseguran, para mucho tiempo, la utilización de este tipo de disyuntores de ruptura libre.

Los disyuntores con cámara de explosión se utilizan para interrumpir circuitos con potencias de ruptura superiores a unos 400 MVA.

En estas cámaras de explosión, el arco produce también una formación muy intensa de gas, pero el aceite no puede escapar debido a la pared de la cámara que rodea el punto de ruptura, por lo que se producen fuertes torbellinos que lanzan el aceite a presión sobre el arco, contribuyendo de esta forma al enfriamiento del mismo y a su rápida extinción.

Son muy numerosas las disposiciones constructivas que se han ideado para estas cámaras, y en todas ellas se pretende acelerar la desionización del arco a cada paso de la corriente por cero, utilizando, mediante ingeniosos dispositivos, la propia energía liberada por el arco, para obtener su rápida extinción. La reducción

del tiempo de ruptura asegura un menor desgaste de los contactos y menor carbonización del aceite, permitiendo de esta manera un mayor número de cortes sin necesidad de renovar o regenerar el aceite ni revisar o reponer los contactos.

Los dispositivos de control del arco mediante cámaras de explosión han recibido comercialmente distintos nombres; mencionaremos el tubulador (figura # 6) adoptado en Francia por la firma MERLIN ET GERIN con el nombre de transver-sator y que está constituido por placas de fibras mecanizadas y enlazadas, formando una pequeña cámara situada alrededor de los puntos de ruptura y en la que uno de sus lados, provistos de pequeños canales transversales, queda lo más próximo posible al recorrido del arco. Al separarse los contactos, el arco es impulsado contra las ranuras, obturándolas por los propios gases a presión originados por la descomposición del aceite. Cuando la corriente pasa por cero, los gases producidos son sopladamente a través de las ranuras, barriendo los gases ionizados y restableciendo inmediatamente la barrera aislante. Con todo esto se obtiene:

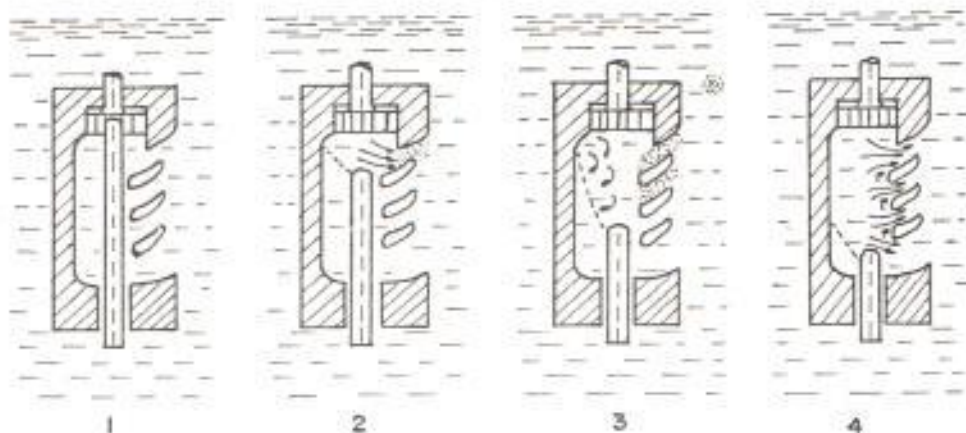


Fig. 6 .- Dispositivo Tubulator de control del arco de un disyuntor en baño de aceite.

- a) un arco muy corto
- b) una duración del arco del orden de un semi-periodo.

A pesar de la mejora que significa la cámara de explosión para muy altas tensiones y capacidades de ruptura, en el continente europeo existe actualmente la tendencia a sustituir el disyuntor en baño de aceite por el disyuntor de pequeño volumen de aceite o por el disyuntor neu

mático, abandonándose los de baño de aceite para tensiones superiores a los 35 KV. En Estados Unidos e Inglaterra, como consecuencia de la eficacia largamente probada de sus disyuntores en baño de aceite, en los que poseen gran experiencia, y de la abundancia de este aislante, se siguen construyendo estos disyuntores, para instalaciones a la intemperie incluso para las más elevadas tensiones.

1.2.2. DISYUNTORES DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE

Conceptos generales

Si se prescinde del aceite como aislante, sustituyéndolo por un recipiente por fase de material aislante y se limita el volumen del aceite al justo precio para llenar la cámara de ruptura, más una reserva para ir renovando el que se consume, tendremos, en esencia, el dispositivo de corte presentado y desarrollado con el nombre de disyuntor de pequeño volumen de aceite.

Sin embargo, el amplio desarrollo actual de este tipo de disyuntor, procede de los perfecciona-

mientos en los dispositivos de control del arco utilizados en los disyuntores en baño de aceite.

En un principio la técnica del disyuntor de pequeño volumen de aceite se aplicó al corte de muy altas tensiones, para las cuales, los disyuntores, entonces clásicos, en baño de aceite llegaban a tener dimensiones verdaderamente desorbitadas (por ejemplo, un disyuntor para 220 KV contenía 50 toneladas de aceite). Más tarde, la misma técnica se aplicó al corte de tensiones más bajas.

Esencialmente, el disyuntor de pequeño volumen de aceite consta, por cada polo, de un vástago móvil de contacto que se introduce en el eje del contacto fijo; ambos contactos están contenidos en una cámara de ruptura, de material aislante que, muchas veces está subdividida en varias cámaras.

El arco se desarrolla en los gases comprimidos que, posteriormente se refrigeran lo suficiente para desionizarlos e impedir de esta forma el reencendido del arco después del paso de la corriente por su valor nulo. Estos gases compri-

midos están producidos por el mismo arco y no por un compresor exterior, como en el caso de los interruptores de aire comprimido; son, en nuestro caso, productos de descomposición del aceite bajo el efecto del calor producido por la proximidad del arco.

Por lo tanto, resulta esencial que la presión sea elevada en la cámara para asegurar las calidades dieléctricas del espacio de corte. Pero también es esencial que el arco no se mantenga en el mismo gas y que los gases producidos puedan ceder el sitio a otros nuevos; todo ello, de formando el arco, fraccionándolo, refrigerándolo y, finalmente desionizándolo. Este efecto se obtiene disponiendo orificios de escape para los gases, orificios calibrados para que se produzca el soplado en cuestión, manteniendo la presión en la cámara a un valor conveniente y durante su ficiente tiempo.

Para fijar mejor los conceptos vamos a describir dos procedimientos de apagado del arco. El primer procedimiento ha sido desarrollado por AEG en sus disyuntores de pequeño volumen de aceite

para tensiones de servicio de 10 a 30 KV. La desconexión se produce en el interior de una cámara aislante llena de aceite; el contacto superior es móvil y el inferior fijo. Durante el proceso de desconexión, el contacto móvil se saca del contacto fijo y, como consecuencia, se forma un arco eléctrico que, al calentar el aceite circundante origina gases de aceite; estos gases ejercen la misma presión por ambas caras del pistón diferencial que, hasta ahora, está comprimido hacia abajo.

Como en la cámara inferior, el pistón tiene más superficie que en la superior, se ejercerá mayor esfuerzo sobre esta cara inferior y el pistón se pondrá en movimiento hacia arriba impulsando, a través de unas toberas, un potente chorro de aceite fresco que se proyecta en los puntos de iniciación del arco produciendo un energético efecto de enfriamiento, con lo que el arco se apaga muy rápidamente.

Veamos ahora el procedimiento de corte adoptado por Siemens. La ruptura del arco se hace mediante la combinación de un efecto extintor in-

dependientes del valor de la corriente que se ha de cortar y otro efecto que depende de esta corriente.

El efecto extintor independiente de la corriente, se produce mediante el movimiento hacia abajo del contacto móvil durante la desconexión. El aceite que se encuentra en la parte inferior de la cámara de extinción es impulsado por el interior del contacto móvil hacia el arco y ataca directamente los puntos de origen del arco en el contacto, reforzando así el efecto de la corriente de aceite producida por el arco mismo. Con este proceso basta para interrumpir corrientes capacitivas sin que se produzcan reencendidos.

El efecto extintor de origen propio, es decir, dependiente de la intensidad de corriente, se consigue mediante un dispositivo de nueva creación, sencillo y sin parte, sometidas a movimiento. Mediante una tobera anular que consta de dos partes, se subdivide la cámara en los espacios A y B. Entre ambas partes de la tobera se forma un canal anular que tiene algunos milí

metros de altura en su punto más estrecho. Al desconectar se arrastran el contacto móvil y el arco desde el espacio A al espacio B. Los gases que se desprenden en el recinto A, salen libremente hacia arriba, pasando por el contacto fijo. En el recinto B se forma una burbuja de gas a alta presión; como consecuencia de la diferencia de presiones existentes entre los recintos A y B, fluye una mezcla de gas y aceite desde el recinto B, a través del canal anular hacia la abertura de salida, la cual deja libre el contacto móvil, que se mueve hacia abajo. La circulación cesa cuando se han equilibrado las presiones en ambos recintos. Debido a esta circulación del medio extintor, el arco se refrigera intensamente y se desioniza totalmente la distancia entre los contactos fijo y móvil, de forma que el arco se extingue la primera vez que la corriente pase por su valor cero, después de entrar la punta de la varilla en el recinto B, evitándose de esta forma, con seguridad, los reencendidos.

Cualquiera que sea la disposición que se utilice para extinguir el arco, los disyuntores de

pequeño volumen de aceite tienen una cualidad fundamental: son autorreguladores, es decir, que cuanto mayor es la corriente que se ha de cortar mayor es la cantidad de gases producida y, por lo tanto, más enérgica es la acción extintora de estos gases.

Por lo tanto, desde el punto de vista de su capacidad de ruptura, se adapta por sí mismo el valor de la corriente que se ha de cortar, y esto hasta el valor máximo de esta corriente. En lo que se refiere a dicho valor máximo, no está limitado más que por la aptitud de la envoltura para resistir la presión interna de los gases, y por la cantidad de aceite del que se dispone en la inmediata proximidad del arco (volumen de la cámara).

Esta observación nos conduce a uno de los progresos más importantes realizados en estos últimos años. Efectivamente, el empleo de resinas armadas con fibras o de tejidos de vidrio y, mejor todavía, de arrollamiento de filamentos de vidrio (es decir, arrollamiento dirigido de hilo de vidrio según la orientación deseada para re -

sistir mejor las sobretensiones), ha permitido multiplicar por un factor de, a lo menos 2, la presión máxima tolerable en las cámaras y, como consecuencia, la capacidad de ruptura.

Otras ventajas de los disyuntores de pequeño vo lumen de aceite, son las siguientes:

- a) desionización rápida del trayecto del arco (la duración de ruptura excede muy raramente de 0.002 segundos).
- b) caída de tensión en el arco excepcionalmente baja, por lo que no hay que tener sobre tensiones en el momento de la extinción.
- c) mínima disipación de energía.
- d) muy limitada carbónización del aceite.
- e) reducido deterioro de los contactos como consecuencia de la pequeña disipación de energía.

1.2.3. DISYUNTORES NEUMATICOS

Conceptos generales

Los disyuntores neumáticos, llamados también disyuntores de aire comprimido utilizan, la pro

plidad que tiene el aire a presión de extinguir el arco, al expansionarse. El principio de corte por soplado de aire consiste en enviar una fuerte corriente de aire al centro del arco que, por esta causa, se desioniza, después del paso de la corriente por cero; por lo general, esta corriente de aire es provocada por la expansión de cierta cantidad de aire, que previamente se ha comprimido en un depósito independiente. Es decir que en los disyuntores neumáticos, el aire comprimido se emplea, no solamente para el mando de estos disyuntores, como veíamos que sucedía en algunos dispositivos de accionamiento de disyuntores de pequeño volumen de aceite, sino también para el apagado directo del arco que se forma al abrirse los contactos del disyuntor.

El corte del arco por aire comprimido puede utilizarse para todas las tensiones y para todas las potencias de ruptura, tanto para disyuntores de montaje exterior como de montaje interior. Por otro lado, presenta muchas menos probabilidades de peligro de incendio que los disyuntores que utilizan el aceite como medio de extinción del arco.

Entre los inconvenientes de este tipo de disyuntor, pueden enumerarse:

- a) La necesidad de una instalación de aire comprimido, con los correspondientes compresores, depósitos y tuberías, lo cual, en los casos de instalaciones con pequeña potencia de ruptura, implica unos importantes gastos de primera instalación.
- b) Los inconvenientes inherentes al propio aire comprimido, es decir, el mantenimiento que llevan consigo los compresores, las canalizaciones y, especialmente, las válvulas, así como la necesidad de disponer, en cada momento, de aire suficientemente seco y limpio.

Sin embargo, la facilidad de adaptación de estos disyuntores a todos los problemas inherentes a la explotación de las redes a muy alta tensión y su seguridad de puesta a punto, los hacen preferibles a los disyuntores de pequeño volumen de aceite, cuando las tensiones son muy altas o muy elevadas las potencias de ruptura. En los demás casos, la necesidad de la instalación independiente de aire comprimido, obligará a un estudio

Inv. No. DOT-021

económico detenido para decidirse por uno u otro de estos tipos de disyuntores, siendo muchas veces, en estos casos preferible los disyuntores de pequeño volumen de aceite, más económicos de adquisición e instalación y que precisan menor mantenimiento.

En la figura # 7 se muestra esquemáticamente el proceso de extinción de un arco eléctrico por medio de un chorro de aire comprimido: un cilindro aislante lleva una tobera metálica que constituye uno de los contactos del disyuntor; el otro contacto está constituido por un perno o espiga que, al desconectar el disyuntor, se retira. El arco eléctrico formado en el momento de la separación de los contactos, es soplado hacia afuera por la acción del aire comprimido, enérgicamente refrigerado y apagado después del primero o del segundo semiperiodo, cuando la corriente pasa por un valor nulo. La extinción del arco se obtiene gracias a la alta rigidez dieléctrica del aire comprimido suficientemente seco, y a la gran velocidad de circulación de este aire por toberas apropiadas, constituidas muchas veces por los propios contactos.

El arco desarrollado entre los contactos calienta considerablemente el aire que se encuentra en la tobera; este aire se dilata y se forma una contrapresión que se opone al paso del aire soplado. La contrapresión formada es tanto menor cuanto mayor es la abertura de la tobera, y tanto mayor cuanto más elevada es la energía del arco. En el momento en que la corriente pasa por su valor máximo, la contrapresión, debida al calentamiento del aire de soplado, es también máxima y el caudal de aire de soplado es mínimo; el soplado puede llegar a anularse e, incluso, invertirse su sentido, si la contrapresión en la tobera se hace superior a la presión en el depósito de aire comprimido. Por el contrario, cuando la corriente pasa por cero, el caudal del aire soplado es máximo y máximo también, por lo tanto, el efecto extintor de la corriente de aire.

Por otra parte, incluso admitiendo que no haya retroceso del aire desde la tobera al depósito, el arco formado, por conductividad térmica y por radiación, ioniza parcialmente el aire de la tobera, no solamente en la parte donde se forma el arco, sino también en los alrededores.

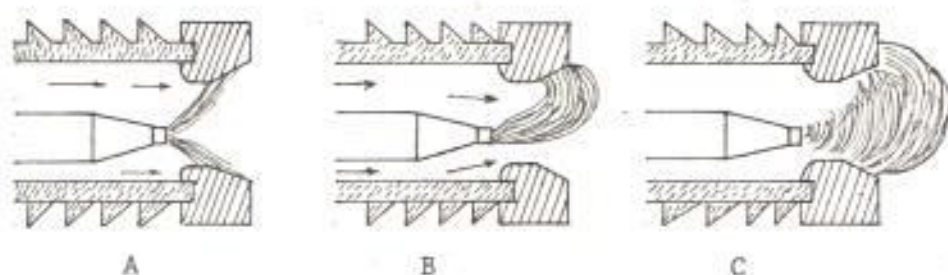


Fig. 7.- Proceso de extinción de un arco eléctrico por medio de un chorro de aire comprimido: A- Arco eléctrico durante el valor máximo de la corriente, B- Arco eléctrico poco antes del paso de la corriente por cero, C- Arco eléctrico inmediatamente después de la desconexión.

A medida que la corriente se aproxima a cero, disminuye la energía del arco y aumenta el caudal de aire, tal como lo hemos dicho anteriormente, de forma que disminuye la profundidad de aire necesario en la tobera, por encima del arco; como consecuencia, el aire que rodea el arco se desioniza progresivamente. Si en las proximidades del paso de la corriente por su valor

cero es tal que, durante el restablecimiento de la tensión, el aire de la tobera está suficientemente desionizado para que no pueda producirse el recebado del arco, este arco se extinguirá definitivamente. Por lo tanto, la capacidad de ruptura de un disyuntor neumático es tanto mayor cuanto mayor es la presión del aire de soplado y cuanto mayor es la sección de la abertura de la tobera.

1.2.4. DISYUNTORES DE SOPLADO MAGNETICO

Conceptos generales

Los aparatos de corte de soplado magnético se utilizan, según su capacidad de ruptura, como disyuntores y como interruptores. En el presente capítulo hablaremos solamente de su aplicación como disyuntores; es un capítulo anterior estudiamos su empleo como interruptores.

En la figura # 8 se muestra muy esquemáticamente la constitución de un aparato de corte de soplado magnético. Primeramente se conduce la corriente hasta una bobina de pocas espiras de núcleo de hierro y, posteriormente, al aparato de corte, que está situado en el campo magnético -

que engendra la corriente en el núcleo de hierro. Si al abrir los contactos se produce un arco eléctrico, éste resulta estirado por la fuerza que sobre él ejerce el campo magnético, siempre que las líneas de fuerza estén convenientemente dirigidas. A causa de esta acción, el arco eléctrico se alarga hasta romperse y apagarse.

Basados en este principio general, existen en el mercado, numerosos tipos de disyuntores de soplado magnético; describiremos dos tipos, cada uno de ellos con sus especiales características constructivas: estos tipos son:

- Disyuntor De-Ion de ACEC.
- Disyuntor Solenare de MERLIN GERIN.

DISYUNTOR DE-ION DE ACEC

Este disyuntor se construye para tensiones de servicio de 6 KV y 15 KV y para intensidades nominales de 1.250 A. y de 2.000 A.

El dominio de aplicación de estos disyuntores solamente está limitado por su características

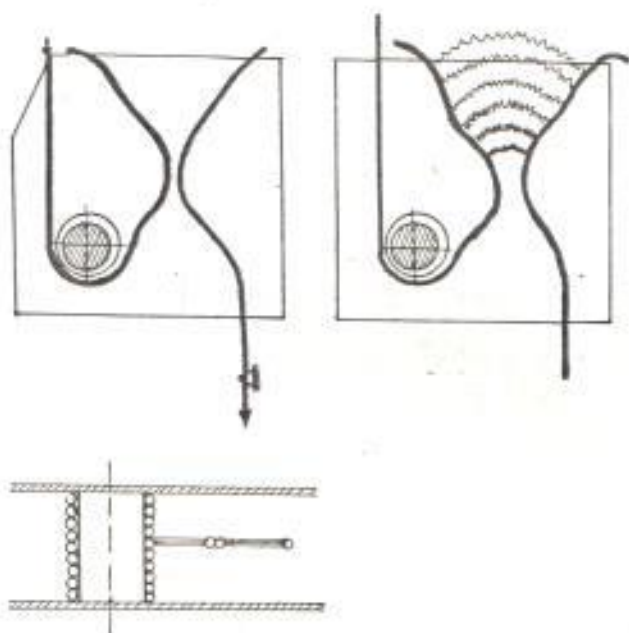


Fig. 8.- Principio del soplado magnético.

de corte. De forma general, se puede decir que su utilización está indicada en las centrales eléctricas y en las estaciones transformadoras y de distribución. Una ventaja que se debe tener en cuenta es que se trata de aparatos completamente autónomos, ya que no necesitan ni de aceite ni de aire comprimido.

El disyuntor comprende un carro provisto de ruedas para su desplazamiento, que constituye la estructura que soporta las diferentes partes esenciales del disyuntor, es decir:

- el mecanismo de conexión que puede equiparse

con mando electromagnético, mando manual de reserva de energía o, en otro caso, con mando neumático. El mando manual de reserva de energía es de enganche libre, o sea independiente del operador, y permite la conexión a distancia y, eventualmente, una maniobra de reenganche automático.

- el mecanismo de desenganche libre que puede estar accionado por relés de baja tensión, de sobrecarga o de tensión mínima.

- seis atravesadores, equipados con tulipas de conexión y que soportan los contactos fijos y móviles.

- los núcleos magnéticos que sirven también de soporte a la bobina y a las cámaras de soplado.

- las pantallas metálicas puestas a tierra que impiden el acceso a las piezas bajo tensión.

Es de notar la pared metálica horizontal que separa netamente las partes de alta y de baja tensión del aparato.

DISYUNTOR SOLENARC DE MERLIN GERIN

Este disyuntor está basado en el principio de la ruptura seca, que vamos a estudiar brevemente.

**TABLA 1A CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS DISYUNTORES ACEC,
 DE SOPLADO MAGNÉTICO, TIPO DE 10N.**

Tipo de disyuntor	Valores Nominales				Características de ruptura				Corr. máx. admisible	
	Tensión KV	Corriente A	Frecu. Hz	Tensión de restabl. KV.	Poder de ruptura		Corr. cortada		Poder de conexión KA máx.	Corriente admisible en 1 seg. KA _{ef}
					Simétrico MVA	Asimétrico MVA	Simétrico KA	Asimétrico KA		
DM 6-1.200 I	6	1.250	50	6	250	275	24	26,4	60	67
DM 6-2.000 I	6	2.000	50	6	250	275	24	26,4	60	67
DM 6-1.200 II	6	1.250	50	6	500	550	48	52,8	120	116
DM 6-2.000 II	6	2.000	50	6	500	550	48	52,8	120	116
DM 15-1.200 I	15	1.250	50	15	250	275	9,6	10,5	24	47
DM 15-2.000 I	15	2.000	50	15	250	275	9,6	10,5	24	47
DM 15-1.200 II	15	1.250	50	15	500	550	19,2	21,2	48	58
DM 15-2.000 II	15	2.000	50	15	500	550	19,2	21,2	48	58

te.

Esencialmente, se trata de una desionización del arco por refrigeración al contacto de materiales refractarios, según un trayecto determinado en una cámara de ruptura adecuada; el medio dieléctrico entre contactos está constituido por aire a la presión atmosférica.

La cámara de soplado del disyuntor Solenarc tiene la forma expresada esquemáticamente, de la figura # 9. La idea fundamental ha sido reducir, en lo posible, las dimensiones de la cámara, haciendo que el arco ocupe todo el volumen disponible. Para ello la cámara de ruptura está constituida por placas refractarias paralelas entre sí; cada placa lleva en su base una envoltura metálica que presenta, a cada lado de la placa, un cuerno metálico. Las raíces de cada arco elemental, comprendido entre dos cuernos consecutivos, se desplazan sobre la envoltura metálica y obligan al arco a describir un bucle en cada división de la cámara de ruptura. Desde este instante, el arco constituye, por sí mismo, una bobina de soplado, cuyas espiras se

alargan muy rápidamente bajo el efecto de los esfuerzos electrodinámicos. De esta forma, se obliga a los gases ionizados a penetrar en los intervalos laminares entre las placas refractarias, donde son enérgicamente refrigerados.

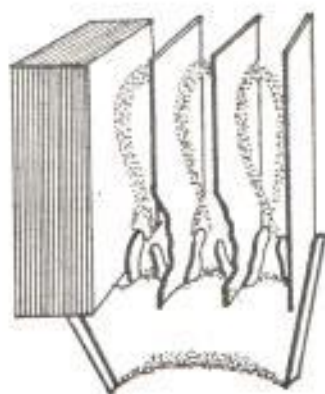


Fig. 9.- Cámara de soplado del disyuntor de soplado magnético Merlin Gerin, tipo SOLENARC.

A causa de los esfuerzos electrodinámicos desarrollados en las espiras así constituidas, no es necesario prever un soplado importante. Incluso, según se ha demostrado recientemente, resulta posible suprimir totalmente los circuitos magnéticos y sus bobinas, de forma que sería más exactos hablar de Disyuntor de soplado e -

lectrodinámico.

Describiendo el principio de este disyuntor y las características generales de la cámara de ruptura, hemos supuesto que el arco establecido en esta cámara sobre los cuernos de las placas y sobre los cuernos extremos. Naturalmente, hay que asegurar la continuidad de circuito eléctrico durante el período de formación del arco, cuando los contactos se han separado, y unir los dos extremos de la cámara, en las entradas y salidas del aparato. Entre la parte posterior de la cámara y el contacto fijo, no hay ninguna dificultad, pues basta con realizar un contacto amovible, que permita la retirada eventual de la cámara. Entre la parte anterior de la cámara y el contacto móvil, la casa constructora ha imaginado realizar un enlace por medio de una conexión móvil ligada al movimiento del aparato.

Esta conexión está constituida por dos cuchillas articuladas sobre el equipo móvil y que se ajustan en las pinzas situadas sobre la cámara. Cuando el aparato está cerrado, las cuchillas quedan retenidas en la cámara, pero cuando el a-

aparato está abierto quedan al exterior y, por lo tanto, visibles a simple vista; de esta forma el aislamiento entre la entrada y la salida está completado con un espacio de aire a la presión atmosférica. Naturalmente, un decalado entre el funcionamiento de las cuchillas principales y las cuchillas de ruptura visible, aseguran la continuidad durante el tiempo de ruptura.

De esta forma, se suprime cualquier ambigüedad sobre el estado abierto o cerrado del disyuntor, ya que se ofrece al usuario la visión directa de la posición del aparato, sin posibilidad de error. El espacio de aire así interpuesto, significa la plena seguridad del nivel de aislamiento entre la entrada y la salida, cualquiera que sean las condiciones de explotación.

El mando de estos disyuntores puede realizarse manualmente o por servomotor eléctrico ambos con acumulación de energía, fijados al extremo del árbol o en un chasis frontal. También se utilizan los mandos que pueden armarse manual o eléctricamente, pero que se rearman automáticamente después de cada maniobra de cierre, de

forma que pueden responder inmediatamente a una orden de cierre o de reenganche rápido.

1.2.5. DISYUNTORES DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE

Generalidades

En vista del aumento constante de la potencia de las Centrales eléctricas, los constructores de interruptores, se han visto obligados a mejorar las características de ruptura de sus disyuntores a fin de protegerlos de las elevadas potencias de cortocircuito a las que están expuestos. a fin de adaptarse a las cada día más estrictas normas, el disyuntor de gran volumen de aceite ha sido desplazado por los tipos de pequeño volumen de aceite y de aire comprimido. Todos estos modelos poseen sus propias ventajas y desventajas, las cuales están determinadas por la naturaleza del fluido extintor.

Con la idea de poder hacer frente, más adecuadamente a los requisitos presentes y futuros, los constructores han buscado un nuevo fluido extintor que posea las ventajas de los existentes y que, al mismo tiempo, no tengan ninguno de sus inconvenientes.

Hace, aproximadamente, unos quince años la firma WESTINGHOUSE, pionera de la nueva técnica, realizando un examen sistemático de las características de los gases adecuados para la extinción del arco, seleccionó el hexafluoruro de azufre. Este es el único gas que posee reunidas, las propiedades físicas, químicas y eléctricas favorables para la extinción de los arcos de los disyuntores.

El uso del hexafluoruro de azufre en los equipos de interrupción de alta tensión han ido en constante progresión, empezando a ser utilizados en U.S.A. y, actualmente, está difundiéndose en algunos países de Europa.

EL GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE

El hexafluoruro de azufre gaseoso es incoloro, inodoro, no tóxico y no inflamable. Es uno de los compuestos químicos más estables, y también, uno de los gases más pesados: a 20°C y presión atmosférica, su densidad es cinco veces la del aire.

Su coeficiente de transmisión del calor, a pre-

sión atmosférica, es 1,6 veces mayor que el del aire y a una presión de 2 kg/cm^2 este coeficiente es, aproximadamente, 25 veces el del aire a presión atmosférica. Esta es una propiedad muy interesante, pues facilita una rápida disipación del calor y reduce, de esta manera el aumento de temperatura del equipo.

El hexafluoruro de azufre es un gas halógeno cuya estructura molecular comprende un átomo de azufre central unido a seis átomos de fluor dispuestos en los vértices de un octaedro.

El hexafluoruro de azufre es una de las sustancias más inertes conocidas. No ataca ningún material estructural a temperaturas inferiores a 500°C , y permanece estable a temperaturas a las cuales el aceite se oxida y descompone. A la temperatura del arco eléctrico se descompone en fluoruros de azufre inferior, pero el grado de descomposición es muy pequeño, debido a que la mayoría de productos resultantes, se recambian inmediatamente para formar de nuevo el hexafluoruro de azufre, con el resultado de que éste permanece intacto después de sucesivas rupturas.

Las pequeñas cantidades de subproductos que pueden permanecer son absorbidas por alúmina activada, dispuesta a tal efecto. Durante el paso del arco, se producen fluoruros metálicos los cuales se depositan como un polvo blanco, pero debido a que poseen una gran rigidez dieléctrica no causan perturbación desde el punto de vista eléctrico.

La rigidez dieléctrica del gas hexafluoruro de azufre, a presión atmosférica, es más del doble de la del aire, (anhídrido carbónico o nitrógeno).

Como podemos ver en la figura # 10 la rigidez dieléctrica que es un 30 % menor que la del aceite a presión atmosférica, aumenta rápidamente con el incremento de presión. Alcanza un valor igual al del aceite con una presión de 650 g/cm^2 y a $1,25 \text{ Kg/cm}^2$, la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre es aproximadamente, un 15 % mayor que la del aire.

Un arco en hexafluoruro de azufre no produce ningún depósito de carbón como ocurre en el caso del aceite.

Como la densidad del hexafluoruro de azufre es cinco veces mayor que la del aire, la velocidad de difusión es extremadamente lenta. Una pequeña cantidad de aire no tiene, prácticamente, ninguna influencia en la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre.

El hexafluoruro de azufre es uno de los gases más electronegativos, es decir: sus moléculas tienen una gran afinidad para los electrones libres, con los cuales se combinan para formar hexafluoruro de azufre (SF_6) cargado negativamente junto con iones de pentafluoruro de azufre (SF_5). Como estos iones son pesados y, por lo tanto, prácticamente inmóviles, no actúan como portadores de corriente. Es esta cualidad excepcional del hexafluoruro de azufre la que le otorga sus excelentes propiedades dieléctricas y, también su gran poder de extinción del arco.

Como las tensiones disruptivas (de perforación del aislamiento) en el hexafluoruro de azufre son 24 veces las observadas en el aire, es posible cortar en hexafluoruro de azufre, corrientes 100 veces mayores que aquellas que podrían

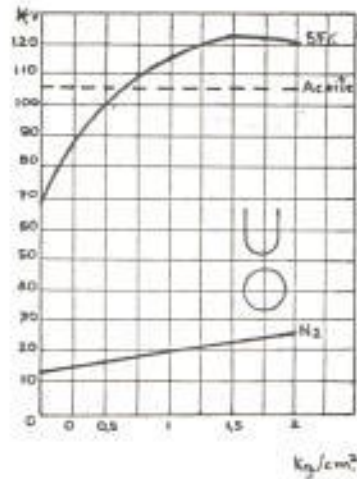


Fig. 10.- Curvas comparativas de la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre, a aceite y nitrógeno.

ser cortadas en el aire, bajo condiciones idénticas. La figura # 11 muestra los resultados experimentales obtenidos, a varias presiones para una distancia de ruptura, de 7,5 mm. a 2,3 kV.

El problema de las velocidades de crecimiento de la tensión de reencendido las cuales pueden alcanzar valores excesivamente elevado en el momento del corte (por ejemplo, en el " defecto kilo

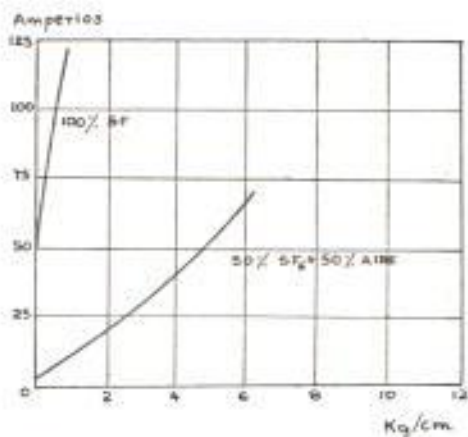


Fig. 11.- Curvas comparativas de las corrientes cortadas a 2,3 KV en el aire, con una mezcla en partes iguales de hexafluoruro de azufre y con hexafluoruro de azufre puro.

métrico ") ha sido especialmente estudiado. M. MAYR ha deducido una fórmula que da el valor límite de la tensión de reencendido, después de que la corriente ha pasado por cero, por encima de la cual el arco se cerrará de nuevo;

$$E = \frac{E_0}{2^{1,73} (\theta W)^2} \text{ voltios}$$

E_0 = Tensión del arco estabilizado.

θ = Constante de tiempo de la columna del arco (tiempo que tarda la tensión del arco en tomar su valor inicial después de la perturbación).

$$W = 2 \pi f_0$$

La constante de tiempo θ , para el hexafluoruro de azufre es 100 veces menor que la del aire, luego la tensión de reencendido permisible puede ser 100 veces mayor. En las figuras # 12 y 13 vemos las constante de tiempo para distintas sustancias y para diversas mezclas de hexafluoruro de azufre y otros cuerpos gaseosos. Como se ve, todas ellas son considerablemente mayores que en el hexafluoruro de azufre. El bajo valor de las constantes de tiempo se explica por la gran rapidez con que los electrones libres, en el arco, son capturadas por las moleculas del gas. Esto explica por qué un disyuntor de hexafluoruro de azufre no es influenciado por las frecuencias propias de la red incluso las más elevadas. De-

bido a las notables propiedades inherentes a este gas, el proceso de ruptura en los disyuntores de hexafluoruro de azufre es completamente diferente al de las unidades de aire comprimido.

En un disyuntor de aire comprimido el principal factor que influye para la extinción del arco es la violenta distorsión de la columna del arco en una boquilla; la distorsión es proporcional a la longitud del arco, a la presión y a la velocidad del sonido. La velocidad del sonido en el hexafluoruro de azufre es un 40 % menor que en el aire y, como los arcos en los disyuntores de hexafluoruro de azufre se extinguen, al menos, tan rápidamente como los de aire comprimido, necesariamente los fenómenos físicos que tienen lugar son diferentes.

En un disyuntor de hexafluoruro de azufre, el arco se extingue por la disipación de calor radial en una cámara de soplado cilíndrica de un diámetro relativamente grande. Este proceso es acelerado por el hexafluoruro de azufre el cual es admitido en la cámara bajo la presión de 14 kg/cm^2 , antes de que los contactos se separen. La ac -

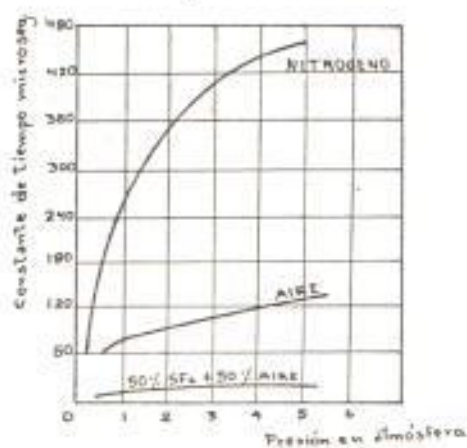


Fig. 12.- Constantes de tiempo del nitrógeno, - aire y una mezcla a partes iguales de hexafluoruro de azufre y aire.

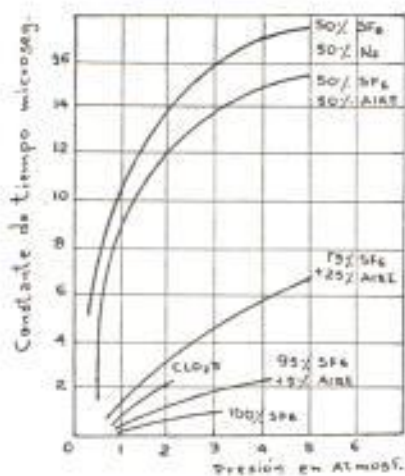


Fig. 13.- Constantes de tiempo, en función de - la presión, de varias mezclas de hexafluoruro de azufre y aire.

ción no es, en ningún modo, tan violenta como la que tiene lugar en los de aire a presión, incluso pequeñas corrientes inductivas son cortadas sin producción de sobretensiones peligrosas.

Por esta misma razón, los disyuntores de hexafluoruro de azufre son especialmente, adecuados para el porte de línea en vacío en las que la velocidad de recuperación del dieléctrica es de enorme importancia.

Como ya hemos mencionado el hexafluoruro de azufre puro no es tóxico y puede manejarse sin peligro. WESTINGHOUSE hizo el experimento de colocar unos ratoncitos blancos en una atmósfera compuesta de un 20 % de oxígeno y 80 % de hexafluoruro de azufre durante 48 horas, y los animales no mostraron ningún signo de intoxicación.

Los productos de descomposición del hexafluoruro de azufre que se desprenden por contacto con el arco eléctrico, como ya hemos mencionado, en cantidad despreciable se absorben por la alúmina situada en el interior del disyuntor. Por razones de economía, en vista del relativamente

gran volumen de gas contenido en los disyunto - res de gran potencia (150 KV-10.000 MVA, por e jemplo), el gas es recuperado antes de que se abra el tanque. No permanece ninguna traza de los productos de descomposición del hexafluoruro de azufre al abrir las puertas del disyuntor.

El uso del hexafluoruro de azufre para la inte - rrupción de arcos eléctricos presenta las si - guientes ventajas.

- Una constante de tiempo, de la columna del - arco, muy pequeña.
- Alta rigidez dieléctrica y una rápida recupe - ración del poder aislante después de la ex - tinción del arco.
- El circuito es cortado con una velocidad de aumento de la tensión de recuperación excep - cionalmente alta.
- Muy alta capacidad de ruptura.

La firma WESTINGHOUSE ha empleado el hexafluoru - ro de azufre desde 1.953 para una gama de sec - cionadores bajo carga, de 15 a 161 KV capaces - de cortar corrientes de hasta 600 amperios con factores de potencia de 0.5 a 1. Desde aquella

fecha en U.S.A. se han instalado cientos de estas unidades con resultados satisfactorios. La última etapa, es el proyecto de disyuntores de alta tensión de gran poder de ruptura. En U.S.A. se han construido modelo de 138 KV 10.000 MVA y de 230 KV - 15.000 MVA.

En Europa, la firma SIEMENS puede presentar interruptores de potencia de media tensión con gran capacidad de ruptura, es decir para tensiones - hasta 30 KV y capacidades de ruptura de 1.500 - MVA.

1.3. EL ARCO ELECTRICO

Con el propósito de poder entender en mejor forma lo que es un interruptor o disyuntor, se procedió a considerar el arco eléctrico, como el elemento fundamental de todos los interruptores.

El estudio del fenómeno de interrupción de la corriente, constituye una interesante rama de la Electrotecnia. Nosotros solamente nos limitaremos a una breve consideración de las nociones esenciales ligadas al fenómeno de la interrupción

de la corriente eléctrica, ya que la ruptura de los circuitos eléctricos se obtiene casi siempre por medio de un arco eléctrico.

Durante la ruptura de un aparato de corte por el que circula una corriente, se comprueba la producción de una chispa o un arco entre las piezas en contacto.

Si la potencia cortada es pequeña se obtiene una chispa, es decir un destello o resplandor azulado extremadamente brillante que no daña las piezas en contacto. Si la potencia alcanza cierta importancia se produce un arco, es decir una llama de un color netamente diferente del de la chispa; además, después de la ruptura, se observa que los contactos están desgastados en la zona en que se originó el arco.

Según el Vocabulario Electrotécnico Internacional, se define el arco como el fenómeno de la descarga de un gas, caracterizado por una concentración de la columna positiva y una mancha catódica de gran efecto emisorio fotoeléctrico y termoiónico; además, la característica tensión-

corriente es decreciente, o sea que la resistencia eléctrica del arco es negativa.

Este arco está constituido por electrones y gas ionizado a temperaturas muy altas (2.500 a - 10.000°C). El arco es, por lo tanto, un conductor gaseoso al contrario que en los conductores metálicos ordinarios, la caída de potencial a través del arco varía en proporción inversa a la intensidad de la corriente.

En efecto, si se aplica una diferencia de potencial entre dos electrodos, se comprueba que el arco se inicia para un valor determinado v_0 . Si se hace aumentar la intensidad de la corriente, la caída de potencial a través del arco disminuye: el arco, más caliente y más ionizado, ofrece una resistencia menor al paso de la corriente. Si la intensidad de corriente decrece, la característica caída de potencial-intensidad de corriente pasa por debajo de la característica que se obtiene al aumentar la corriente y el arco se extingue para una diferencia de potencial entre los electrodos $v_1 < v_0$ (Fig. # 14).

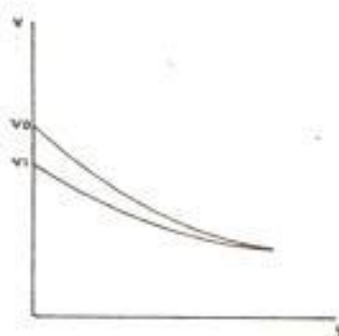


Fig. 14.- Caída de potencial a través de un arco eléctrico en función de la intensidad de corriente.

La diferencia de potencial entre los extremos de un arco recorrido por una corriente sinusoidal, - para una distancia entre electrodos constantes, - tiene la forma que se indica en la figura # 15 -

El arco eléctrico se manifiesta como una columna gaseosa incandescente y está constituido por un - flujo, de sección dada, compuesto de electrones e iones que provocan una temperatura muy elevada.

Dicho flujo constituye el núcleo del arco, y está rodeado por una envoltura cuya naturaleza, a cau-

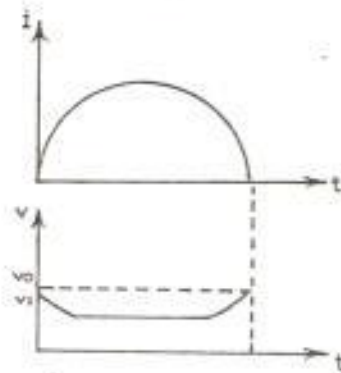


Fig. 15.- Arco eléctrico debido a una corriente alterna.

sa de la elevada temperatura, puede ser muy diferente de la del medio inicial en el cual se desarrolló el arco.

Para asegurar el movimiento de los electrones - hace falta un campo eléctrico. Este campo eléctrico está constituido por dos partes, una de ellas localizada en la vecindad inmediata de los electrodos, y otra parte sensiblemente proporcional a la longitud del arco.

Por lo tanto, en un dominio muy limitado y para arcos estables, se puede expresar la caída de -

tensión U en un arco de longitud l ó tensión de arco, por la fórmula:

$$U = \alpha + \beta \cdot l$$

α = caída de tensión anódica y catódica.

β = caída de tensión por unidad de longitud de la columna de arco.

Los valores de a y B para contactos de una naturaleza determinada, para condiciones de medio y de presión idénticas y para temperaturas dadas, son independientes de la corriente en el arco, es decir que un arco no puede considerarse como una resistencia, sino más bien como un conductor cuya sección se ajusta automáticamente a la corriente que debe atravesarlo, de tal manera que una diferencia de potencial fija basta para asegurar el paso de cualquier corriente.

La potencia desarrollada en un arco es igual, en cada instante, al producto de la corriente en el arco por la tensión de arco; por la cual no debe ser confundido con la potencia del circuito que se corta, que está expresada por el producto de la corriente por la tensión que se restablece en los bornes del circuito después de la ruptura,

La energía absorbida por el arco durante la ruptura vale:

$$W = \int_0^T U \cdot I \cdot dt$$

U = tensión de arco

I = corriente

T = tiempo de duración del arco.

Esta energía se disipa por convección, por radiación y por conducción caloríficas, así como también por descomposición del medio ambiente, tal es el caso de los interruptores en baño de aceite.

De la cantidad de calor que se produce en el arco durante la ruptura dependen los esfuerzos principales, a que quedan sometidos muchos aparatos de ruptura. Si la energía desarrollada por el arco no es eliminada, la temperatura del medio ambiente aumentará y si se trata de un medio de capacidad fija crecerá igualmente la presión en él, lo que puede producir fenómenos de descomposición del medio ambiente, con formación de gases, que pueden llegar a provocar la explosión de la cámara de ruptura.

1.3.1. EXTINCIÓN DEL ARCO EN CORRIENTE ALTERNA

Existen dos procedimientos para obtener la extinción de los arcos en corriente alterna.

El primero consiste en aumentar la tensión de los bornes del arco, hasta que ésta sea suficiente para equilibrar las fuerzas electromotrices del circuito: para ello, se puede alargar el arco o bien aumentar los valores de a y de B . Este primer procedimiento solamente se utiliza en los disyuntores con soplado magnético.

Para comprender mejor el segundo procedimiento de extinción de un arco de corriente alterna, recordemos que esta corriente pasa por un valor nulo en cada semiperíodo. Si el disyuntor fuera capaz de separar sus contactos en el momento preciso del paso de la corriente por este valor nulo y hacerlo con la velocidad suficiente para que, a causa de la separación entre dichos contactos, la tensión de restablecimiento no pudiera encerrar nuevamente el arco, el circuito quedaría interrumpido, sin calentamiento en los contactos de ruptura.

En las condiciones actuales tal hipótesis no es posible alcanzarla.

El tiempo admisible de ruptura para redes de 50 Hz debería ser del orden de la diezmilésima de segundo y los disyuntores usuales no cortan la corriente sino después de algunos semiperiodos, es decir en un tiempo de varias centésimas de segundo. Lo que se hace es soplar el arco, alargándolo, hasta que la longitud de éste es tan grande que la tensión de restablecimiento resulta insuficiente para alimentarlo. Sin embargo, la extinción del arco por soplado es la más utilizada actualmente en los disyuntores.

Por lo tanto, y excepto en el caso de corrientes muy débiles o tensiones reducidísimas, la ruptura tiene lugar siempre a través de un arco.

1.3.2. CONDICIONES DE EXTINCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

Cuando la corriente se ha anulado los electrones deben cesar de circular, ya que el arco está compuesto de electrones libres en movimiento. Pero estos electrones permanecen todavía un cierto tiempo como electrones libres, es decir

que el medio permanece conductor durante el tiempo correspondiente. Del mismo modo, en corriente alterna cuando la corriente disminuye, hay un cierto retardo entre la sección del flujo de los electrones en movimiento y la sección del medio todavía ionizado.

Resulta de esto que las características dinámicas del arco, es decir cuando la corriente varía, no son las mismas que sus características estáticas y que los efectos de inercia señalados mantienen una cierta conductibilidad del medio del arco después de la supresión de la corriente. Esta noción de retardo a la desionización del medio del arco tiene una gran importancia en la teoría de la extinción de los arcos en corriente alterna.

Por lo tanto, después del paso por cero de la corriente, el trayecto del arco tarda un cierto tiempo para pasar del estado conductor, en el cual está mantenido por el paso de la corriente, al estado aislante. La U (fig. # 16) representa la tensión aplicada entre los contactos; antes del paso de la corriente I por

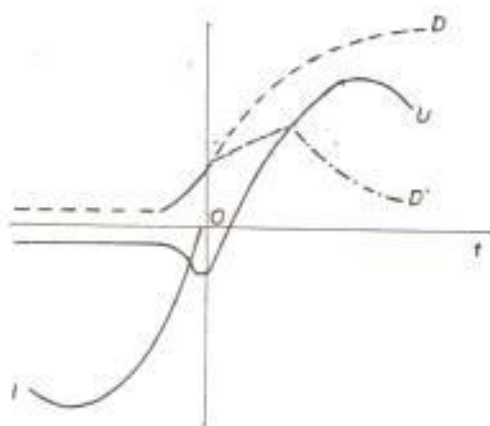


Fig. 16.- Evolución de la rigidez dieléctrica del medio en que se produce el arco, durante una maniobra de ruptura.

cero, es igual a la tensión de arco y toma luego un valor fijado por la fuerza electromotriz del circuito, según una ley muy variable que depende de las características del circuito.

La curva D representa la rigidez dieléctrica del medio del arco en función del tiempo. En tanto subsista el arco no es otra que la inversa de la tensión de arco; depende luego del estado de ionización del medio que separa los contactos y puede alcanzar, en el límite, un valor correspondiente a la tensión de cebado entre los contac -

tos después de una desionización completa.

1.3.2.1. EXTINCION DEL ARCO DE CORRIENTE ALTERNA EN EL - SENO DEL ACEITE

La inmersión de los contactos de ruptura de un disyuntor en el aceite o en otro líquido, no evita la formación del arco durante la separación de los contactos pero, en cambio, se consigue que la energía absorbida para la vaporización y descomposición del aceite, pueda utilizarse para enfriar enérgicamente la columna del arco y los propios contactos.

Para una misma separación entre los contactos, la tensión necesaria para que se establezca el arco es mucho mayor en el aceite que en el aire. Por lo tanto, la tensión de extinción y, sobre todo, la tensión de reencendido al formarse el arco en el seno del aceite son varias veces superiores a las tensiones correspondientes en el aire y, como consecuencia, los disyuntores en baño de aceite resultan particularmente adecuados para la interrupción de circuitos de corriente alterna de alta tensión. Durante muchos años éste ha sido el único tipo de disyun-

tor empleado para este servicio, a base de una, dos o más rupturas por polo. A partir de 1.929 aproximadamente, comenzaron a aparecer otros procedimientos de extinción del arco.

El mismo proceso de ruptura en el aire, puede ser aplicado en la ruptura bajo aceite. Sin embargo, ahora aparecen fenómenos adicionales, característicos de los disyuntores en baño de aceite, que determinan su mayor eficacia. La alta temperatura (6.000 a 8.000°C) del arco producido al separarse los contactos, provoca en el aceite una disociación en hidrógeno (70 %), metano (10 %), etileno (20 %), etcétera... y carbón libre. Estos gases están fuertemente ionizados, es decir, de sus átomos se han arrancado electrones.

El campo eléctrico originado por la tensión de reestablecimiento, impulsa los iones positivos hacia el contacto que actúa como cátodo, mientras que los electrones y los iones negativos, rechazados por el cátodo, se dirigen al ánodo. Los choques producidos por el movimientos de estas partículas producen nuevos iones, con lo

que se aumenta la ionización de la columna que rodea el arco; a esta ionización contribuye también la emisión termoiónica de los contactos que, frecuentemente, llegan a la temperatura de incandescencia por causa de la energía del arco en el momento de la ruptura. Esta masa de gases ionizados forma una bolsa en el seno del aceite, en cuyo interior se halla el arco, tal como se ha presentado esquemáticamente en la figura # 17. El núcleo del arco, cuya temperatura puede llegar a 8.000°C , queda rodeado de una zona de hidrógeno, con temperatura de 500 a 800°C , alrededor de la cual se encuentra una capa de vapor recalentado y, sobre ésta, una capa de vapor saturado, cuya periferia constituye la zona de vaporización.

El proceso de desionización del arco es debido, sobre todo, a la presencia del hidrógeno, cuya acción desionizantes es una 7,5 veces superior a la del aire. Este proceso depende también de la intensidad de la corriente que se ha de cortar.

La figura # 18 muestra el proceso de ruptura del arco en el seno del aceite, cuando la corriente

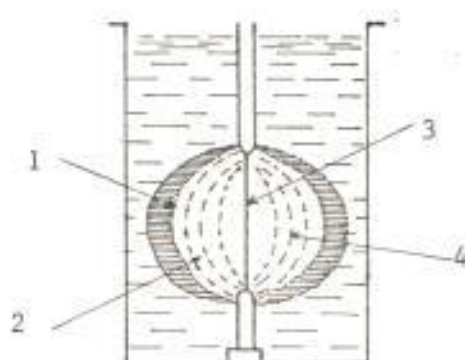


Fig. 17.- Representación esquemática del proceso de ruptura en un disyuntor en baño de aceite 1- Zona de vaporización. 2- Vapor saturado. 3- Hidrógeno. 4- Vapores recalentados.

retrasa casi 90° respecto de la tensión, es decir, en las circunstancias más desfavorables, pues en el instante en que el arco se extingue por pasar la corriente por cero, la tensión que reaparece entre los contactos, tiene un valor máximo.

Sea I la curva característica de la corriente que atraviesa el interruptor y supongamos que la separación de los contactos se produce en el ins

tante t_0 ; entre estos contactos se cebará un arco y, entre los bornes del disyuntor, tendremos una tensión U_a , valor que se mantiene sensiblemente constante durante la alternancia de la corriente. Al final de la alternancia, cuando la corriente se anula, la tensión del arco aumenta. Durante la alternancia, la introducción de la pequeña caída de tensión U_a en el arco, no aumenta sensiblemente que continuará siendo senoidal, si ya lo era anteriormente.

Cuando la corriente pasa por el valor cero, se extingue el arco, pero, como se ha indicado anteriormente, subsiste entre los contactos la columna de gases fuertemente ionizados. En este momento, se produce una rápida desionización y enfriamiento del canal del arco, fenómenos motivados principalmente por dos causas, ya citadas:

- 1.^a) la descomposición de los vapores de aceite que penetran en el canal del arco, y la vaporización del aceite que rodea la bolsa de gases, cuyos valores de descomposición e interno de vaporización son sus-

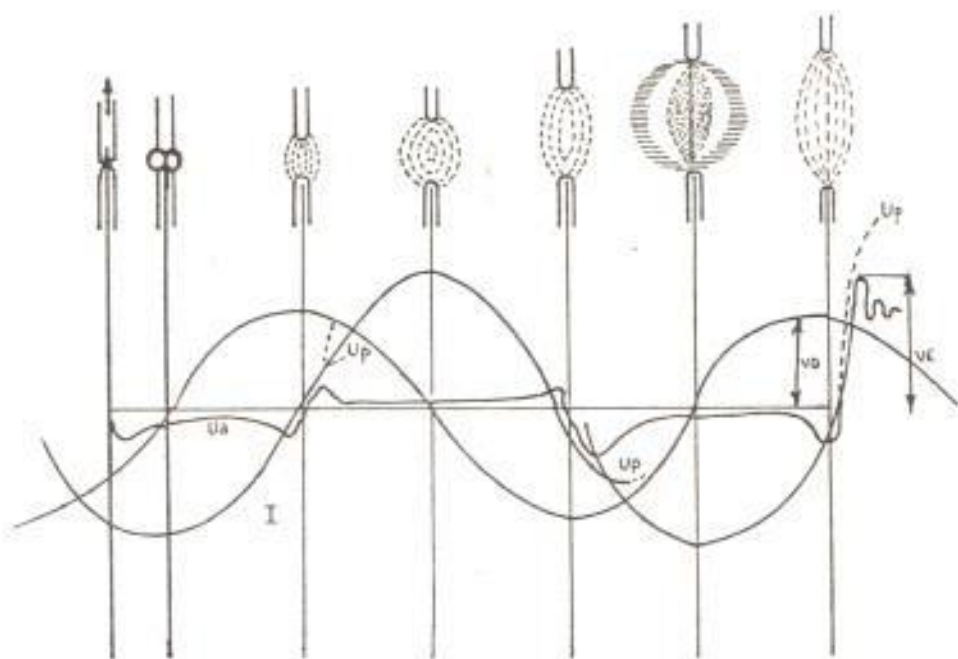


Fig. 18.- Proceso de la ruptura de un arco en bañõ de aceite.

traídos al canal del arco.

2,ª) el elevado valor de la conductividad térmica del hidrógeno.

En el momento en que la corriente se anula, la tensión entre los contactos del disyuntor que era muy reducida (caída de tensión en el arco U_a), debe pasar al valor de la tensión de la red la cual alcanza su valor máximo, ya que hemos supuesto la circunstancia más desfavorable, o

yuntor no toma inmediatamente el valor de la tensión existente en ese instante, sino que tiende progresivamente a este valor, hasta rebasarlo, pasa por un máximo y, después de unas cuantas oscilaciones amortiguadas, a la frecuencia propia de la red, alcanza definitivamente el valor correspondiente a la tensión de la red.

Durante todo el proceso de ruptura, ha ido aumentando la presión en el interior del recipiente cerrado que contiene el aceite. El incremento de la longitud del arco provoca un aumento de la energía desarrollada, la bolsa de gases aumenta de diámetro, y el aceite rechazado por esta bolsa puede, incluso, llegar a alcanzar la cubierta de la cuba. Como la cantidad de aceite que puede salir es insignificante, los gases desarrollados no disponen de mayor volumen que el volumen primitivo del aire situado sobre el aceite, siendo tanto mayor la presión desarrollada cuanto menor sea el volumen del colchón de aire y más pequeños los agujeros de salida de los gases.

En resumen, podemos decir que la ruptura bajo a

ceite presenta las siguientes ventajas respecto a la ruptura al aire:

1. Menor longitud del arco.
2. Mejor aislamiento entre piezas en tensión y entre estas piezas y masa.

Sin embargo, los inconvenientes son numerosos e importantes:

1. Inflamabilidad del aceite. En el caso de un fallo de ruptura, el aceite puede inflamarse y provocar grandes incendios.
- 2.- La mezcla de gases y aire puede resultar explosiva y, en caso de inflamarse el aceite, provocar la explosión del disyuntor.
3. La polución del aceite por el carbón producido por el arco. Aunque no afecta a sus cualidades desde el punto de vista de la extinción del arco, si reduce sus propiedades dieléctricas, ensucia los contactos y los diferentes órganos y aislantes sumergidos en el aceite y obliga, por lo tanto, a periódicas visitas de inspección y limpieza de los contactos.
4. No son adecuados para la ruptura de corrientes continuas.

1.4 OBJETIVOS Y LIMITACIONES DEL TRABAJO PROPUESTO

El desarrollo de la presente tesis busca brindar un aporte más para la elaboración de los criterios para la selección de Interruptores o Disyuntores de Alta Tensión de Corriente Alterna, que satisfaga los requerimientos técnicos y económicos requeridos y, sirvan también como una parte que ayude en la conformación de las Normas que - para el efecto se elaboren.

Este estudio ha sido limitado a la presentación y análisis de los aspectos que han determinado las distintas clases de Disyuntores en cuanto a su construcción y los elementos fundamentales de ellos, como son: el arco eléctrico y, las corrientes de Cortocircuito que deben soportar en un momento dado.

Para ello se hará un análisis de estas corrientes, determinando los valores efectivos de las mismas en base a medidas oscilográficas y la determinación de los valores efectivos de una Onda Sinusoidal, en un instante dado, simétrica o asimétrica. Con esto se podrá definir y caracterizar los elementos y partes componentes de los Disyuntores. Es decir, establecer condiciones de trabajo, definiciones generales, defini -

ciones de construcción, clasificación de términos, Regímenes, calentamiento, pruebas de dieléctrico y datos o especificaciones de placa.

Como aplicación a todo lo tratado nos limitaremos a realizar un ejemplo de como seleccionar un Disyuntor de Alta Tensión de Corriente Alterna para un sistema de 69 KV.

Finalmente, en el capítulo concerniente a Conclusiones y Recomendaciones, dejaremos establecidos los criterios que se han obtenido para la selección de Interruptores de Alta Tensión de Corriente Alterna.

CAPITULO II

CORRIENTES DE FALLA

2.1. PARAMETROS DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS

Con el propósito de definir ciertos términos que son de interés para el cálculo de la corriente de cortocircuito en un sistema de potencia, analizaremos la gráfica # 19, en donde se presenta la corriente en función del tiempo en un alternador de 30 KW y 208 voltios de tensión, cortocircuitado funcionando en vacío en la cual la componente unidireccional transitoria de la corriente ha sido eliminada al volver a dibujar el oscilograma.

Las reactancias que definiremos se denominan reactancias de eje-directo o simplemente directas. La reactancia directa se utiliza para calcular las caídas de tensión originadas por aquella componente de la corriente en el inducido que está en cuadratura (defasada 90°) con la tensión generada en vacío. Dado que la resistencia en un circuito con falla es pequeña comparada con la reactancia inductiva, la corriente en una

Corriente i

0

Tiempo

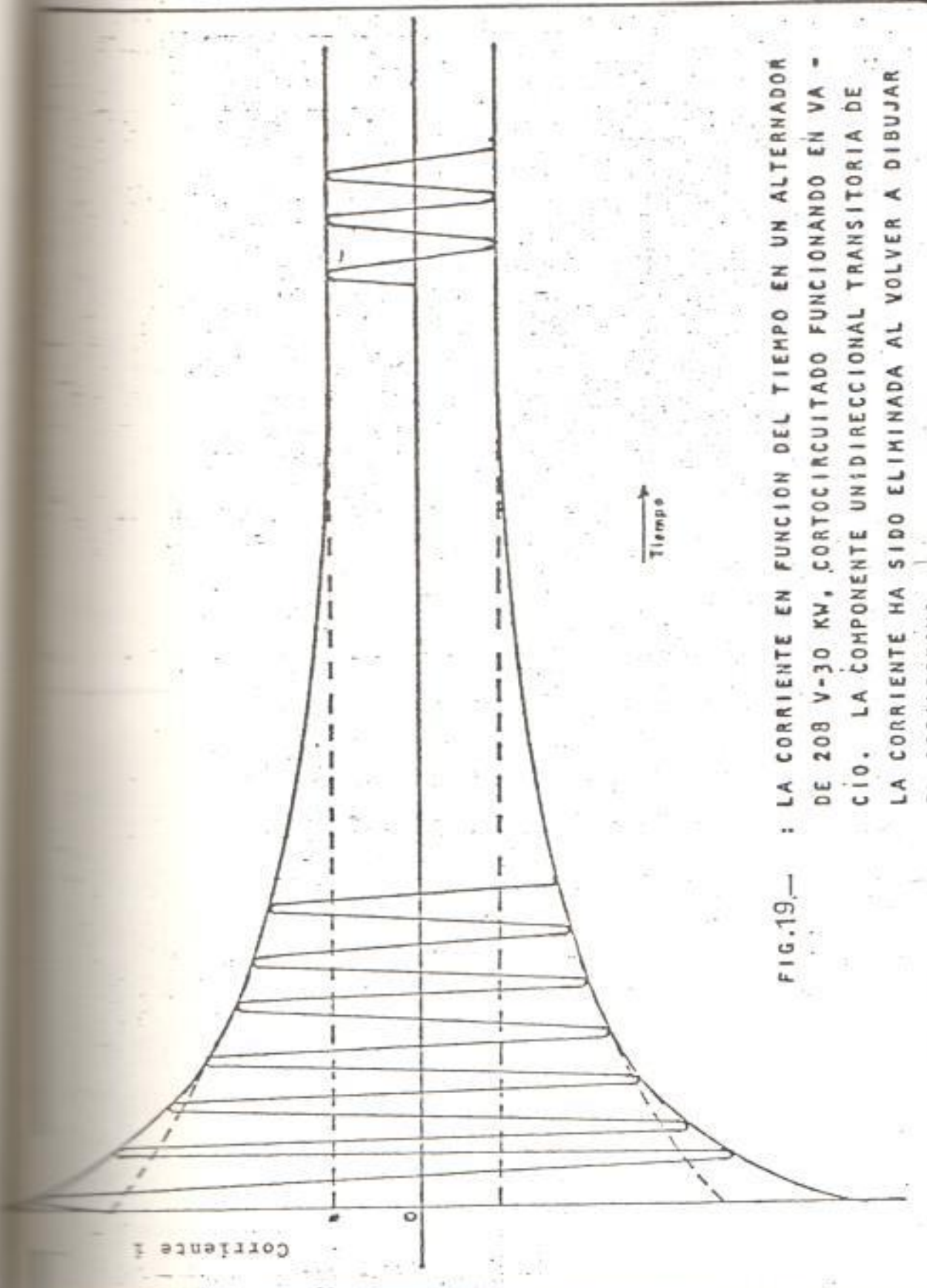


FIG.19.— : LA CORRIENTE EN FUNCION DEL TIEMPO EN UN ALTERNADOR DE 208 V-30 KW, CORTOCIRCUITADO FUNCIONANDO EN VA - CIO. LA COMPONENTE UNIDIRECCIONAL TRANSITORIA DE LA CORRIENTE HA SIDO ELIMINADA AL VOLVER A DIBUJAR EL OSCILOGRAMA.

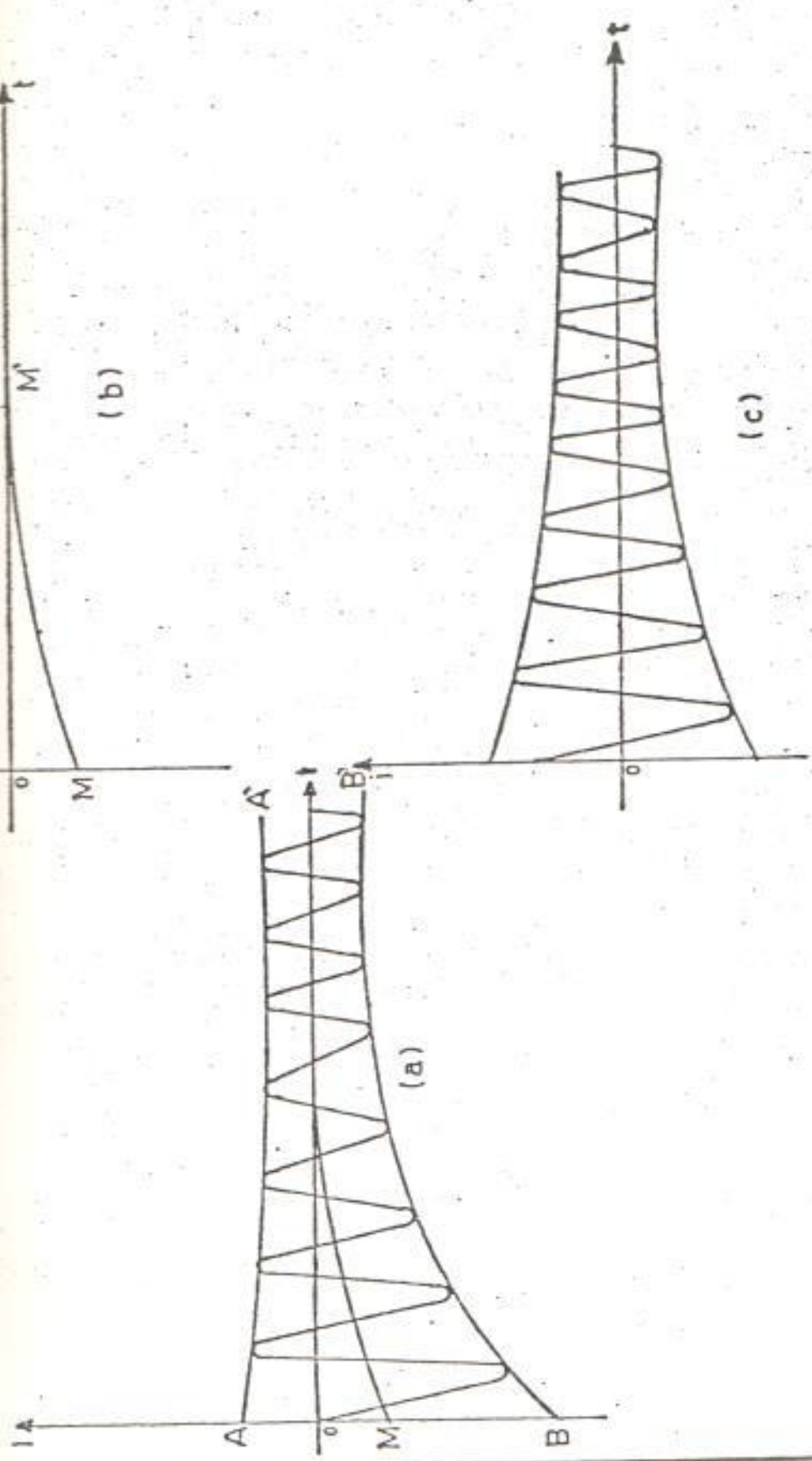


FIG. 19.— DESCOMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO.

falla está siempre retardada en un ángulo grande y, se necesita la denominada reactancia directa. En lo siguiente, es preciso recordar que la corriente representada en el oscilograma de la figura # 19 es la que circula en un alternador, que funciona en vacío, antes de que ocurra la falla.

En la figura # 19 la distancia oa es el valor máximo de la corriente de cortocircuito permanente. Este valor de la corriente, por $0,707$ es el valor eficaz $\{I\}$ de corriente en régimen permanente de cortocircuito. La tensión en vacío del alternador $|E_g|$, dividida por la corriente en el régimen permanente $|I|$, se llama reactancia sincrónica del alternador o reactancia sincrónica directa X_d , puesto que el factor de potencia es bajo durante el cortocircuito. Se desprecia la resistencia relativamente pequeña del inducido.

Si la envolvente de la onda de corriente se hace retroceder hasta el instante cero y se desprecian unos pocos de los primeros ciclos en los que el decremento es muy rápido, la inter-

sección determina la distancia ob . El valor eficaz de la corriente representado por esta intersección o sea $0,707$ veces ob en amperios, es lo que se llama corriente en régimen transitorio o simplemente corrientes transitorias $|I|$. Con ésta puede definirse una nueva reactancia de la máquina: la denominada reactancia transitoria o, en este caso particular, reactancia transitoria directa X'_d , que es igual a $|E_g| / |I'|$ para un alternador funcionado en vacío antes de la falla. El punto de intersección que la envolvente de la corriente determina en el eje cero, si se desprecia el rápido decremento de unos pocos de los primeros ciclos, se puede determinar más exactamente representado en papel semilogarítmico el exceso de la envolvente sobre el valor permanente representado por oa , como se ha hecho en la figura # 20. La parte recta de la curva se prolonga hasta el eje de ordenadas para $t = 0$ y se añade la intersección al valor instantáneo de la corriente permanente para obtener el valor máximo instantáneo de la corriente transitoria que corresponde a ob en la figura # 19.

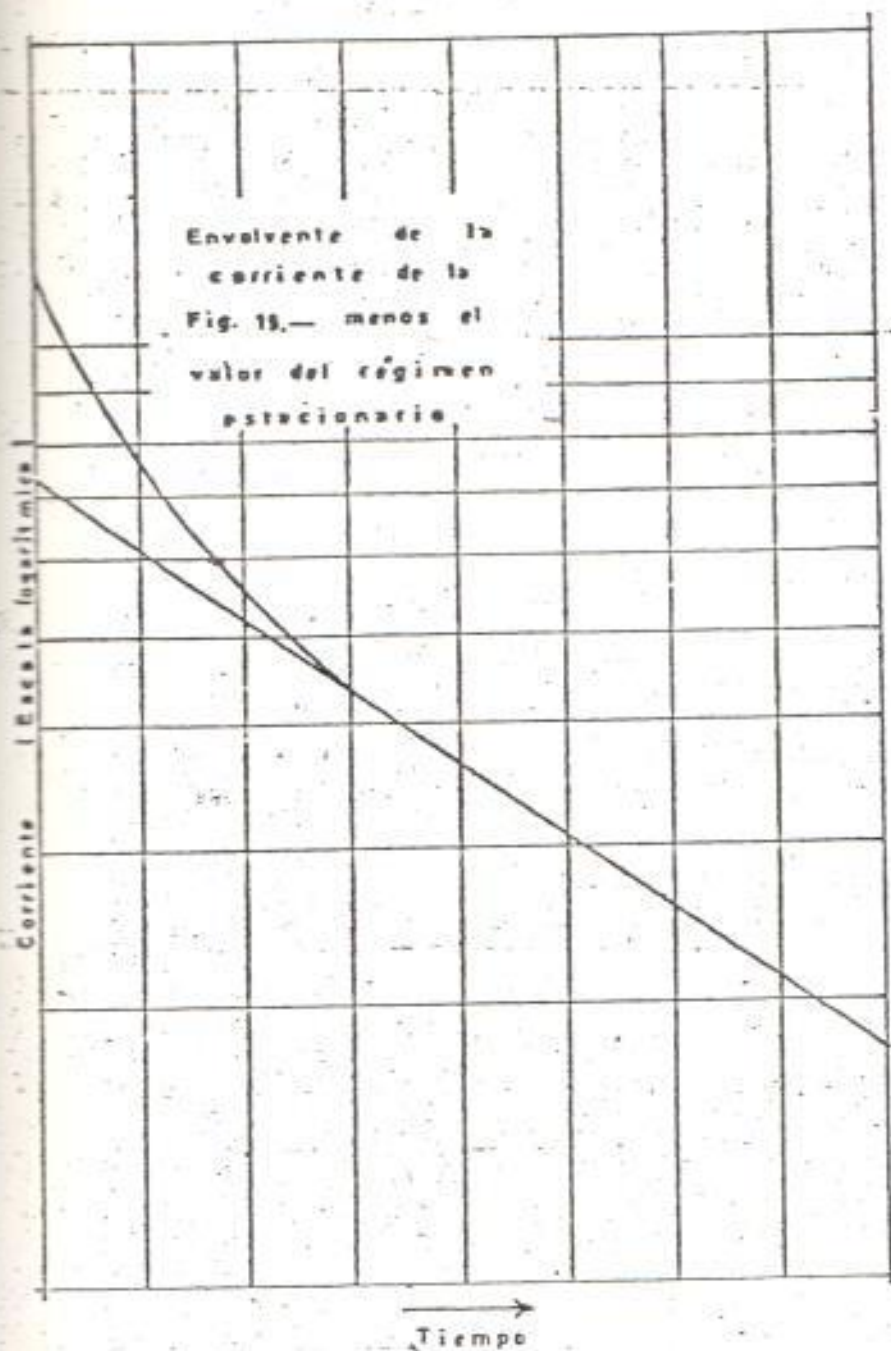


FIG.20.— EXCESO DE LA ENVOLVENTE DE LA CORRIENTE DE LA FIG.19.—, SOBRE LA CORRIENTE MÁXIMA PERMANENTE, REPRESENTADA EN PAPEL SEMILOGARITMICO.

El valor eficaz de la corriente determinado por la intersección de la envolvente con el eje de ordenadas en el tiempo cero, se denomina corriente subtransitoria $|I''|$. En la Fig. # 19, la corriente subtransitoria es igual a 0,707 por la ordenada oc. A la corriente subtransitoria se le llama frecuentemente corriente eficaz simétrica inicial, lo que es más descriptivo porque lleva consigo la idea de desprestigiar la componente continua y tomar el valor eficaz de la componente alterna de la corriente, inmediatamente después de presentarse la falla. La reactancia subtransitoria directa X_d'' para un alternador que funciona sin carga antes de presentarse la falla trifásica en sus terminales es $|E_g|/|I''|$;

Las corrientes y reactancias así determinadas vienen definidas por las siguientes ecuaciones, que son aplicables a un alternador que funcione en vacío antes de producirse la falla trifásica en sus terminales:

$$|I| = \frac{oa}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d}$$

$$|I'| = \frac{ob}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d'}$$

$$|I''| = \frac{oc}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d''}$$

siendo $|I|$ = corriente permanente, valor eficaz

$|I'|$ = corriente transitoria, valor eficaz, excluyendo la componente continua.

$|I''|$ = corriente subtransitoria, valor eficaz, excluyendo la componente continua.

X_d = reactancia sincrónica directa.

X_d' = reactancia transitoria directa.

X_d'' = reactancia subtransitoria directa.

$|E_g|$ = valor eficaz de la tensión entre un terminal y el neutro en vacío.

oa, ob y oc son las intersecciones correspondientes a la Fig. # 19

Si el generador está en vacío cuando se presenta la falla, la máquina se representa con la tensión en vacío respecto al neutro en serie

con la reactancia adecuada. La resistencia se toma en cuenta si se desea mayor exactitud. Si existe una impedancia exterior al generador entre sus terminales y el cortocircuito, la impedancia exterior debe ser también incluida en el circuito.

La determinación de las reactancias de la máquina a partir de un oscilograma de la corriente que circula cuando la máquina se pone en cortocircuito en vacío es solamente uno de tantos métodos utilizables.

Aunque las reactancias no son verdaderas constantes de la máquina y dependen del grado de saturación del circuito magnético, sus valores están normalmente dentro de ciertos límites y pueden predecirse para algunos tipos de máquina.

En general las reactancias subtransitorias de generadores y motores se utilizan para determinar la corriente inicial que circula al producirse un cortocircuito. Para determinar la capacidad de interrupción de los interruptores, excepto aquellos que abren instantáneamente, se utiliza la reactancia subtransitoria para los

generadores y la transitoria para los motores - síncronos. En los estudios de estabilidad en los que el problema es determinar si una falla originará la pérdida de sincronismo de la máquina con el resto del sistema, si la falla es eliminada después de un cierto intervalo de tiempo, se aplican las reactancias transitorias.

2.2. ANALISIS DE LAS CORRIENTES DE FALLA

Cuando en una red de energía se produce una falla, la corriente que circula viene determinada por las f.e.m. de las máquinas de la red, por sus impedancias y por las impedancias de la red entre las máquinas y la falla. La corriente que pasa por una máquina síncrona inmediatamente después de la falla, la que circula varios ciclos más tarde y la persistente o valor correspondiente al estado-permanente de la falla son completamente distintas a causa del efecto de la corriente en el rotor sobre el flujo que genera la tensión en la máquina, como hemos visto en el punto anterior. La corriente varía con lentitud relativa desde su valor inicial hasta el correspondiente al estado permanente.

Un generador de corriente alterna (alternador) está formado por un campo magnético giratorio - que genera una tensión en el devanado de un inducido que tiene resistencia y reactancia. La corriente que circula cuando se cortocircuita un alternador es similar a la que circula cuando se aplica súbitamente una tensión alterna a una resistencia y a una reactancia en serie. Sin embargo, hay diferencias importantes, porque la corriente en el inducido afecta al campo giratorio.

Para analizar el efecto de un cortocircuito trifásico en los terminales de un alternador sin carga, un procedimiento excelente consiste en tomar un oscilograma de la corriente en una de las fases al presentarse tal falla. Como las tensiones generadas en las fases de una máquina trifásica están defasadas unas de otras en 120° eléctricos, el cortocircuito se aplica en puntos diferentes de la onda de tensión de cada fase. Por esta razón la componente unidireccional o de régimen transitorio de la corriente es diferente en cada fase. Si se elimina la componente continua de la corriente de cada fase, la representación gráfica de la corriente de cada fase en fun

ción del tiempo corresponde a la Fig. # 19. En una máquina síncrona, el flujo, a través del entrehierro, es mucho mayor en el instante de ocurrir el cortocircuito que unos pocos ciclos más tarde. La reducción del flujo es originado por la f.m.m. de la corriente en el inducido. El fenómeno se denomina reacción del inducido. El flujo resultante a través del entrehierro se debe a la f.m.m. combinada del arrollamiento de - continua y la corriente del inducido. Es necesario cierto tiempo para que tenga lugar la disminución del flujo. Cuando el flujo en el entrehierro disminuye, la corriente del inducido disminuye porque la tensión generada por el flujo en el entrehierro determina la corriente. - Esto explica la disminución gradual de la corriente que se representa en la Fig. # 19.

2.3. COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE FALLA

Continuando con el análisis de las corrientes de falla, vamos a determinar los componentes de los mismos. Para el efecto, consideremos un sistema simple como el representado en la figura # 21, y, supongamos que se va a producir una falla trifásica en la línea.

Inv. No. DOT-021



Fig. 21.- Diagrama UNILINEAL de un sistema eléctrico sencillo.

En condiciones normales, podemos representar este sistema por su diagrama de impedancias, como se ve en la figura # 22.

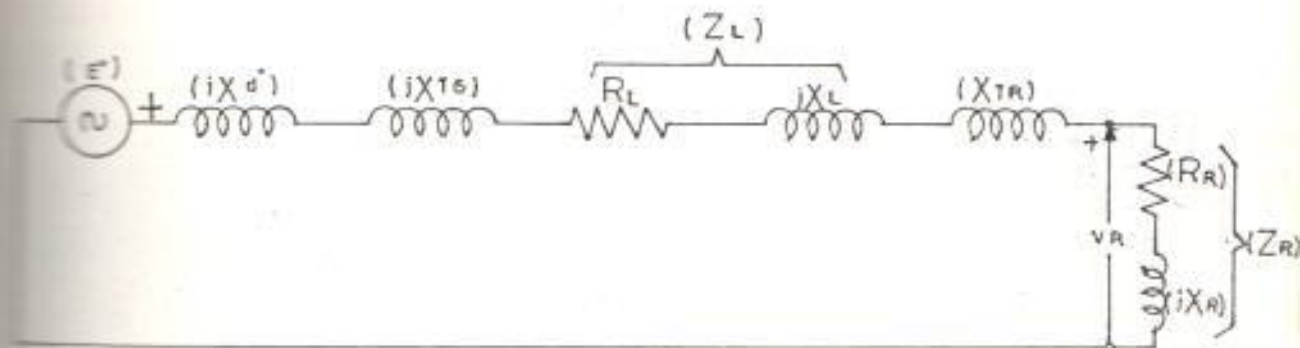


Fig. 22.- Diagrama de Impedancias

en donde:

(E'') = valor en por unidad de la ten-

si3n subtransitoria.

(X_d'') = valor en por unidad de la reac
tancia subtransitoria.

(X_{tg}) = valor en por unidad de la reac
tancia del transformador junto
al generador.

(Z_L) = valor en por unidad de la Impede
dancia de la lnea de transmisi
3n, se ha despreciado la capac
itancia de la misma.

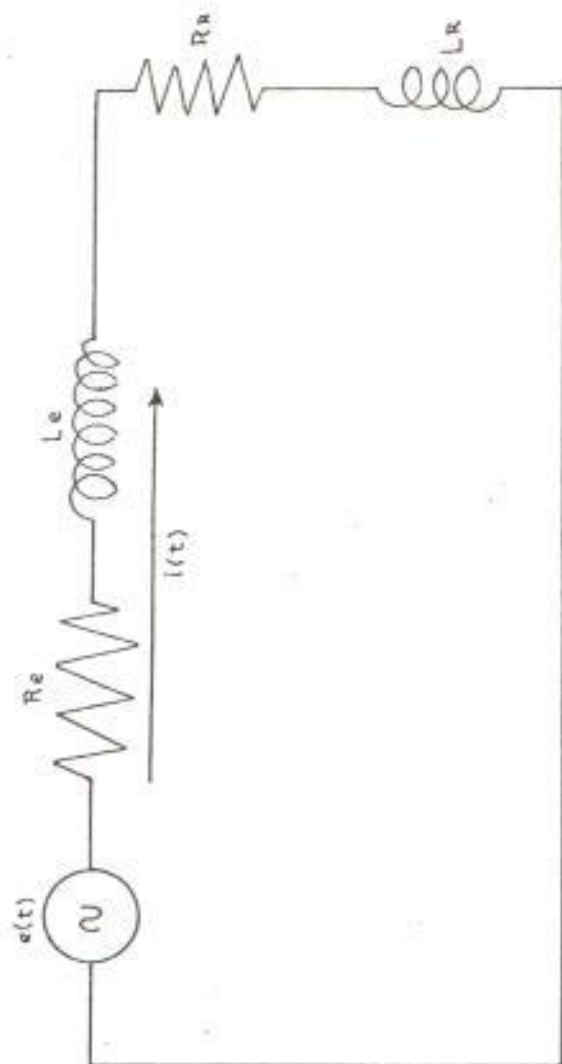
(X_{TR}) = valor en por unidad de la reac
tancia del transformador en el
punto de recepci3n.

(Z_R) = valor en por unidad de la impede
dancia que representa a la carga
pasiva.

El circuito anterior puede expresarse de la sigu
iente forma, para estudio en operaci3n normal,
(figura # 23).

Si suponemos que al tiempo $t = 0$ se va a producir
el cortocircuito, 3ste puede ocurrir en un
punto cualquiera de la onda de tensi3n, enton-

FIG. HA 23

DIAGRAMA UNILINEAL PARA ANALISIS EN OPERACION
NORMAL DEL CIRCUITO DE LA FIG. N° 22

ces la ecuación de la tensión puede expresarse:

$$e(t) = E_m \text{ Sen}(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

la misma que da una gráfica como la mostrada en la fig. # 24

Con la suposición hecha, tenemos que: para valores de $t < 0$ el circuito estará en condiciones de operación normal y para valores de $t > 0$ en condiciones de fallas.

Para $t = 0$ el valor de la onda de tensión será:

$$e = E_m \text{ Sen } \alpha.$$

en donde α representa el ángulo que toma en cuenta el valor instantáneo de la onda de tensión en el momento de ocurrir el cortocircuito.

En condiciones normales de funcionamiento, es decir, para valores de $t < 0$ la corriente será:

$$i(t) = I_m \text{ Sen}(\omega t + \alpha - \phi_0) \quad (2)$$

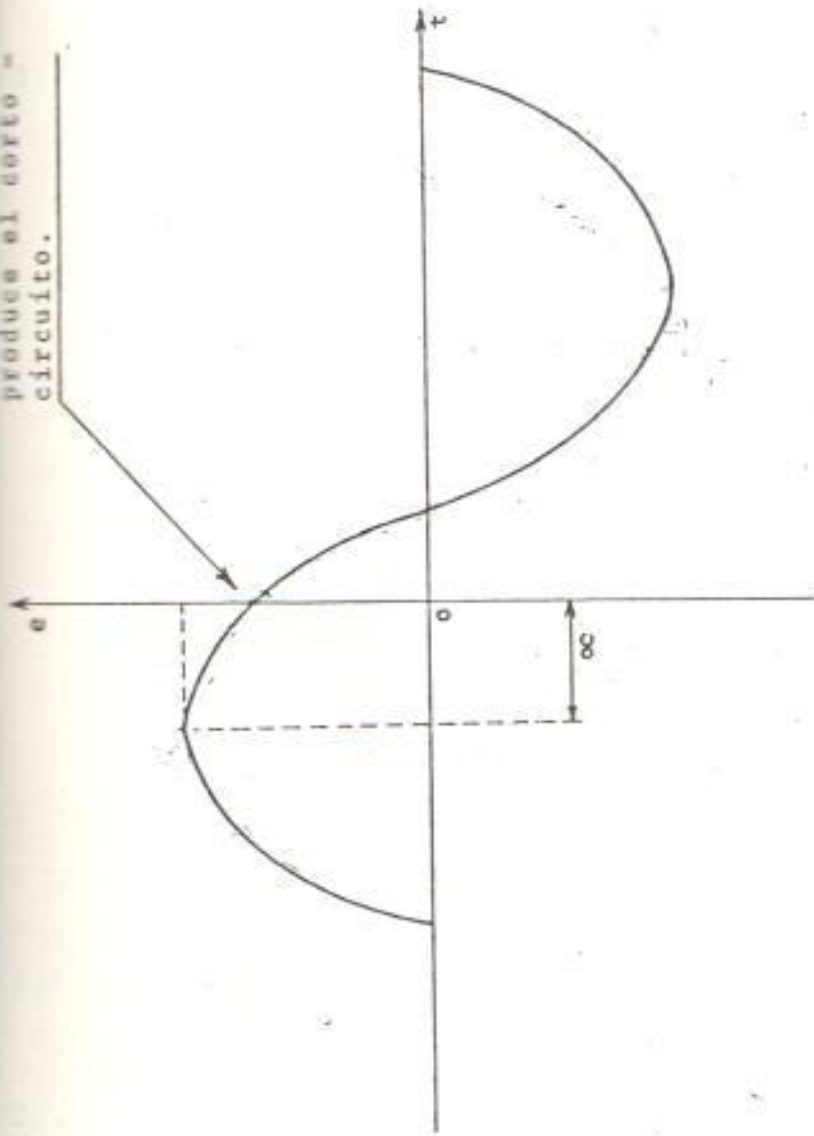
en donde:

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{(R_e + R_r)^2 + \omega^2 (L_e + L_r)^2}} \quad (3)$$

$$Y, \quad \phi_0 = \text{arctg} \frac{\omega (L_e + L_r)}{R_e + R_r} \quad (4)$$

Generalmente, en condiciones normales, el cose

instante en que se produce el corto = circuito.



GRAFICA DE LA ONDA DE TENSION SINUSOIDAL DE LA ECUACION (1)

FIG. 11.11

no del ángulo ϕ_0 varía entre 0.9 y 1.0, en sistemas de potencia de corriente alterna.

2.3.1. ANALISIS EN CONDICIONES DE FALLAS

Como hemos supuesto que al tiempo $t = 0$ ocurre una falla trifásica en la línea, el circuito que representa al sistema bajo estas condiciones será como el de la figura # 25.

En la figura # 25 se tendrá que:

$$\lambda_1 < 1$$

$$\lambda_2 < 1$$

Y aplicando la ley de los voltajes de Kirchhoff podemos escribir:

$$e(t) = RI_f + L \frac{dI_f}{dt} \quad (5)$$

y la ecuación diferencial que describe las condiciones del circuito al producirse la falla, es:

$$RI_f + L \frac{dI_f}{dt} = E \text{ Sen } (\omega t + \alpha - \phi_f) \quad (6)$$

En donde:

$$\phi_f = \text{arctg} \frac{\omega L}{R} \quad (7)$$

FIG. Nº 25

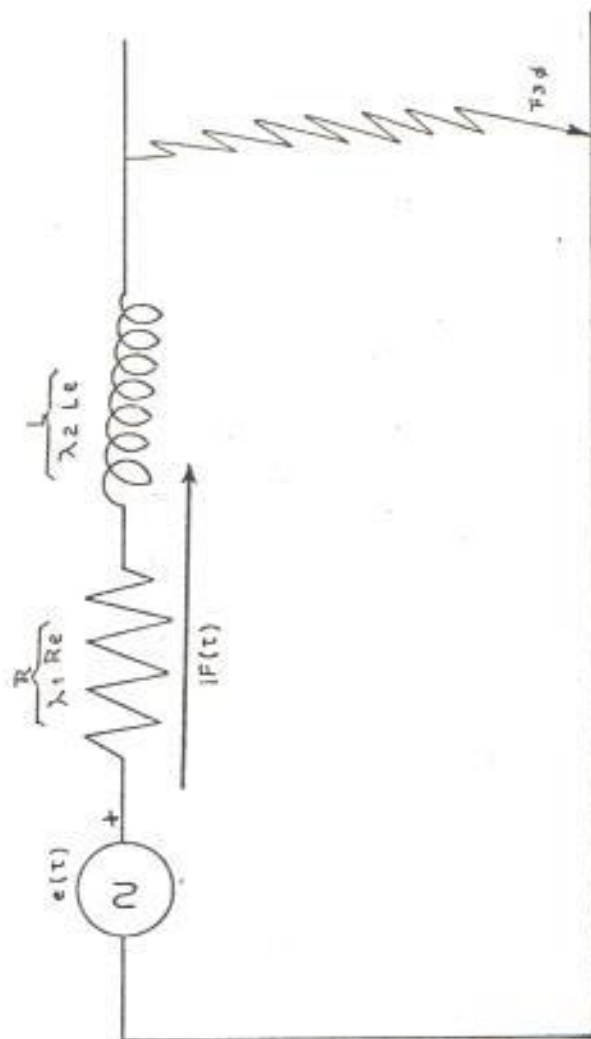


DIAGRAMA UNILINEAL DEL SISTEMA CON UNA FALLA TRIFASICA

La ecuación de la corriente de falla consta de dos términos:

1) El primer término

$$K\epsilon^{-\frac{R}{L}t} \quad (8)$$

que es una corriente continua amortiguada que decae con la constante de tiempo $\frac{L}{R}$ y que la podemos llamar corriente de falla transitoria.

2) El segundo término

$$I_{fm} \text{ Sen } (\omega t + \alpha - \phi_f) \quad (9)$$

que es una corriente alterna simétrica de frecuencia $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ciclos por segundo, que la podemos llamar corriente de falla estacionaria.

Debido al teorema de enlace de flujos constan -

tes, tenemos:

$$i(0-) = i(0+) \quad (10)$$

y en condiciones estables es decir a $T=0$ y antes de producirse el cortocircuito, el valor de la corriente i , será, de acuerdo a la ecuación (2).

$$i(0-) = I_m \text{ Sen } (0 + \alpha - \phi_o)$$

$$i(0-) = I_m \text{ Sen } (\alpha - \phi_o) \quad (11)$$

en donde I_m está dada por la ecuación (3) y ϕ_o por (4).

Cuando $T=0+$, se produce el cortocircuito y la corriente será:

$$i(0+) = I_{fm} \text{ Sen } (0 + \alpha - \phi_f) + K e^{-0}$$

$$i(0+) = I_{fm} \text{ Sen } (\alpha - \phi_f) + K \quad (12)$$

de la ecuación (10):

$$I_m \text{ Sen } (\alpha - \phi_o) = I_{fm} \text{ Sen } (\alpha - \phi_f) + K \quad (13)$$

Luego:

$$K = I_m \text{ Sen } (\alpha - \phi_o) - I_{fm} \text{ Sen } (\alpha - \phi_f) \quad (14)$$

en donde ϕ_f está dada por (7) y I_{fm} por:

$$I_{fm} = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad (15)$$

Por lo que finalmente podemos escribir:

$$i_f(t) = (I_m \text{ Sen } (\alpha - \phi_o) - I_{fm} \text{ Sen } (\alpha - \phi_f)) e^{-\frac{Rt}{L}} + I_{fm} \text{ Sen } (\omega t + \alpha - \phi_f) \quad (17)$$

generalmente en los sistemas eléctricos de potencia se tiene que:

$$\cos \phi_o = 1,0 \quad \text{y} \quad \phi_o = 0^\circ$$

$$\cos \phi_f = 0,0 \quad \text{y} \quad \phi_f = 90^\circ$$

de aquí que en tales situaciones, se tenga:

$$k = I_m \text{ Sen } \alpha - I_{fm} \text{ Sen } (\alpha + 90^\circ)$$

$$K = I_m \text{ Sen } \alpha + I_{fm} \text{ Cos } \alpha$$

Por consiguiente:

$$i_f(t) = (I_m \text{ Sen } \alpha + I_{fm} \text{ Cos } \alpha) e^{-\frac{R}{L} t} - I_{fm} \text{ Cos } (\omega t + \alpha) \quad (18)$$

analizando la ecuación anterior podemos obtener

las siguientes conclusiones:

1.- Si el cortocircuito se produce cuando la onda de tensión pasa por su valor máximo, es decir:

$$\alpha = 90^\circ$$

entonces el valor de K será:

$$K = I_m \text{ Sen } 90^\circ + I_{fm} \text{ Cos } 90^\circ$$

$$K = I_m$$

Por lo que:

$$i_F(t) = I_m e^{-\frac{R}{L}t} - I_{fm} \text{ Cos } (\omega t + 90^\circ)$$

$$i_F(t) = I_m e^{-\frac{R}{L}t} + I_{fm} \text{ Sen } \omega t \quad (19)$$

La ecuación (19) presenta una gráfica como la mostrada en la fig. # 26. Conclúyese por lo tanto que la componente de corriente continua es insignificante, en este caso, en la corriente total de falla.

2.- Si el cortocircuito se produce en el instante en que la onda de tensión pasa por su valor 0, es decir:

$$\alpha = 0^\circ$$

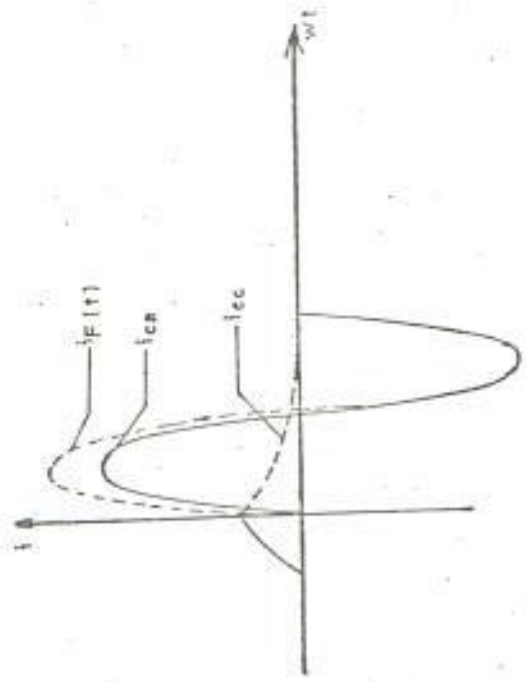
Se tendrá entonces que K valdrá.

$$K = I_m \text{ Sen } 0^\circ + I_{fm} \text{ Cos } 0^\circ$$

$$K = I_{fm}$$

$$\text{por lo que: } i_F(t) = I_{fm} e^{-\frac{R}{L}t} - I_{fm} \text{ Cos } \omega t \quad (20)$$

FIG. 10 26



GRAFICA DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO CUANDO

$\alpha = 90^\circ$

A partir de la ecuación (20) puede concluirse que la componente de corriente continua alcanzará su valor inicial máximo como se muestra gráficamente en la fig. # 27. Dicho valor será:

$$\frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

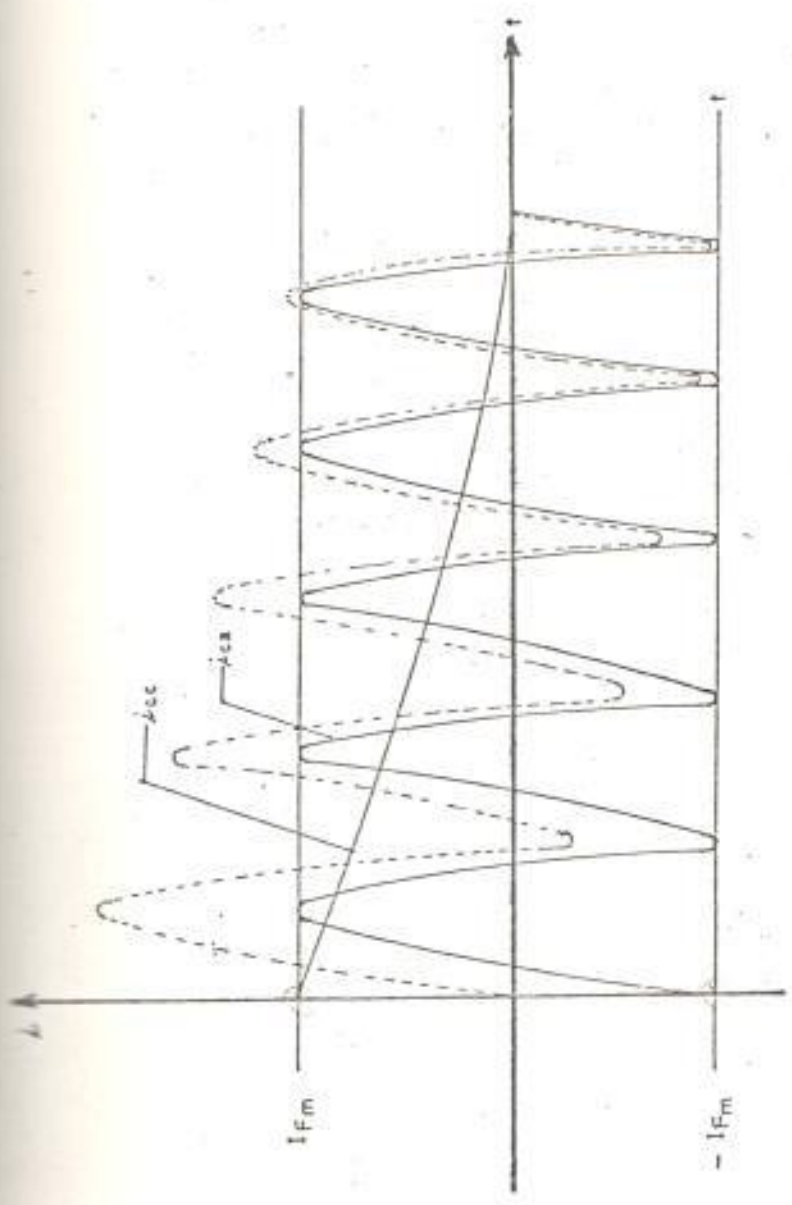
En el cálculo del cortocircuito al representar al generador como fuente de fuerza electro motriz constante en serie con la reactancia subtransitoria, se está calculando la corriente subtransitoria. Para tomar en cuenta el fenómeno de asimetría producido por la posible existencia de una componente de corriente continua, se multiplica la corriente simétrica por un factor mayor que la unidad, cuya magnitud depende del instante en que se quiere determinar la corriente total.

El valor eficaz de la corriente de cortocircuito Asimétrica I_a , en un instante dado, es igual a:

$$I_a = \sqrt{I_{cc}^2 + I_s^2} \quad (21)$$

donde :

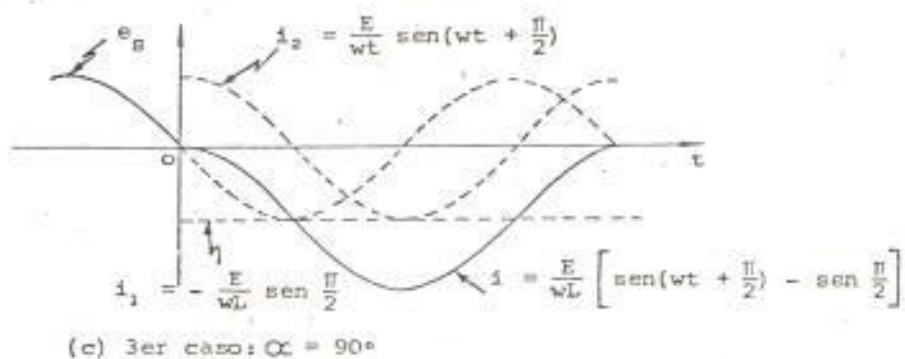
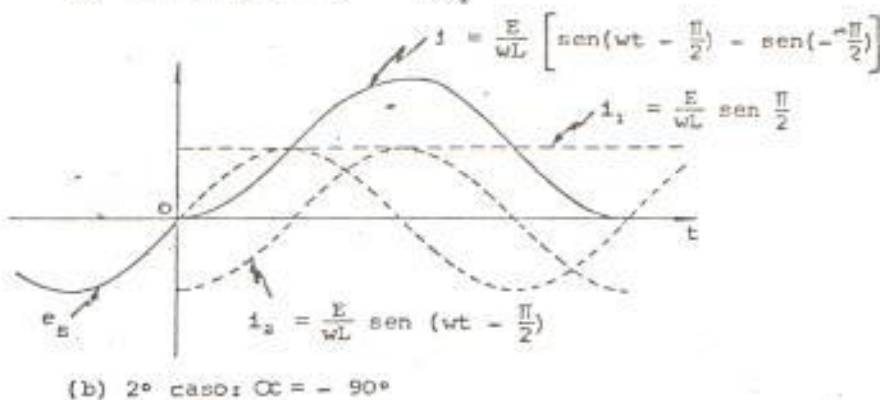
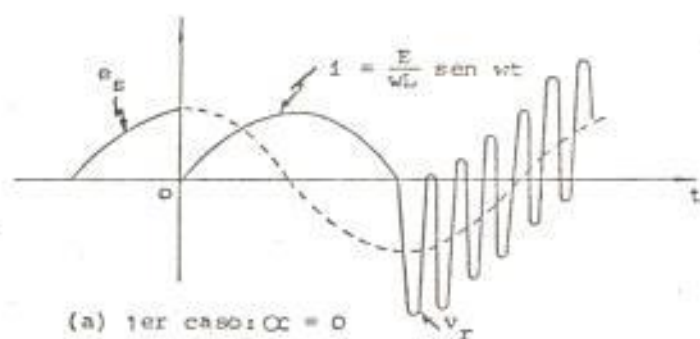
I_{cc} = Valor de la componente de corriente continua, en el instante considerado.



GRAFICA DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO CUANDO

$\alpha = 0^\circ$

Fig. N° 26' y 27'



VALOR DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO
Y DEL VOLTAJE DE RECUPERACION V_r PARA
 α IGUAL A 0° , -90° y 90° .

I_s = Valor eficaz de la componente de corriente alterna simétrica en el instante considerado.

- 4.- Para el caso en que el cortocircuito se produce en el instante en que el voltaje pasa por 0, que es la situación en que se tiene más asimetría, el valor inicial de la componente de corriente continua es de igual magnitud y de signo contrario que el valor de cresta de la corriente subtransitoria Simétrica, como se observa en la fig. # 28.

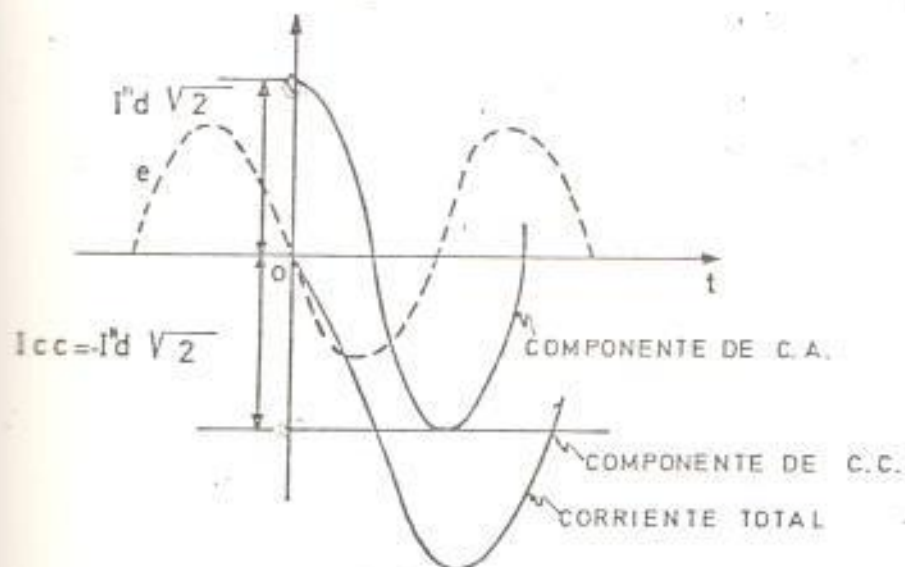
Si se desprecia el amortiguamiento de ambas componentes, durante el primer ciclo, se tiene que el valor eficaz de la corriente total de cortocircuito es igual a:

$$I_{as} = \sqrt{I_{cc}^2 + I_d''^2} \quad (22)$$

$$I_{as} = \sqrt{(-I_d''/\sqrt{2})^2 + I_d''^2} = \sqrt{3} I_d'' \quad (23)$$

a partir de lo anterior podemos decir que con protecciones y disyuntores modernos, que interrumpen la corriente de cortocircuito en unos cuantos ciclos, la corriente interrumpida es la corriente Subtransitoria, o, con protecciones más lentas, la Transitoria.

- 5.- De acuerdo con la ecuación (8) la corriente de corto

FIG. N^o 28

VALOR INICIAL DE LAS COMPONENTES DE CORRIENTE CONTINUA Y DE CORRIENTE ALTERNA SIMETRICA, PARA EL CASO DE MAXIMA ASIMETRIA.

circuito alcanza su valor máximo para $\alpha = 0$, o sea — cuando el cortocircuito se establece en el momento — en que el voltaje v es igual a cero, reduciéndose la ecuación (8) a la siguiente expresión:

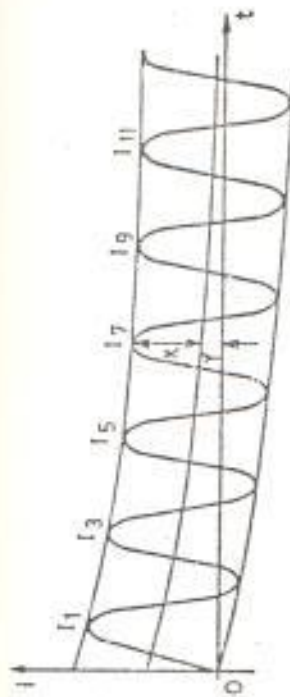
$$I_f = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \left(\text{Sen}(\omega t - \phi_f) + \text{Sen}\phi_f e^{-\frac{R}{L}t} \right) \quad (24)$$

El valor inicial de la componente de corriente continua (para $t = 0$) es de la misma magnitud y de sentido contrario que el valor inicial de la componente — de corriente alterna Simétrica.

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) ha — propuesto un circuito normalizado de prueba para los interruptores en el cual se verifique que:

$$\frac{\omega L}{R} = 14.3 \quad \phi_f = \text{tg}^{-1} \frac{\omega L}{R} = 86^\circ$$

Para este circuito normalizado, la corriente máxima de cortocircuito tiene las características indicadas en la fig. # 29, en la cual puede apreciarse que al cabo de tres ciclos y medio (58.3 milisegundos para un sistema de sesenta ciclos por segundo) la relación entre el valor de la componente continua Y y el va — lor de cresta de la componente alterna Simétrica es prácticamente igual a:



Valores de las crestas positivas de la onda asimétrica en función del valor de cresta de la onda simétrica.

I_1	$= 1.60 I$
I_3	$= 1.51 I$
I_5	$= 1.33 I$
I_7	$= 1.21 I$
I_9	$= 1.13 I$
I_{11}	$= 1.09 I$

ONDA DE CORRIENTE ASIMETRICA NORMALIZADA

$$\frac{Y}{X} \times 100 = 20\%$$

Así mismo, de acuerdo con las reglas de la CEI la capacidad interruptiva del disyuntor queda definida por dos valores:

- a) La capacidad interruptiva Simétrica, expresada por el valor eficaz de la componente de corriente alterna de la corriente total interrumpida por el disyuntor.

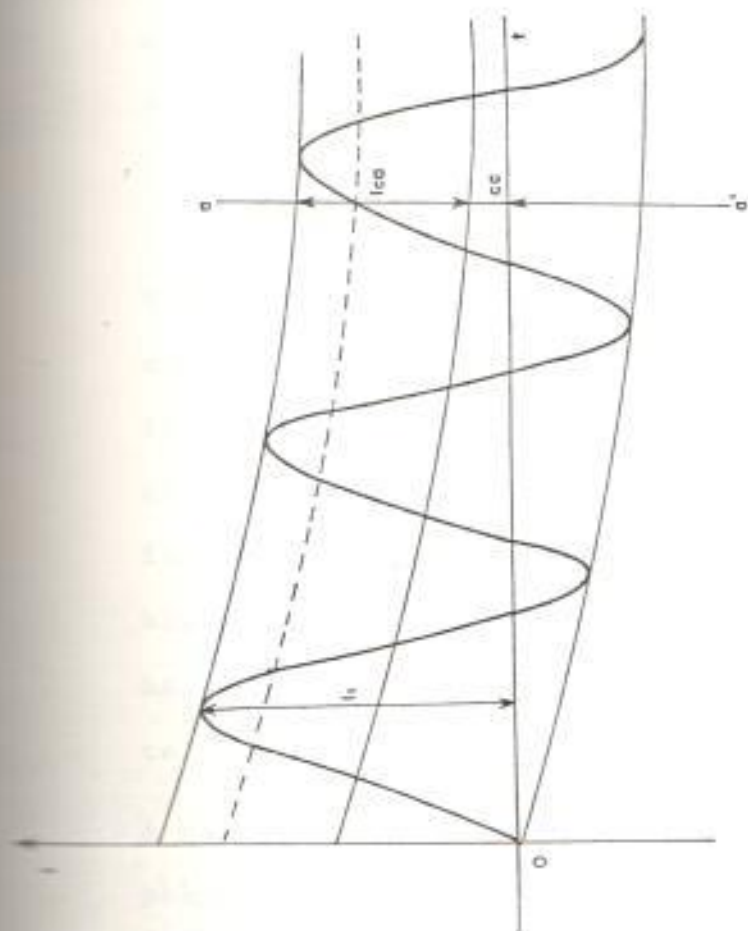
En la fig. # 30, I_{ca} representa el valor de cresta de la componente de corriente alterna. Por consiguiente la capacidad interruptiva Simétrica está dada por:

$$I_s = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}} \quad \text{amperios r.m.s.} \quad (25)$$

- b) La capacidad interruptiva Asimétrica o total, expresada por el valor eficaz de la corriente total interrumpida por el disyuntor.

En la fig. # 30 I_{cc} representa el valor de la componente de corriente continua en el instante de la separación de los contactos. Por consiguiente la capacidad interruptiva Asimétrica está dada por:

$$I_{as} = \sqrt{\left(\frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_{cc}^2} \quad \text{amperios r.m.s.} \quad (26)$$



CAPACIDAD INTERRUPTIVA SIMETRICA Y ASIMETRICA Y CAPA
CIDAD DE CIERRE

La componente de corriente continua se considera despreciable cuando su valor es igual o menor que el 20% del valor de cresta de la componente Simétrica de corriente alterna. Por consiguiente, de acuerdo con la gráfica de la fig. # 30, para disyuntores cuyo tiempo de operación es de 60 milisegundos (3.6 ciclos) o mayor se especifica únicamente la capacidad interruptiva Simétrica. En efecto, para determinar el tiempo que transcurre desde que se establece el cortocircuito hasta que se separan los contactos del disyuntor, hay que sumarle al tiempo propio de operación del disyuntor 10 milisegundos correspondientes al tiempo de operación de los relés de protección; en la gráfica de la fig. # 30 puede verse que para un tiempo de $60+10=70$ milisegundos, la componente de corriente continua se ha reducido al 20% del valor de cresta de la componente de corriente alterna Simétrica.

A partir del circuito de prueba normalizado por la CEI pueden establecerse los siguientes valores de la relación entre la capacidad interruptiva Asimétrica y Simétrica en función del tiempo de operación, como se muestra a continuación:

<u>I_{as}</u>	Tiempo de Operación en milisegundos
I _a	
1.50	0

1.35	1
1.25	2
1.15	3
1.10	4
1.05	5
1.00	6

La capacidad interruptiva del disyuntor puede ser expresada también en Mega Volts - Amperios (MVA).

Un disyuntor instalado para que opere en un circuito trifásico, tendrá una capacidad interruptiva trifásica (Simétrica o Asimétrica) = a la capacidad interruptiva en Amperios (Simétrica o Asimétrica) ; multiplicada por el voltaje de recuperación de frecuencia fundamental y por $\sqrt{3}$. O sea:

$$S_s = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_s \quad (27)$$

$$S_{as} = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_{as} \quad (28)$$

donde V_r = Voltaje de recuperación es:

$$V_r = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{3} \left[\frac{V_a}{2\sqrt{2}} + \frac{V_b}{2\sqrt{2}} + \frac{V_c}{2\sqrt{2}} \right] \quad (29)$$

y, V_a , V_b , y V_c , son los valores de los voltajes de las fases medidos en el ciclo siguiente a la extinción de los arcos eléctricos en todos los polos.

Finalmente, para definir en forma completa la capaci -

dad de interrupción de un disyuntor se especifica su capacidad interruptiva nominal Simétrica en MVA, para voltajes de recuperación comprendidos entre los voltajes nominales máximo y mínimo del disyuntor y dos valores de la capacidad interruptiva Simétrica en amperios (valor eficaz), a saber:

- 1).- El correspondiente a un voltaje de recuperación igual al voltaje nominal máximo del disyuntor: -

$$I_{s1} = \frac{S_s}{V_{r1} \sqrt{3}} \quad (30)$$

- 2).- El correspondiente a un voltaje de recuperación igual al voltaje nominal mínimo del disyuntor:

$$I_{s2} = \frac{S_s}{V_{r2} \sqrt{3}} \quad (31)$$

Por otro lado, la máxima intensidad de corriente que el interruptor puede establecer, con un voltaje dado, se ha definido como capacidad de cierre o de conexión con enganche.

El caso más severo para el disyuntor se produce cuando éste cierra contra un cortocircuito en el instante en que el voltaje pasa por cero, de manera que la corriente total de cortocircuito alcanza su valor máximo como se muestra en la fig. # 30. La capacidad de cierre esta dada por el valor de la primera cresta de

la onda de corriente Y_1 .

La primera cresta de la onda de corriente puede alcanzar un máximo de 1.6 veces el valor de cresta I_{ca} de la onda de corriente Simétrica. Esta corriente se la denomina generalmente corriente momentánea máxima. Como la capacidad interruptiva Simétrica en amperios (valor eficaz) está dada por :

$$I_s = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}} \quad (32)$$

Se tiene que la capacidad de cierre en amperios (valor de cresta) I_1 es igual a:

$$I_1 = 1.6 \sqrt{2} I_s \quad (33)$$

$$I_1 = 2.26 I_s \quad (34)$$

De acuerdo con las reglas de ANSI. Para la CEI estos valores son:

$$I_1 = 1.8 \sqrt{2} I_s \quad (35)$$

$$I_1 = 2.55 I_s \quad (36)$$

Se puede tomar cualquiera de los dos valores, recordando que la capacidad de cierre se establece para un voltaje entre fases determinado existente inmediatamente antes del cierre del disyuntor.

De lo anterior, se concluye que para cada disyuntor se especifican dos valores nominales de capacidad de cierre,

correspondientes respectivamente al voltaje nominal máximo y al voltaje nominal mínimo del disyuntor. Por consiguiente, cada capacidad de cierre nominal expresada en amperios (valor de cresta) es igual a 2.26 o 2.55 veces la capacidad interruptiva Simétrica nominal correspondiente, expresada en amperios (valor eficaz), según se adopte el criterio de ANSI o de la CEI.

Asimismo, resulta que la capacidad de cierre o de conexión con enganche expresada en amperios es inversamente proporcional al voltaje entre fases existente inmediatamente antes del cierre, para valores comprendidos entre los voltajes nominales máximo y mínimo del disyuntor.

Para voltajes inferiores al voltaje nominal mínimo del disyuntor, la capacidad de conexión, expresada en amperios, es constante e igual a la correspondiente al voltaje nominal mínimo.

Adicionalmente a lo tratado, debe tenerse en cuenta que el disyuntor deberá soportar durante un cortocircuito, sobre corrientes en un tiempo limitado, en su posición de cerrado y antes de que operen los dispositivos automáticos de apertura, que son:

- a).- El valor eficaz I_e de la corriente de cortocircuito durante un segundo a la frecuencia nominal y

que es igual a su capacidad interruptiva Simétrica, expresada en amperios (valor eficaz), correspondiente a un voltaje de recuperación igual al voltaje nominal mínimo del disyuntor.

b).- La amplitud máxima I_m de la corriente de cortocircuito que es igual a su capacidad de cierre o de conexión con enganche, expresada en amperios (valor de cresta) correspondiente a un voltaje antes del cierre igual al voltaje nominal mínimo del disyuntor.

2.4 COMPONENTE UNIDIRECCIONAL

Del análisis de su ecuación, resulta que la corriente de falla o de cortocircuito posee dos componentes bien definidas:

La componente de corriente continua amortiguada o componente unidireccional que corresponde al primer término de la ecuación, es decir:

$$I_{cc} = K e^{-\frac{R}{L}t}$$

cuya magnitud decrece con la constante de tiempo $\frac{L}{R}$ y que la podemos llamar también corriente de falla transitoria.

2.5 COMPONENTE ALTERNA

Que corresponde al segundo término de la ecuación, es decir:

$$I_{ca} = I_{fm} \text{ Sen } (\omega t + \alpha - \phi_f)$$

que es una corriente alterna Simétrica de frecuencia $F = \frac{\omega}{2\pi}$ ciclos por segundo, que la podemos llamar también corriente de falla estacionaria.

C A P I T U L O I I I

VALORES DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO TRANSIENTES EN
BASE A MEDIDAS OSCILOGRAMICAS.3.1. VALORES EFECTIVOS USADOS EN LA SELECCION DE
INTERRUPTORES DE POTENCIA DE ALTA TENSION DE
CORRIENTE ALTERNA.

En este punto vamos a describir métodos que utilizan medidas oscilográficas para determinar las corrientes transientes en un cortocirucuito y, los voltajes de recuperación de frecuencia normal siguientes a la interrupción del mismo. Esto incluye:

- 1.- El valor RMS o efectivo medido a partir de la envolvente de una onda sinusoidal asimétrica en un tiempo tal como el tiempo de máxima cresta o el tiempo de apertura de contactos.
- 2.- El valor RMS de una corriente de cortocirucuito de varios ciclos de duración.
- 3.- El valor RMS de un voltaje de recuperación de frecuencia normal siguiente a la inte-rrupción del circuito.

El propósito que se persigue es explicar como

determinar a partir de los oscilogramas, los valores de corriente de cortocircuito transiente que se puedan usar al especificar los regímenes de aparatos interruptores de circuito, tales como los disyuntores de alta tensión de corriente alterna.

Los valores efectivos o RMS de una onda de corriente sinusoidal varían con el tiempo, lo que depende del instante en que el cuadrado de la corriente se integra.

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} \quad (\alpha)$$

Para el propósito de estos criterios la selección de interruptores de Alta Tensión de corriente alterna, el valor RMS se usa de forma tal que varía con relación a los valores de las componentes de la corriente determinadas a partir de las envolventes de las ondas de corriente.

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_{\text{cc}}(t)^2 + i_{\text{ca}}(t)^2] dt} \quad (\beta)$$

Cuando una corriente se especifique como un valor RMS para un instante dado y se determina a partir de la envolvente de la onda de corriente,

la componente DC o componente de corriente directa y el valor "pico a pico" de la componente AC o componente de corriente alterna, permanecerán constantes en los valores existentes en ese instante dado y, la integración se hará para el tiempo de un ciclo.

3.2. CLASIFICACION DE LAS ONDAS DE CORRIENTE

Las ondas sinusoidales pueden ser clasificadas como sigue:

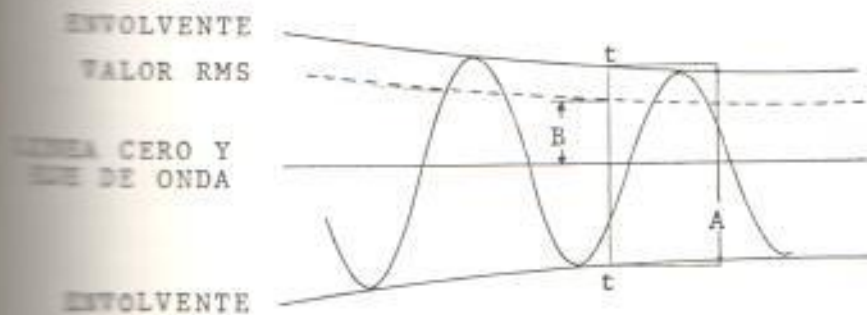
- a. Aquellas que son simétricas alrededor del eje de tiempo; y,
- b. Aquellas que son asimétricas con respecto al eje de tiempo.

3.2.1 VALOR EFECTIVO O RMS DE UNA ONDA SINUSOIDAL SIMETRICA EN UN INSTANTE DADO

Una onda sinusoidal simétrica tiene un valor RMS o efectivo igual a su valor "pico a pico" dividido por 2,828 (dos por raíz cuadrada de dos).

Para determinar el valor RMS en un instante dado se trazan las envolventes de la onda de corriente, se determina el valor pico a pico en

FIG. N° 31



MEDIDA DEL VALOR RMS DE UNA ONDA
SIMETRICA

t = Instante en que la medición se realiza

A = Valor pico a pico de Onda

$$B = \text{Valor rms} = \frac{A}{2.828}$$

el instante dado y se divide para 2,828 (figura # 31).

3.2.2 VALOR RMS DE UNA ONDA SINUSOIDAL ASIMETRICA EN UN INSTANTE DADO.

Una onda sinusoidal asimétrica puede considerarse como la resultante de dos componentes: una componente alterna y una componente directa.

El valor efectivo RMS de una corriente asimétrica en un instante dado es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la componente DC y AC de corriente en dicho instante. (Figura # 32 y ecuación β).

3.2.2.1 COMPONENTE ALTERNA

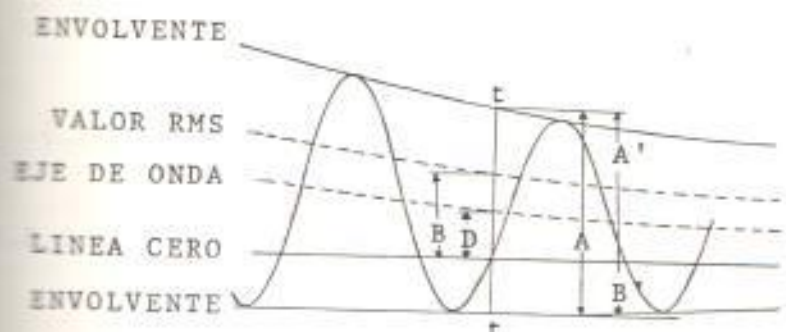
La componente alterna tiene un valor "pico a pico" igual a la distancia entre las envolventes y, tiene un eje medio entre las mismas.

Valor picp de La Componente alterna=

$$\frac{\text{Ordenada Mayor} + \text{Ordenada Menor}}{2}$$

3.2.2.2 COMPONENTE DIRECTA

La componente directa tiene una amplitud igual



MEDIDA DEL VALOR RMS DE UNA ONDA ASIMETRICA

t = Instante para el cual se realiza la medición.

A' = Ordenada Mayor

B' = Ordenada Menor

A = Valor pico a pico de la Componente Alternada = $A' + B'$

D = Valor de la Componente Directa = $\frac{A' + B'}{2}$

B = Valor rms

$$= \sqrt{\left(\text{Valor rms de la Componente Alternada} \right)^2 + \left(\text{Valor de la Componente Directa} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{A}{2.828} \right)^2 + D^2}$$

al desplazamiento del eje de la componente alterna

Valor de la Componente Directa=

$$\frac{\text{Ordenada Mayor} - \text{Ordenada Menor}}{2}$$

3.2.2.3 CALCULO DEL VALOR EFECTIVO O RMS DE UNA ONDA SINUSOIDAL ASIMETRICA.

El uso directo de la fórmula establecida en la Fig. # 32 involucra una gran cantidad de cálculos para determinar las componentes y sus combinaciones, sin embargo, se ha usado para desarrollar tablas, cartas y escalas, por medio de las cuales los valores efectivos son fácil y rápidamente obtenidos,

Dicha fórmula es:

$$B = \text{Valor efectivo} = \sqrt{\left(\begin{array}{l} \text{Valor RMS de la} \\ \text{Componente alter} \\ \text{na.} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{l} \text{Componen-} \\ \text{te direc-} \\ \text{ta.} \end{array} \right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{A}{2,828} \right)^2 + D^2}$$

3.3 METODOS GRAFICOS PARA DETERMINAR EL VALOR EFECTIVO DE UNA ONDA SINUSOIDAL ASIMETRICA

Uno de los métodos gráficos es el que se describe a continuación:

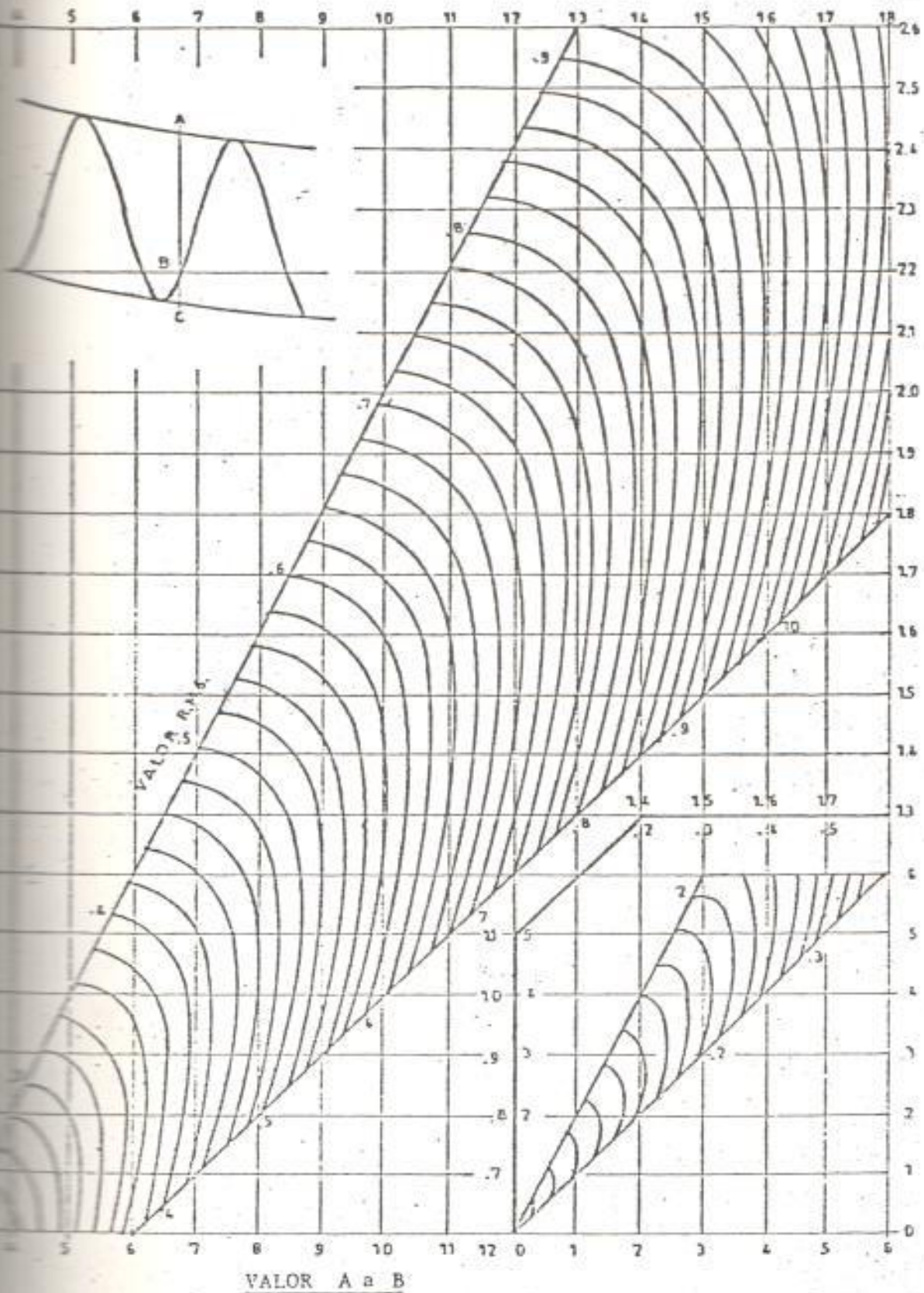
Es una carta, que nos da el valor efectivo o RMS de la onda sinusoidal asimétrica en términos de los valores de amplitud máxima y pico a pico y que se muestra en la Fig. #33. Estos dos valores se obtienen en un oscilograma.

Valor pico a pico = AC (Fig. 33)

Valor máximo AB (Fig. 33)

En esta carta, el punto cuya abscisa es el valor máximo de la onda y, cuya ordenada es el valor pico a pico, indica el valor efectivo o RMS de la onda asimétrica. El punto cuya ordenada es el valor pico a pico y, está además en la línea que tiene una pendiente de dos, indica en la escala el valor efectivo o RMS de la componente alterna.

Estos valores se multiplican por la escala del oscilograma para obtener los valores reales. Por ejemplo supongamos que en el osci -



CARTA PARA LA DETERMINACION DEL VALOR RMS DE UNA ONDA
SENO ASIMETRICA.

loscopio se han obtenido los siguientes valores:

Valor pico a pico = 1.7

Valor máximo = 1.1

Entonces en la carta encontramos que el valor rms de la onda seno asimétrica es 0.65.

Otro método, consiste de una escala transparente, que puede colocarse sobre una onda seno asimétrica y, leerse el valor efectivo o RMS directamente.

En la Fig. # 34, la carga se coloca sobre la onda con su eje XX' paralelo a la Línea cero de la onda y, con los bordes superior e inferior de la escala, pasando a través de la intersección de la envolvente de la onda y la Línea tt' , marcando el instante durante el cual el valor efectivo o RMS se determina. La intersección de tt' y el eje cero de la onda indican en la escala el valor efectivo o RMS de la onda asimétrica. La intersección de tt' y XX' indican en la escala, el valor efectivo o RMS de la componente de corriente alterna de la onda.

Es importante determinar la relación entre los valores pico y efectivo y definir la corriente

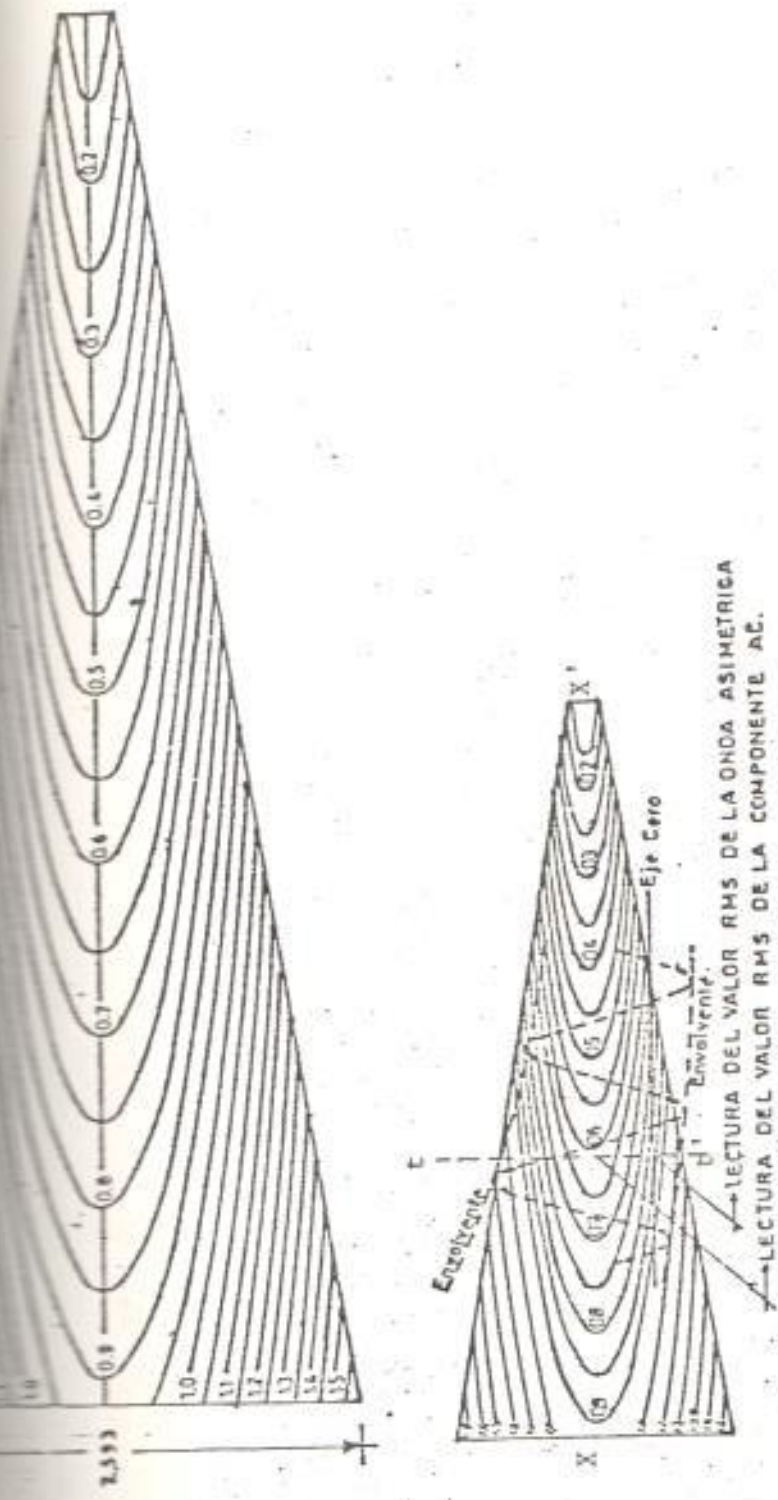


FIG. 34. : ESCALA PARA MEDIR EL VALOR RMS DE UNA ONDA SENO ASIMETRICA.

momentánea. Esta corriente puede ser establecida ya sea como una corriente RMS, medida a partir de la envolvente de la onda de corriente en el tiempo de máxima cresta o, como el valor instantáneo de la corriente en la cresta. Estos valores son igualmente significativos en la descripción de las corrientes momentáneas asimétricas; pero, las unidades deben ser claramente establecidas para evitar confusiones. La relación del valor pico de corriente al RMS varía con la simetría, tal como a continuación se observa:

PORCENTAJE DE ASIMETRIA	VALOR PICO	VALOR RMS	VALOR PICO A VALOR RMS
100	2.83	1.732	1.63
90	2.69	1.62	1.66
80	2.55	1.51	1.69
70	2.40	1.41	1.71
60	2.26	1.31	1.73
50	2.12	1.23	1.73
40	1.98	1.15	1.72
30	1.84	1.09	1.69
24	1.75	1.06	1.66
20	1.70	1.05	1.63
10	1.56	1.01	1.54
0	1.41	1.00	1.41

La razón del valor pico a valor RMS es $1.69 \pm 2\%$ si la simetría está entre 22% y 94%; y, $1.69 \pm 3\%$ si la asimetría está entre 20% a 100%. La variación en esta relación es tan pequeña que 1.69 puede ser usado sin introducir serios errores. Por lo tanto, las corrientes que tienen 20% o menos de asimetría serán consideradas como simétricas.

3.4. MEDIDA DEL VALOR RMS DE UNA CORRIENTE DURANTE UN CORTOCIRCUITO DE ALGUNOS CICLOS DE DURACION

El oscilograma mostrado en la figura # 35, representa una gráfica de una corriente que ha pasado a través de un disyuntor durante un cortocircuito de algunos ciclos de duración. El origen cero de las coordenadas representa el inicio del cortocircuito y, OT su duración.

El valor efectivo o RMS de la corriente durante el intervalo de tiempo de 0 a T de una onda tal está dado por la fórmula siguiente:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

donde:

i = Valor instantáneo de la corriente.



FIG. 35 : DETERMINACION DEL VALOR RMS EQUIVALENTE DE UNA CORRIENTE DE CORTO TIEMPO.

OT = Duración del cortocircuito.

AB = Envoltura Superior de la Onda de corriente.

CD = Envoltura Inferior de la Onda de corriente.

$i_{0'10}$ = Valor RMS de la Corriente Asimétrica en cualquier instante.

El valor efectivo equivalente de la corriente puede ser determinado con suficiente exactitud con la siguiente aplicación de la fórmula de SIMPSON:

- (1) Dividir el intervalo de tiempo OT en 10 partes iguales.
- (2) Para los 11 instantes, de 0 hacia 10, determinar las corrientes RMS totales, de I_0 hacia I_{10} , por el método indicado en 3.2.1 o, en 3.2.2, donde es aplicable.

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{30} \left[I_0^2 + I_{10}^2 + 4 (I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2) + 2 (I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2) \right]}$$

En el uso de esta fórmula con corrientes con una componente DC que decae a menos del 5% de su valor inicial durante el primer intervalo de tiempo es más exacto ignorar la componente antes que considerarla.

3.5 VOLTAJE DE RECUPERACION A FRECUENCIA NORMAL

El voltaje de recuperación de frecuencia normal estará determinado a partir de la envolvente de

cada onda de voltaje en un punto en tiempo coincidente con ese pico que ocurre más de 1/2 ciclo y, no más que un ciclo después de la extinción final del arco de la última fase desconectada. El voltaje de recuperación de línea a línea de frecuencia normal para un cortocircuito trifásico será - tamado como 1.73 veces el promedio de los tres valores obtenidos de esta manera para las tres ondas de voltaje. Ver fig. # 36.

Para un interruptor instalado en un circuito trifásico la capacidad interruptiva trifásica (simétrica o asimétrica) es igual a la capacidad interruptiva en amperes (simétrica o asimétrica), multiplicada por el voltaje de recuperación de frecuencia fundamental y por $\sqrt{3}$.

$$S_s = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_s \quad (A)$$

$$S_{as} = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_{as} \quad (B)$$

donde:

S_s = capacidad interruptiva trifásica simétrica.

S_{as} = capacidad interruptiva trifásica asimétrica

V_r = voltaje de recuperación de frecuencia fundamental.

I_s = corriente simétrica

I_{as} = corriente asimétrica

FASE A — Primera en Circuito abierto

00 — Instante de Extinción Final del Arco

G₁ G₁ — Instante despues del intervalo $\frac{1}{2f}$ a partir de 00

G₂ G₂ — Instante despues del intervalo $\frac{1}{f}$ a partir de 00

$\frac{E_1}{2.878}$ — Voltaje de Recuperacion a frecuencia normal de la Fase A

$\frac{E_2}{2.878}$ — Voltaje de Recuperacion a frecuencia normal de la Fase B

$\frac{E_3}{2.878}$ — Voltaje de Recuperacion a frecuencia normal de la Fase C

Voltaje promedio unipolar de Recuperacion a frecuencia normal — $\left(\frac{E_1}{2.878} + \frac{E_2}{2.878} \right) + 3$.

Voltaje de Recuperacion de Línea a Línea a frecuencia normal — $\sqrt{3}$
 (Voltaje promedio unipolar de recuperacion a frecuencia normal)

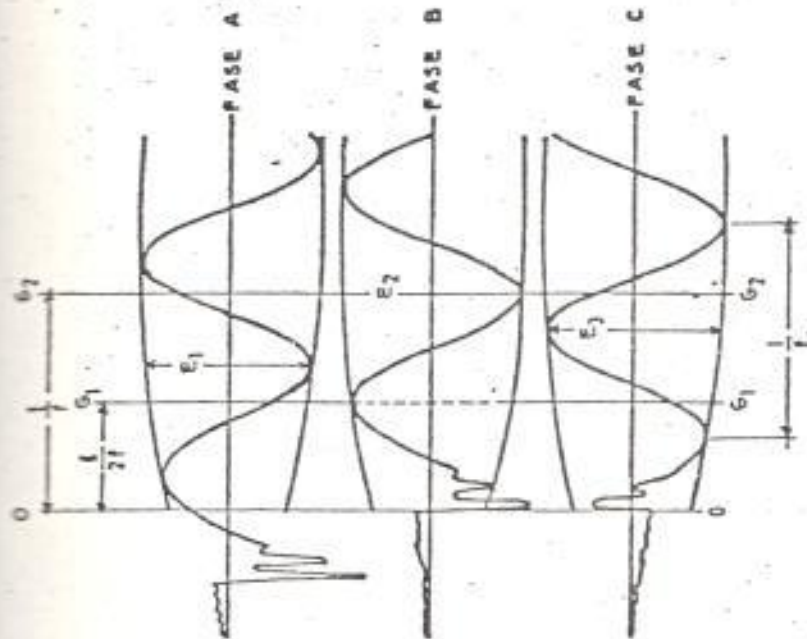


FIG. # 36: DETERMINACION DEL VOLTAJE DE RECUPERACION UNIPOLAR A FRECUENCIA NORMAL.

El voltaje de recuperación V_R es igual a

$$V_R = \sqrt{3} \frac{1}{3} \left(\frac{V_a}{2\sqrt{2}} + \frac{V_b}{2\sqrt{2}} + \frac{V_c}{2\sqrt{2}} \right) \quad (c)$$

donde V_a , V_b , V_c son los valores indicados en la Fig. # 36, medidos en el ciclo consecutivo a la extinción de los arcos eléctricos en todos los polos.

La capacidad interruptiva de un interruptor, expresada en amperes, es inversamente proporcional al voltaje de recuperación de frecuencia fundamental, para valores de éste comprendidos entre el voltaje nominal máximo y el voltaje nominal mínimo del interruptor. Por lo tanto, de acuerdo con la ecuación (A) o la (B), la capacidad interruptiva, en MVA, es constante para el rango de valores del voltaje de recuperación señalado.

Para voltajes de recuperación inferiores al voltaje nominal mínimo del interruptor, la capacidad interruptiva, expresada en amperes, es constante e igual a la correspondiente al voltaje nominal mínimo.

Para definir en forma completa la capacidad inte

ruptiva de un interruptor se especifica su capacidad interruptiva nominal simétrica en MVA, para voltajes de recuperación comprendidos entre los voltajes nominales máximo y mínimo del interruptor y ^{los} dos valores de la capacidad interruptiva nominal simétrica en amperes (valor eficaz)

- 1).- El correspondiente a un voltaje de recuperación igual al voltaje nominal máximo del interruptor:

$$I_{s1} = \frac{S_s}{V_{R1} \sqrt{3}} \quad (D)$$

- 2).- El correspondiente a un voltaje de recuperación igual al voltaje nominal mínimo del interruptor:

$$I_{s2} = \frac{S_s}{V_{R2} \sqrt{3}} \quad (E)$$

CAPITULO IV

DEFINICIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES DE
ALTA TENSION DE CORRIENTE ALTERNA

4.1 ALCANCE

Las definiciones y características que se mencionan a continuación, se aplicarán a la totalidad de los interruptores de Potencia de Corriente Alterna de tipo interior o exterior que tengan un voltaje nominal superior a los 1.500 voltios.

4.2 CONDICIONES DE SERVICIO

4.2.1 CONDICIONES USUALES DE SERVICIO

Los interruptores de Potencia de Corriente Alterna, serán apropiados para operar en sus rangos normales:

- (a) Donde la temperatura del medio enfriante no excede de 40°C y si los interruptores tienen contactos Cobre-a-Cobre o equivalentes.
- (b) Donde la temperatura del medio enfriante no excede 55°C y si los interruptores tienen todos los contactos alisados con plata en otro material equivalente; y todas las juntas conductoras, incluyendo conexiones terminales.

- (1) Soldadas o alisadas con plata, o
 - (2) Soldadas con plata y, con tal de que su operación no resulte en temperaturas totales mayores de 90°C para clase "0", y 105°C para clase "A" y, 125°C para clase "B", de aislamientos.
- (c) Donde la altura no exceda los 1.000 metros.

4.2.2

CONDICIONES NO USUALES DE SERVICIO

El uso de aparatos en un medio enfriante en que se tengan temperaturas mayores a aquellas que se mencionaron en 4.2.1 o, en alturas mucho mayores que 1.000 metros, será considerado como uso especial.

4.2.2.1

RANGOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Para la aplicación en alturas mayores a 1.000 metros, se recomienda que los rangos de voltaje normal y corriente continua de los aparatos, sea multiplicado por los siguientes factores para obtener el voltaje y la corriente en los cuales se aplicarán:

ALTURA EN METROS	FACTORES DE CORRECCION	
	VOLTAJE	CORRIENTE
1.000 metros.	1.00	1.000
1.200 metros	0.98	0.996
1.500 metros	0.95	0.990
3.000 metros	0.80	0.960

4.2.3

CONDICIONES QUE AFECTAN LA CONSTRUCCION

Hay además condiciones no usuales de servicio, que deberán recibir especial consideración por aquellos que son responsables de la aplicación, manufactura y operación del equipo. Los aparatos a usarse en tales casos pueden requerir especial construcción o protección. Entre tales condiciones no usuales, están:

- (a) Exposición a humos o vapores dañinos, excesiva o abrasiva suciedad, mezclas explosivas o suciedad y gases, vapor, rocío salino, humedad excesiva, o garúas, etc.
- (b) Exposición a vibración anormal, golpes, o desalineamientos.
- (c) Exposición a temperaturas excesivamente altas o bajas.
- (d) Exposición a condiciones de transporte o

almacenamiento no usual.

(e) Limitaciones de espacio no usuales.

(f) Servicio de Operación no usual, frecuencia de operación no usual, dificultad de mantenimiento, etc.

4.3

DEFINICIONES GENERALES

Las definiciones tal como se dan aquí, se aplicarán específicamente a los Interruptores de alta tensión de corriente alterna.

4.3.1

INTERRUPTOR O DISYUNTOR

Un interruptor es un dispositivo que sirve para interrumpir un circuito entre contactos separables bajo condiciones normales * o anormales*.

Usualmente los interruptores se requieren para operar sólo infrecuentemente, aunque algunas clases de interruptores son apropiados para operación frecuente.

*"Normal": Indica la interrupción de corriente no mayor de la corriente permanente nominal del interruptor.

"Anormal" Indica la interrupción de corriente

en condiciones tales como en cortocircuitos, mayor a la corriente permanente nominal. En la práctica, los interruptores se seleccionan de tal manera que sus regímenes de interrupción de corriente son tan grandes o más grandes que la máxima corriente para la cual pueden ser requeridos a interrumpirla.

4.3.2 INTERRUPTOR DE ACEITE

Es un dispositivo en el cual la interrupción ocurre en un medio que es el aceite.

4.3.3 INTERRUPTOR DE AIRE

Es un dispositivo en el cual la interrupción ocurre en un medio que es el aire.

4.3.4 INTERRUPTOR DE POTENCIA

Interruptores de potencia comprenden interruptores de corriente alterna como:

- (a) Interruptores de aceite con voltajes nominales superiores a 1.500 Voltios.
- (b) Interruptores de aire con voltajes nominales superiores a 1.500 Voltios.
- (c) Interruptores que usen líquidos distintos al aceite y con voltajes nominales superiores a 1.500 Voltios.

- (d) Interruptores que usen otros aislantes y con voltajes nominales superiores a los 1.500 Voltios.

4.3.5 VOLTAJE DE OPERACION

El voltaje de operación de un interruptor es el voltaje RMS del sistema en el cual va a operar.

4.3.6 VOLTAJE DE RECUPERACION

Es el voltaje que ocurre a través de los terminales de un disyuntor durante la interrupción de la corriente.

4.3.6.1 VOLTAJE DE RECUPERACION DE FRECUENCIA NORMAL

El voltaje de recuperación de frecuencia normal es el voltaje RMS de frecuencia normal que ocurre a través de los terminales de un disyuntor después de la interrupción de la corriente y después de que los transientes de alta frecuencia hayan disminuido o desaparecido.

4.3.6.2

VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSIENTE

El voltaje de recuperación transiente es aquel voltaje transiente a través de los terminales de un disyuntor durante la interrupción de la corriente. Este transiente generalmente existe durante una pequeña fracción de un ciclo. En un dispositivo de interrupción múltiple, el término se aplica generalmente al voltaje a través del primer polo a despejarse o aclararse.

4.3.6.2 a

VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSIENTE DE CIRCUITO.

El voltaje de recuperación transiente de circuito es el voltaje de recuperación transiente que caracteriza el circuito y se obtiene con el 100% del voltaje de recuperación de frecuencia normal, una corriente simétrica y ningún efecto modificador del interruptor. Este voltaje indica la severidad inherente del circuito con respecto al fenómeno del voltaje de recuperación.

4.3.6.2 b VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSIENTE DE CIRCUITO MODIFICADO.

El voltaje de recuperación transiente de circuito modificado es el voltaje de recuperación transiente de acuerdo con el voltaje de recuperación de frecuencia normal y la asimetría de la onda de corriente obtenida en una interrupción particular. Es te voltaje indica la severidad de la interrupción particular con respecto al fenómeno del voltaje de recuperación.

4.3.6.2 c VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSIENTE DE PRUEBA

El voltaje de recuperación transiente de prueba es el voltaje de recuperación transiente que realmente ocurre a través de los terminales de un disyuntor en una interrupción particular. Este es el voltaje de recuperación transiente de circuito modificado con cualquier distorsión introducida por el disyuntor.

4.3.6.3 RELACION DE VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSIENTE.

La relación del voltaje de Recuperación Transiente es la razón a la cual el voltaje se

eleva a través de los terminales de un dispositivo interruptor de un circuito durante la interrupción de la corriente. Esto es generalmente determinado por la división - del voltaje en una de las crestas del voltaje de recuperación transiente para el tiempo transcurrido desde corriente cero al valor en esa cresta. En caso de no existir cresta definida, el porcentaje se toma como un valor seleccionado arbitrariamente, generalmente como una cierta proporción del valor de cresta del voltaje de recuperación de frecuencia normal.

La relación del Voltaje de Recuperación Transiente puede ser o un porcentaje de voltaje de recuperación transiente de circuito o, una proporción del voltaje de recuperación transiente de circuito modificado o una proporción de voltaje de recuperación transiente de prueba de acuerdo con el tipo de transiente de la cual es obtenida.

Cuando se han dado relaciones de voltaje de recuperación transiente de prueba, el método de determinación del tiempo de corriente cero será definitivamente establecido.

4.4 DEFINICIONES, CONSTRUCCION

4.4.1 ROMPEARCO

Son los contactos en los cuales el arco es alargado después de que se han abierto los contactos principales de un interruptor.

4.4.2 SWITCH

Un switch auxiliar es un seccionador accionado por algún aparato principal, tal como un switch para señalización, bloqueo u otro propósito.

NOTA: Aplicado a Interruptores un switch auxiliar está designado como "a" (generalmente mostrado en esquemas o diagramas como normalmente abierto) si está cerrado cuando el interruptor está cerrado o, como "b" (generalmente mostrado en esquemas o diagramas como normalmente cerrado) si está cerrado cuando el interruptor está abierto.

4.4.3 SEPARACION DE CONTACTOS

La separación de contactos de un dispositivo que abre un circuito es la mínima distancia entre los contactos estacionarios y movibles cuando estos contactos están en la posición de "abierto"

4.4.4 BUJES ("BUSCHINGS")

Un buje es una estructura aislante que incluye un

conductor central o, que provee un pasaje para un conductor, con provisión para montaje en una valla, conductora o de otra forma, con el propósito de aislar el conductor que estará conduciendo corriente desde un lado de la valla al otro.

4.4.5

MECANISMO DEL INTERRUPTOR O DISYUNTOR

Un mecanismo interruptor es un ensamblaje de palancas y otras partes que accionan los contactos móviles del interruptor.

4.4.5.1

MECANISMO UNIPOLAR

Un Mecanismo Unipolar es un ensamblaje que acciona los contactos móviles de un polo.

4.4.5.2

MECANISMO DE OPERACION EN GRUPO

Un mecanismo de operación en grupo es un dispositivo operado con potencia o en forma manual por el cual los contactos de todos los polos de un interruptor son accionados.

4.4.5.3

MECANISMO DE DISPARO

Un mecanismo de disparo es un dispositivo operado eléctrica o mecánicamente el cual libera los medios sostenedores y permite abrir los contactos -

del interruptor o disyuntor.

4.4.6 BOBINA DE CIERRE (DE UN INTERRUPTOR)

Una bobina de cierre es una bobina usada en el -
electromagneto que supe potencia para el cierre
de un interruptor.

4.4.7 RELE DE CIERRE

Un Relé de Cierre es una forma de relevador auxi-
liar usado con un dispositivo operado eléctricamente para controlar la función de cerrar y a -
brir del circuito operador del aparato de tal -
forma que la principal corriente de operación no
pase a través del interruptor de control y otro
aparato de iniciación.

4.4.8 PARTES CONDUCTORAS

Partes Conductoras de aparatos son aquellas que
están diseñadas para transportar o conducir co -
rriente o, que están conductivamente conectadas.

4.4.9 CONTACTOS

Un Contacto es una parte conductora que actúa -
con otra parte conductora con el fin de cerrar o
de interrumpir un circuito.

4.4.10

SUPERFICIES DE CONTACTO

Superficies de Contacto son las superficies de los contactos que se encuentran y a través de las cuales la corriente es transferida cuando los contactos están cerrados.

4.4.11

PARTES CONECTADAS A TIERRA

Partes conectadas a tierra son aquellas que - están conectadas intencionalmente a la tierra.

4.4.12

ENCLAVAMIENTO *

Enclavamiento es la función de un dispositivo - accionado por la operación de otro con el cual está directamente asociado, para dirigir sucesivas operaciones suyas o de otros conectados a - ellos.

* El enclavamiento puede ser eléctrico o mecá - nico.

4.4.13

PARTES VIVAS

Partes vivas son aquellas que están eléctrica - mente conectadas a punto de potencial diferente al de la tierra.

4.4.14 CONTACTOS PRINCIPALES

Un contacto principal es una parte conductora diseñada para ser unida por presión a otra parte conductora con el propósito de conducir corriente. Los contactos de un interruptor están compuestos de las superficies que se juntan o se separan por efecto de la operación del mecanismo -interruptor.

4.4.14.1 MIEMBRO DE CONTACTO ESTACIONARIO

Un miembro de contacto estacionario es una parte conductora que sobrelleva una superficie de contacto que permanece sustancialmente estacionaria.

4.4.14.2 MIEMBRO DE CONTACTO MOVIBLE

Un miembro de contacto movable es una parte conductora que sobrelleva una superficie de contacto que se mueve hacia y desde el contacto estacionario.

4.4.15 BOBINA DE DISPARO (DE UN INTERRUPTOR)

Una bobina de disparo de un interruptor es una bobina usada en el electromagneto que suple potencia para la operación del interruptor.

4.5 CLASIFICACION DE TERMINOS

4.5.1 DISPARO AUTOMATICO (APERTURA AUTOMATICA)

Disparo automático es la apertura de un interruptor bajo condiciones pre-determinadas u otras - sin la intervención de un operador.

4.5.1.1 DISPARO DIRECCIONAL

Disparo direccional significa el disparo de un - interruptor dependiente de la dirección de potencia en el circuito principal.

4.5.1.2 DISPARO POR SOBREVOLTAJE

Disparo por sobrevoltaje significa el disparo de un interruptor a partir de una bobina de disparo conectada en paralelo al circuito principal y actúa ante un incremento de voltaje sobre un valor pre-determinado.

4.5.1.3 DISPARO POR SOBRECORRIENTE SERIE

Disparo por sobrecorriente serie significa el - disparo de un interruptor a partir de una bobina de disparo en serie con el circuito principal - que actúa ante un incremento en la corriente del mismo sobre un valor pre-determinado.

4.5.1.4

DISPARO DE BAJA CORRIENTE SERIE

Disparo por baja corriente serie significa el disparo de un interruptor a partir de una bobina de disparo en serie con el circuito principal que actúa ante un decremento en la corriente de dicho circuito principal debajo de un valor predeterminado.

4.5.1.5

DISPARO PARALELO

Disparo paralelo significa el disparo de un interruptor por una bobina de disparo energizada a partir del mismo circuito o de un circuito paralelo o fuente de poder, el circuito de la bobina de disparo es cerrado a través de un relé, switch u otro medio.

4.5.1.6

DISPARO POR SOBRECORRIENTE DE TRANSFORMADOR

Es el disparo de un interruptor a partir de una bobina de disparo que está en serie con el embobinado secundario de un transformador de corriente cuyo embobinado primario está en serie con el circuito principal, haciendo que la bobina de disparo actúe ante un incremento en la corriente del circuito principal sobre un valor predeterminado.

4.5.1.7

DISPARO POR BAJA CORRIENTE DE TRANSFORMADOR

Disparo por baja corriente de transformador significa el disparo de un interruptor por una bobina de disparo en serie con el embobinado secundario de un transformador de corriente cuyo embobinado primario está en serie con el circuito principal, haciendo que la bobina principal actúe ante un decremento de la corriente del circuito principal debajo de un valor predeterminado.

4.5.1.8

DISPARO POR BAJO VOLTAJE

Disparo por bajo voltaje significa el disparo de un interruptor a partir de una bobina de disparo conectada en paralelo al circuito principal y, que actúa ante un decremento de voltaje debajo de un valor predeterminando del voltaje del circuito principal.

4.5.2

TIEMPO DEFINIDO

Tiempo definido es un término indicador de que hay intencionalmente introducido un retardo en la acción de un dispositivo, el retardo estará permaneciendo sustancialmente constante prescindiendo de la magnitud de la cantidad que causa

la acción.

4.5.3 INSTANTANEO

Instantáneo es un término clasificado e indicador de que ningún retardo es introducido intencionalmente en la acción de un dispositivo.

4.5.4 TIEMPO INVERSO

El tiempo inverso es un término clasificado e indicador de que hay intencionalmente introducida una acción retardadora, el retardo estará decreciendo como la fuerza de operación crece.

4.5.5 DISPARO NO AUTOMATICO

Disparo no automático es la apertura de un interruptor solamente en respuesta al acto de un operador.

4.5.6 OPERACION*

Operación, como se aplica a interruptores es el método provisto para su normal funcionamiento.

4.5.6.1 OPERACION DIRECTA

Operación Directa de un interruptor operado mecá

nicamente es la operación por medio de un mecanismo conectado directamente a su eje de operación principal o a una extensión de él.

4.5.6.2 OPERACION ELECTRICA*

Operación Eléctrica de un interruptor es poderlo operar por electricidad.

4.5.6.3 OPERACION EN GRUPO*

Operación en Grupo de un interruptor multipolar es la operación de todos los polos por medio de un sólo mecanismo de operación.

4.5.6.4 OPERACION INDIRECTA*

Operación Indirecta de un interruptor es la operación por medio de un mecanismo de operación conectado al eje de operación principal o, a una extensión de él, a través de contrapesos, lazos etc.

4.5.6.5 OPERACION MANUAL*

Operación Manual de un interruptor es la operación con la acción de las manos sin el uso de ninguna otra fuente de poder.

4.5.6.6 OPERACION CON POTENCIA*

Operación con potencia de un interruptor es la operación que utiliza potencia (eléctrica, neumática, etc) más que por la acción de las manos.

4.5.6.7 OPERACION A CONTROL REMOTO*

Operación a control remoto de un interruptor es la operación por medio de un mecanismo de operación controlado desde un punto distante ya sea manual o eléctricamente o, ambas o por otros medios.

4.5.7 TIEMPO DE OPERACION

4.5.7.1 TIEMPO DE CIERRE+

El tiempo de cierre de un interruptor es el intervalo entre la acción de contacto en el switch de cierre y la contactación de los rompearco del interruptor a voltaje de control nominal.

4.5.7.2 TIEMPO DE APERTURA,

El tiempo de apertura de un interruptor es el intervalo existente entre la energización de la bobina de disparo a voltaje nominal y la apertura de los rompearco del interruptor.

4.5.7.3 TIEMPO DE DURACION DEL ARCO

Tiempo de duración del arco de un interruptor es el intervalo entre la apertura de los rompearco y la extinción del arco.

4.5.7.4 TIEMPO DE INTERRUPCION⁺⁺

El tiempo de interrupción de un interruptor es el intervalo existente entre la energización de una bobina de disparo a voltaje nominal y la interrupción del circuito.

4.5.7.5 TIEMPO DE RECIERRE

El tiempo de recierre de un interruptor es el intervalo existente entre la energización de la bobina de disparo (estando el interruptor en la posición cerrada) y la contactación de los rompearco en el golpe de recierre con aplicación de voltaje de control nominal.

* Las definiciones de operación mencionadas se relacionan a métodos de "operación" y no serán confundidas con métodos de "control". Por ejemplo "Operación" eléctrica puede envolver "Control" automático o no automático (manual),

+ Donde un relé de cierre es usado con un interruptor operado eléctricamente, el tiempo de cierre incluye el tiempo consumido en la operación del relé de cierre.

++Este es la suma del tiempo de apertura y el tiempo de duración del arco. Si la corriente de disparo del interruptor es grande, suficiente para requerir el uso de un relé auxiliar individual, el tiempo de interrupción, incluye el tiempo consumido en la operación de tal relé auxiliar.

4.5.8 TIRO O DISPARO

4.5.8.1 INTERRUPTOR DE DOBLE DISPARO

Un interruptor de doble disparo es un interruptor por medio del cual un cambio en las conexiones del circuito puede ser obtenido por el cierre de cualquiera de dos juegos de contactos.

4.5.8.2 INTERRUPTOR DE DISPARO SIMPLE

Un interruptor de disparo simple es aquel por medio del cual el circuito puede ser cerrado o abierto por la acción de un juego de contactos.

Solamente.

4.5.9 DISPARO LIBRE

Un interruptor es de disparo libre cuando el mecanismo disparador puede operar el interruptor, aún cuando la acción de cierre normal sea aplicada.

4.5.9.1 DISPARO LIBRE MECANICO

Un interruptor es mecánicamente de disparo libre cuando el mecanismo de disparo puede hacerlo; - sin embargo de que: (1) en un interruptor operado manualmente, la palanca de control de operación es mantenida en la posición cerrada, o (2) en un interruptor operado eléctricamente, el mecanismo de operación es mantenido en la posición de cerrado, ya sea eléctricamente o por medio de una palanca de control de cierre de emergencia.

4.5.9.3 DISPARO LIBRE ELECTRICO

Un disparo eléctricamente operado es eléctricamente de disparo libre cuando el mecanismo de disparo puede hacerlo, aún cuando el circuito de control de cierre está energizado y, el mecanismo de cierre no lo volverá a cerrar después de disparar hasta que el circuito de control de

cierre es abierto y de nuevo cerrado. Sin embargo, el interruptor puede ser mantenido cerrado por la palanca de control de operación de emergencia, a menos que ésta esté también en posición de disparo libre (mecánico).

4.5.9.4 DISPARO LIBRE EN CUALQUIER POSICION

Un interruptor es tal cuando es de disparo libre en cualquier parte de la operación de cierre. Si el circuito disparador es completado a través de un switch auxiliar, el disparo eléctrico no tomará lugar, a menos que tal interruptor auxiliar esté cerrado.

4.6. REGIMENES

4.6.1 REGIMEN DE UN EQUIPO

El régimen de una máquina, aparato o artefacto es un límite del diseño de las características de operación basadas sobre condiciones definidas. El régimen de un interruptor incluirá los siguientes detalles:

- a. Voltaje Nominal.
- b. Máximo Voltaje de diseño.

- c. Mínimo voltaje para mva de interrupción nominal.
- d. Impulso nominal con voltaje resistido.
- e. Frecuencia nominal.
- f. Corriente permanente nominal o de régimen permanente.
- g. Corrientes de Corto Tiempo Nominales.
- h. Corriente momentánea nominal.
- i. Corriente de conexión con enganche nominal.
- j. Corriente de interrupción nominal (Capacidad interruptiva nominal a voltaje nominal)
- k. Máxima corriente de interrupción nominal.
- l. MVA de interrupción Nominales.
- m. Tiempo de interrupción nominal.
- n. Voltaje de control Nominal.
- o. Presión de operación Nominal.

4.6.2

VOLTAJE NOMINAL

El voltaje nominal de un interruptor es el más alto voltaje del sistema en el cual el interruptor va a ser utilizado.

Inv. No. 1201-021

4.6.2.1 MAXIMO VOLTAJE DE DISEÑO

El voltaje máximo de diseño de un interruptor es el más alto voltaje rms o efectivo para el cual está diseñada su operación.

4.6.2.2 MINIMO VOLTAJE PARA MVA DE INTERRUPCION NOMINALES.

El mínimo voltaje para los MVA de interrupción nominales puede ser determinado y limitado por la máxima corriente del interruptor nominal.

4.6.3 REGIMENES DE VOLTAJE NORMALIZADOS

Los regímenes de voltaje normalizados para interruptores serán los que el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, ha implantado en el país, como son: 4.16 KV; 13.8 KV; 22 KV; 34,5 KV; 44 KV; 69 KV; 138 KV y 230 KV.

4.6.4 FRECUENCIA NOMINAL

La frecuencia nominal de un interruptor es la frecuencia del circuito para el cual ha sido diseñado.

4.6.5 REGIMENES DE FRECUENCIA NORMALIZADOS

Los regímenes normalizados de los interruptores

son con una frecuencia de 60 ciclos por segundo, a menos que se especifique de otra manera.

4.6.6 REGIMENES PARA 25 CICLOS

Interruptores para servicio a 25 ciclos serán equipados a 60 ciclos normales, dando su correspondiente régimen a 25 ciclos. La aplicación de interruptores tipo "OILLESS" en sistemas a 25 ciclos deben recibir especial consideración.

4.6.7 CORRIENTE PERMANENTE NOMINAL O CORRIENTE DE REGIMEN PERMANENTE.

La corriente permanente o nominal de un interruptor es el límite diseñado de corriente RMS en amperios al cual transportará continuamente sin exceder el límite de elevación de temperatura permitida.

4.6.8 CORRIENTE DE TIEMPO CORTO NOMINAL

La corriente de tiempo corto nominal de un interruptor es la mayor corriente incluyendo a la componente de corriente continua que el interruptor podrá transportar sin daño durante cortos intervalos de tiempo especificados. Los re-

gímenes incluyen las limitaciones impuestas por los efectos térmicos y electromagnéticos. Las normas para regímenes de tiempo corto serán los siguientes.

4.6.8.1 CORRIENTE MOMENTANEA NOMINAL O CORRIENTE DE REGIMEN MOMENTANEO.

La corriente momentanea nominal de un disyuntor es el valor RMS, de la máxima corriente total que el podrá transportar. La corriente es el valor RMS, incluyendo la componente continua, durante el ciclo máximo, determinado a partir de la envolvente de la onda de corriente, como se vió en el punto 3.2.2 del Capítulo III.

4.6.8.2 CORRIENTE DE 4 SEGUNDOS NOMINAL

La corriente nominal de 4 segundos de un disyuntor es el valor RMS de la corriente total incluyendo la componente continua que el disyuntor podrá transportar durante 4 segundos. Para propósitos prácticos, esta corriente se mide al final del primer segundo.

4.6.9

CORRIENTE DE CONEXION NOMINAL

La corriente de conexión nominal de un interruptor operado por potencia es la máxima corriente RMS, incluyendo la componente continua, frente a la cual el interruptor será capaz de cerrar sin el soldamiento de los contactos o daño indebido de él o sus contactos; y, con tal que la duración de la corriente no excede el tiempo de interrupción nominal del disyuntor. Este régimen es numéricamente igual a la corriente momentánea nominal.

El interruptor reunirá este requerimiento cuando sea cerrado con cualquier voltaje de control o presión dentro del rango para el cual el interruptor está diseñado.

4.6.10

CORRIENTE DE CONEXION CON ENGANCHE NOMINAL

La corriente de conexión con enganche nominal de un interruptor operado a potencia es la máxima corriente RMS, incluyendo la componente continua con la cual el interruptor es capaz de cerrar y enganchar, engrampar o hacer su equivalente. Este régimen es numéricamente igual a la corriente de 4 segundos nominal. El interruptor reunirá -

este requerimiento cuando es cerrado con cualquier voltaje de control o presión, dentro del rango para el cual ha sido diseñado.

4.6.11

CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL (CAPACIDAD DE INTERRUPCION NOMINAL)

La corriente de interrupción nominal de un interruptor es la máxima corriente RMS a un voltaje de operación especificado, que el interruptor deberá interrumpir en un circuito predominante Resistivo o Inductivo* bajo condiciones de operación especificadas; y, con un voltaje de recuperación de frecuencia normal igual al voltaje de operación especificado. Donde existan limitaciones dadas por equipos de prueba, la máxima tolerancia para el voltaje de recuperación de frecuencia normal, será 15 % del voltaje de operación especificado. La corriente es el valor RMS incluyendo la componente continua, en el instante de la separación de los contactos y está determinada a partir de la envolvente de la onda de corriente. Para la determinación de la corriente y el voltaje de recuperación de frecuencia normal, el método mostrado en el Capítulo III será observado.

4.6.11.1 CALCULO DE CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL

Para obtener la corriente de interrupción nominal de un interruptor a otro voltaje de operación que el voltaje nominal del interruptor, la siguiente fórmula deberá usarse:

Amperios a Voltaje de Operación =

$$\text{Amperios a Voltaje Nominal} \times \frac{\text{Voltaje Nominal}}{\text{Voltaje de Operación.}}$$

Si el valor así calculado excede al de la máxima corriente de interrupción nominal, entonces el último régimen debe ser usado como el régimen de interrupción del disyuntor.

4.6.12 MAXIMA CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL

La máxima corriente de interrupción nominal de un interruptor es un valor limitante de corriente (Ver 4.6.11) más allá del cual la corriente de interrupción nominal no será incrementada aún por voltajes de operación mínimos.

4.6.13 MVA DE INTERRUPCION NOMINALES

Los MVA de interrupción nominales de un interruptor son el producto del voltaje nominal por su corriente de interrupción nominal a voltaje nominal y por el propio factor de fase y por el factor decimal, por decir, 1.73 para trifásico, 2 para bifásico (2 fases), 1 para monofásico.

Para tablas de Regímenes de MVA de Interrupción Normalizadas, ver anexos al final.

4.6.14

TIEMPO DE INTERRUPCION NOMINAL

El tiempo de interrupción de un Disyuntor es el intervalo especificado entre la energización de la bobina de disparo a voltaje nominal y la interrupción del circuito principal, cuando la interrupción se produce para valores de corriente que van desde el 25 al 100 % de la corriente de interrupción nominal. Para valores que están por debajo del 25% de la corriente de interrupción nominal el circuito será interrumpido, pero, el tiempo requerido para dicha interrupción puede ser mucho mayor que el tiempo de interrupción nominal.

4.6.15 REGIMEN DE INTERRUPCION NORMALIZADO.-

El régimen de interrupción normalizado está basado en el servicio de operación normalizado.

Para tablas de regímenes de interrupción normalizados, ver las Tablas de ANSI C37.6 -1971.

4.6.16 SERVICIO DE OPERACION (CICLO DE SERVICIO)

El ciclo de operación de un interruptor consiste de un número especificado de operaciones unitarias a intervalos establecidos.

4.6.17 OPERACION UNITARIA.-

La Operación Unitaria de un interruptor consiste de un cierre inmediatamente seguido de su apertura sin acción retardada intencional; las letras "CO" significan las operaciones del interruptor: "closing" - "opening" (CERRADO - ABIERTO).

4.6.18 SERVICIO DE OPERACION NORMALIZADO (CICLO DE SERVICIO NORMALIZADO).-

El servicio de operación normalizado de un interruptor consistirá de dos operaciones unita

rios, "CO", con un intervalo de 15 segundos entre operaciones. Para interruptores de aceite de la construcción "NON OIL TIGHT" el intervalo será 2 minutos.

4.6.19 SERVICIO DE OPERACION PARA TRABAJO DE RECONEXION (CICLO DE TRABAJO PARA SERVICIO DE RECONEXION).-

Para determinar los regímenes de interrupción para los interruptores del tipo "OIL TIGHT", "OILLESS" para uso interior y, "NON OIL TIGHT" ver las Tablas especificadas en la Norma ANSI C37.7 - 1952.

4.6.20 PERFORMANCE DE INTERRUPTOON.-

Un Interruptor de Aceite debe funcionar en su corriente de interrupción nominal o dentro de su rango sin emisión de llama o de una apreciable cantidad de aceite.

Para interruptores de construcción "NON OIL - TIGHT" puede permitirse la emisión de limitadas cantidades de aceite.

Un interruptor del tipo "OILLESS" o de pequeño volumen de Aceite, debe funcionar en su -

Corriente de interr-pción nominal o dentro de su rango, sin emisión apreciable de llama.

4.6.21 VOLTAJE DE CONTROL NOMINAL.-

El voltaje de Control Nominal es el voltaje para el cual ha sido diseñada la operación del mecanismo interruptor.

4.6.22 VOLTAJES DE CONTROL NOMINALES NORMALIZADOS Y SUS RANGOS.-

Los voltajes de control nominales normalizados y sus rangos para interruptores operados manual o eléctricamente, medidos en los terminales del mecanismo de operación, con corriente de operación fluyendo, serán aquellos que se especifican en las Tablas de la Norma ANSI C37.8 - 1952.

4.7. CALENTAMIENTO.-

4.7.1 LIMITACIONES DE TEMPERATURA.-

4.7.1.1 LIMITE DE SUBIDA DE TEMPERATURA PERMITIDA.-

La elevación de temperatura de cada una de las partes del interruptor, cuando es probado de acuerdo con su régimen, no excederán los valores dados en la tabla siguiente. Todas las temperaturas serán determinadas usando el termómetro.

LIMITE DE ELEVACION DE
TEMPERATURA

	GRADOS Interruptor en Aceite	CENTIGRADOS Interruptor " Oilless "
Contactos en Aire, cuando estén limpios y orillosos.	30	35
Contactos en Aceite.	30	--
Aceite.	30	--
Bobinas de Potencial, aislamiento clase 0.	35	35
Bobinas Series, Ais- lamiento Clase 0.	50	50
Bobinas Series y de Potencial, Aislamien- to Clase A.	50	50
Bobinas, Series y de Potencial, Aislamien- to Clase B.	70	70
TOTAL DE LAS DEMAS- PARTES	70	70

Para interruptores instalados en encerramientos las limitaciones de subida de temperatura arriba mencionadas, están basadas en la temperatura ambiente interior del encerramiento, la cual no excederá 40°C si el interruptor tiene contactos Cobre-a-Cobre, como se describió en 4-2.1 (a), o 55°C si el interruptor tiene contactos de plata u otros contactos como se describió en 4-2.1 (b).

Para propósitos de prueba, la elevación de temperatura puede ser medida en base a la temperatura ambiente externa al encerramiento, en cuyo caso las limitaciones de subida de temperatura arriba aplicadas para interruptores con contactos de Cobre, como se describió en 4-2.1 (a) y, las limitaciones de subida de temperatura 15°C más alto aplicada a interruptores con plata u otros contactos como se describió en 4-2.1 (b) se aplicarán con tal de que la temperatura ambiente externa al encerramiento no exceda 40°C en uno u otro caso.

Se prestará atención al posible incremento o subida de temperatura de los contactos en el aire debido a la oxidación de la superficie de los mismos. La retención del régimen del interior está, por lo tanto, basada en un mantenimiento suficiente para mantener la elevación de temperatura dentro de los límites especificados. Para factores de corrección para instalaciones en grandes alturas, ver el punto 4.2.2.

4.7.1.2 CLASIFICACION DE LOS MATERIALES AISLANTES.-

Los límites de temperatura en los cuales los -

régimenes de las máquinas eléctricas y dispositivos son basados, están suficientemente determinados por el carácter de los materiales aislantes que se usan. Para el propósito del establecimiento de los límites de temperatura, los materiales aislantes han sido clasificados en categorías.

4.7.2 CONDICIONES Y METODO PARA REALIZAR PRUEBAS DE TEMPERATURA.-

4.7.2.1 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA MEDIANTE EL USO DEL TERMOMETRO.-

Esto consiste en la determinación de la temperatura por medio de los termómetros de mercurio o alcohol, termómetros de resistencia o por termocuplas; cualquiera de estos instrumentos se aplican a la parte más caliente de los aparatos accesibles a ellos.

4.7.2.2 VALOR DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DURANTE UNA PRUEBA.-

- a. La temperatura ambiente será tomada como la del aire circundante, la cual no será menor que 10°C, ni mayor que 40°C.

- b. Ninguna corrección se aplicará para variaciones de la temperatura ambiente dentro de este rango.
- c. Las pruebas de temperatura pueden hacerse a temperatura ambiente, fuera del rango especificado, si conviene, y, si se está de acuerdo en que los factores de corrección están disponibles.

4.7.2.3 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.-

4.7.2.3 a COLOCACION DE LOS TERMOMETROS.-

La temperatura ambiente se determinará, tomando el promedio de las lecturas de tres termómetros colocados como sigue:

- a. Uno 12 pulgadas arriba del interruptor;
- b. Uno 12 pulgadas debajo del interruptor (en el caso de interruptores colocados en piso, serán 12 pulgadas arriba del piso o de la base del montaje).
- c. Uno en el punto medio entre las dos posiciones mencionadas arriba.

Todos los termómetros se colocarán aproximadamen

te 12 pulgadas lejos del interruptor y en ubicaciones no afectadas por corriente de aire.

Para interruptores instalados en encerramientos la temperatura ambiente exterior al encerramiento puede usarse (Ver 4.7.1.1).

4.7.2.3 b USO DE LA COPA DE ACEITE.-

Con el objeto de eliminar errores debido al tiempo de atraso en la medición entre la temperatura de grandes aparatos y las variaciones en la temperatura ambiente, todas las precauciones razonables deben ser tomadas para reducir estas variaciones y los errores sacarlos de allí. Así el termómetro para determinar la temperatura ambiente será sumergido en un líquido apropiado, tal como aceite contenido en una copa metálica gruesa y apropiada cuando la temperatura ambiente está sometida a tales variaciones.

Una forma conveniente para una copa de aceite consiste de un cilindro de metal con un agujero taladrado en parte a través de él. Este hueco o agujero se llena con aceite y el termómetro

se coloca allí con su bulbo bien sumergido. La respuesta del termómetro a varios cambios de relación o razón de temperatura dependerá grandemente de la medida, clase de material y masa de la copa contenedora y, puede ser además regulada ajustando la cantidad de aceite en la copa.

La medida más pequeña de la copa de aceite empleada en cualquier caso consistirá de un cilindro de metal de una pulgada de diámetro y dos pulgadas de altura (25mm. de diámetro y 50mm. de altura).

4.7.2.4

DURACION DE LA PRUEBA DE TEMPERATURA

Durante las pruebas de interruptores "tipo", la corriente de régimen permanente de los interruptores a frecuencia nominal estará aplicada continuamente hasta que la subida de temperatura sobre la ambiental llegue a ser constante.

4.8. PRUEBAS DE DIELECTRICO.-

4.8.1

GENERALIDADES.-

Las pruebas de dieléctrico son aquellas que

consisten en la aplicación de un voltaje más elevado que el voltaje de régimen por un tiempo especificado y, están diseñadas a determinar la adecuada resistencia a la rotura del material aislante y el espaciamiento conveniente.

4.8.2 VOLTAJE RESISTIDO.-

Es el voltaje que el interruptor debe mantener sin descarga u otra falla eléctrica cuando un voltaje es aplicado bajo condiciones especificadas.

Para voltajes de baja frecuencia, los valores son expresados como valores RMS o efectivos y para un tiempo especificado. Para voltajes de impulso, los valores son expresados como el pico o cresta de una onda especificada.

4.8.3 VOLTAJE DE PRUEBA NORMALIZADOS.-

Los voltajes de prueba normalizados para interruptores de potencia de corriente alterna se darán de acuerdo al uso que vayan a tener,

4.8.4 DURACION DE LA APLICACION DEL VOLTAJE DE PRUEBA DE BAJA FRECUENCIA.-

El voltaje de prueba de baja frecuencia será a-

plicado en forma continua por un período de 60 segundos, a menos de que de otra manera se haya especificado, excepto en interruptores normalizados producidos en grandes cantidades para los cuales el voltaje de prueba normalizado es 2.500 voltios o menos pueden ser probados por un segundo con un voltaje de prueba 20 por ciento más alto que el voltaje de prueba de 60 segundos.

4.8.5 CONDICION DEL INTERRUPTOR O DISYUNTOR QUE VA A APROBARSE.-

El interruptor estará en buenas condiciones y las pruebas serán realizadas antes de que sea puesto en servicio, a menos que otra cosa sea especificada. Pruebas de alto voltaje para determinar si es que las especificaciones son llenadas completamente, serán admisibles en nuevos interruptores solamente.

4.8.6 PRUEBAS EN ALTA TENSION.-

A menos que se acuerde otra forma de hacerlo, las pruebas de alto voltaje deberán hacerse en la misma fábrica.

4.8.7 TEMPERATURAS A LAS CUALES LAS PRUEBAS DE ALTA TENSION DEBEN REALIZARSE.-

Las pruebas de alto voltaje deberán realizarse a

la temperatura asumida bajo operación normal o a la temperatura conseguida bajo las condiciones de pruebas comerciales.

4.8.8 PUNTOS DE APLICACION DEL VOLTAJE DE PRUEBA.-

4.8.8.1 PRUEBAS.-

PRUEBA 1.- Terminales a Tierra:

Con el interruptor cerrado, se aplicará el volta
je de prueba simultáneamente a todos los termina
les.

PRUEBA 2.- A través de Contactos Abiertos.-

Con el interruptor abierto se aplicará el volta
je de prueba simultáneamente a los terminales en un lado del interruptor con los otros terminales puestos a tierra.

PRUEBA 3.- Entre fases.-

Con el interruptor cerrado se aplicará el volta
je de prueba a los terminales de una fase con los terminales de las otras fases puestos a tierra. En interruptores de 3 o 4 polos, el volta
je será aplicado a la fase interior o a las fa
ses. Esta prueba no se requiere en interruptores

monopolares, ni cuando el espaciamento fase a - fase es mayor que el espaciamento entre los terminales de l polo.

4.8.8.2 PUESTA A TIERRA.-

En todas las pruebas, normalmente las partes metálicas aterrizadas deberán ser conectadas al lado del circuito de prueba puesto a tierra.

4.8.9 FRECUENCIA Y FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE DE PRUEBA:

La frecuencia del voltaje de prueba de baja frecuencia no deberá ser menor que la frecuencia nominal del dispositivo que va a probarse. Una forma de onda seno es recomendada. La prueba deberá hacerse con voltaje alterno que tenga un valor de pico o de cresta igual a 1.4142 veces el voltaje de prueba especificado. La onda de impulso del voltaje de prueba deberá ser 1.5x40 microsegundos positiva o negativa, dependiendo en cual dá el más bajo nivel de aislamiento.

4.8.10 MEDIDA DEL VOLTAJE DE PRUEBA.-

El voltaje para pruebas de dieléctrico deberá -

medirse de acuerdo a lo especificado.

4.8.11 PRUEBAS DE DIELECTRICO DE LOS BUJES O "BUSHINGS"

Pruebas de dieléctrico para bujes usados con interruptores deberán ser conforme a los requerimientos especificados.

4.8.12 DATOS DE PLACA.-

En el punto 4.6.1 hablamos de regímenes de un equipo y en él se consideraron todos los detalles que en el régimen deben ser incluidos. Agregado a ello deben estipularse otros que cada fabricante los resumirá en la placa que trae consigo todo aparato o dispositivo fabricado.

4.8.13 DATOS DE PLACA DE LOS DISYUNTORES.-

Así pues, la información mínima, siguiente, será dada en la placa de todos los interruptores:

- a. Nombre y dirección del fabricante.
- b. Tipo y designación o número de serie de fabricación.
- c. Corriente de régimen contínuo o permanente.

- d. Voltaje nominal y máximo voltaje de diseño.
- e. Voltaje de impulso resistido nominal.
- f. Frecuencia nominal.
- g. MVA de interrupción nominales.
- h. Máxima corriente de Interrupción Nominal.
- i. Corriente de régimen momentáneo.
- j. Año de fabricación.
- k. Galones de aceite para el tanque.
- l. Peso total, incluyendo el aceite.
- m. Rango de presión de aire de operación.
- n. Rango de voltaje de control de cierre.
- o. Voltaje de disparo Nominal.

CAPITULO V

EJEMPLO DE APLICACION DE COMO SELECCIONAR UN DISYUNTOR
DE ALTA TENSION DE CORRIENTE ALTERNA

5.1. REGIMENES DEL DISYUNTOR

Las características y datos nominales del disyuntor a seleccionarse serán las siguientes:

Número de Polos: 3

Frecuencia : 60 Hz

Neutro del Sistema: Sólidamente puesto a tierra.

Voltaje Nominal: 13.8 KV. r.m.s. entre fases.

Voltaje máximo de Operación: 15.18 KV. r.m.s. entre
fases. (KV. nominal +10%)

Voltaje mínimo de Operación: 13.11 KV. r.m.s. entre
fases. (KV. nominal - 5%)

Máxima Capacidad de Interrupción, Trifásica, Simétrica : a determinarse

Corriente de Cortocircuito a voltaje Nominal máximo : a determinarse

Corriente de Régimen Continuo o Permanente : a determinarse

Corriente de Régimen Momentáneo o de Conexión con enganche, nominal : a determinarse

Corriente de Cortocircuito de corta duración (3 segundos.) : a determinarse

Nivel de aislamiento a frecuencia nominal : 15 KV. r.m.s.

Nivel Básico de aislamiento (BIL) : 95 KV.

Tiempo de interrupción nominal: 5 ciclos

Duración del ciclo de recierre

cerrado - abierto - cerrado : 0 + 20 + 0

5.2

CONSIDERACIONES PARA LA SELECCION.-

En la figura # 37 se muestra el diagrama unilíneal de la configuración del Sistema que ha sido objeto del estudio correspondiente para seleccionar el disyuntor que va a reunir las características indicadas en el punto 5.1. "Regímenes del Disyuntor".

El diagrama unilíneal de la figura # 37 representa una parte de los Sistemas que tiene el INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION (INECEL), en operación bajo su dependencia, en el área de los Cantones: Quevedo, de la Provincia de Los Ríos y El Empalme, de la Provincia del Guayas.

En dicho diagrama el interruptor de potencia de alta tensión de corriente alterna que vamos a seleccionar, se encuentra en el lado secundario del transformador de Poder, de 10/12.5 MVA.,

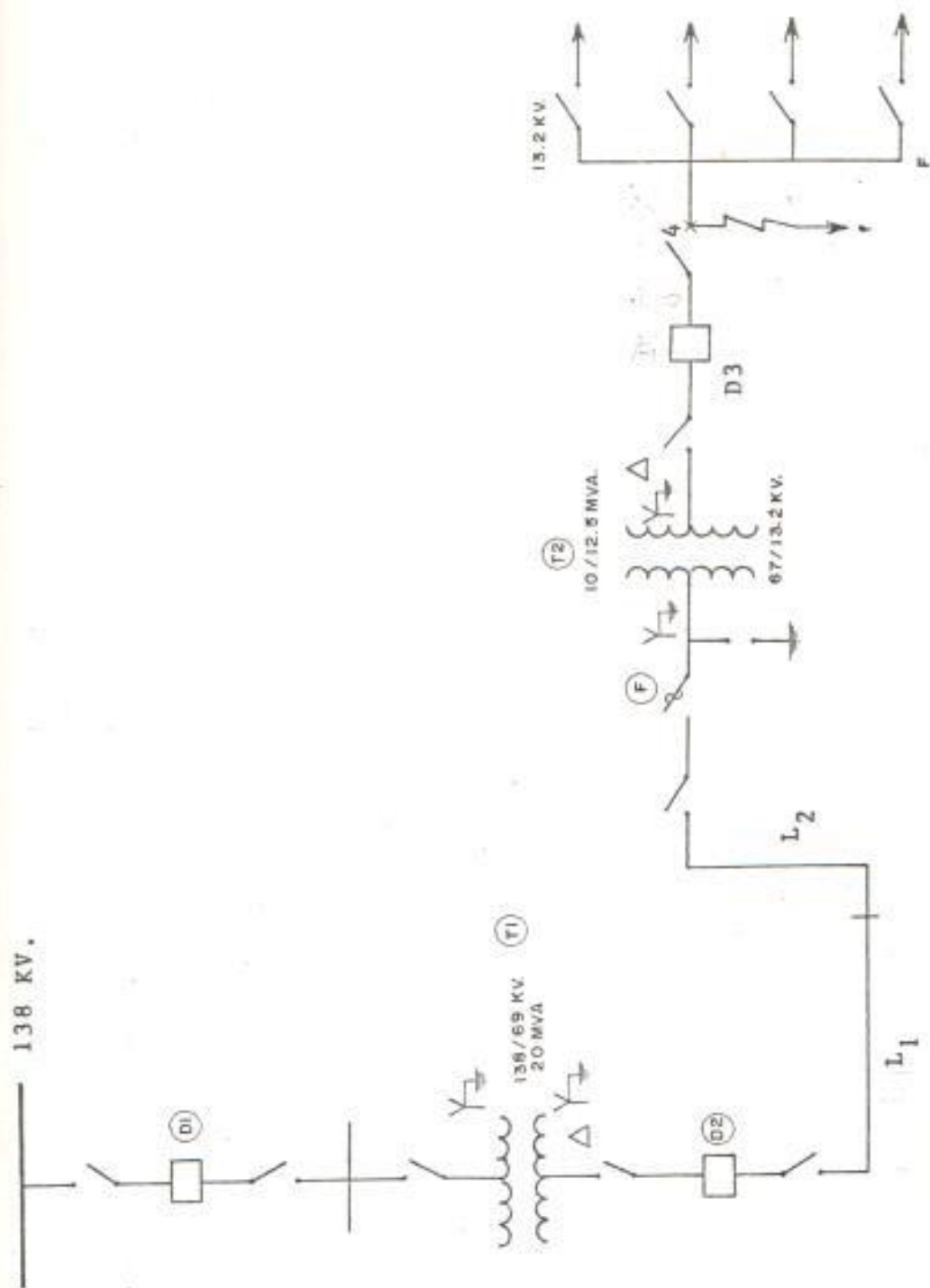


DIAGRAMA UNILINEAL DEL SISTEMA EN ESTUDIO

67/13.2 KV y, en este diagrama se lo ha designado como D_3 para cuyo efecto vamos a determinar las siguientes consideraciones:

5.2.1 VOLTAJE DEL CIRCUITO.-

El voltaje del circuito es de 69 KV. en el lado primario y de 13.8 KV. en el lado secundario. El disyuntor a seleccionarse va a operar en el circuito a 13.8 KV.

5.2.2 FRECUENCIA DEL SISTEMA.-

En el país está normalizada la frecuencia de 60 ciclos por segundo; por lo tanto, la frecuencia del equipo a seleccionarse será de 60 Hz.

5.2.3 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.-

El sistema mostrado en la figura # 37 consiste de una línea de transmisión a 138 KV. de donde se deriva la alimentación al transformador T_1 , un interruptor D_2 de 69 KV., dos tramos de línea a 69 KV., L_1 y L_2 , el transformador de potencia T_2 , el disyuntor D_3 que se va a seleccionar y las alimentadoras a 13.8KV., que saldrán del patio de baja tensión de la Subestación del transformador T_2 .

A continuación se describen las características de T_1 , D_2 , L_1 , L_2 .

TRANSFORMADOR T_1 :

OA 20/20/20 MVA. Aumento de temperatura -
55°C.

FA 26.67/26.67/20 MVA. Aumento de temperatura
55°C.

FOA 33.33/33.33/20 MVA. Aumento de temperatura
55°C.

FOA 37.3/37.3/22.4 MVA. Aumento de temperatura
65°C.

Voltaje: 138 GRY/69.674 - 69 GRY/39 837-13.8KV

Desplazamiento angular: AT/MT: 0°C.

AT/BT:30°C.

IMPEDANCIA:

$Z_{MH} = 7.538\%$ en base a 20 MVA., 138/69KV., 75°C

$Z_{HL} = 12.74\%$ en base a 20 MVA., 138/13.8 KV.

$Z_{LM} = 3.964\%$ en base a 20 MVA., 69/13.8 KV.

DISYUNTOR EN ACEITE D_2

Tipo: 70 GTE - 20 A. Serie 80313/6

Tensión Máxima: 72.5 KV.

Coefficiente de fluctuación del voltaje nominal

(K): 1.21

f : 60 Hz.

Corriente Nominal: 1200 A.

Corriente de Cortocircuito: 19 KA.

Tiempo de Interrupción Nominal: 5 ciclos.

B.I.L.: 350 KV.

Línea de 69 KV. L₁:

Tramo de 748.12 metros de longitud.

Conductor de aluminio # 477 MCM, AASC (26/7)

Reactancia a 1 pié de separación = 0.430 ohmios
/Cond./milla.

Deq = 6.2 piés

R = 0.1190 ohmios / Km.

Línea de 69 KV., L₂:

Tramo de 429 metros de longitud.

Conductor de aluminio # 266.8 MCM, ACS R

Reactancia a 1 pié de separación = 0.465 ohmios
/Cond./milla.

Deq = 6.2 piés

R = 0.2137 ohmios / km.

TRANSFORMADOR T₂.-

10/12.5 MVA. 67/13.2 KV.

Impedancia: 6.89% en base a 10 MVA

MVA. Terciario: 3.5 . Terciario: 2.4 KV.

Conexión: 

Para el cálculo de las corrientes de falla, se

ha considerado el punto D_1 como una barra infinita.

Tanto en la Línea L_1 como en la Línea L_2 la disposición que van a tener los conductores y el hilo de guardia, se muestra en detalle en la figura # 38.

El método utilizado para el cálculo de las corrientes de cortocircuito ha sido el de las Componentes Simétricas y se han considerado solamente dos tipos de falla: Falla de línea a tierra y una falla trifásica, con las siguientes estimaciones:

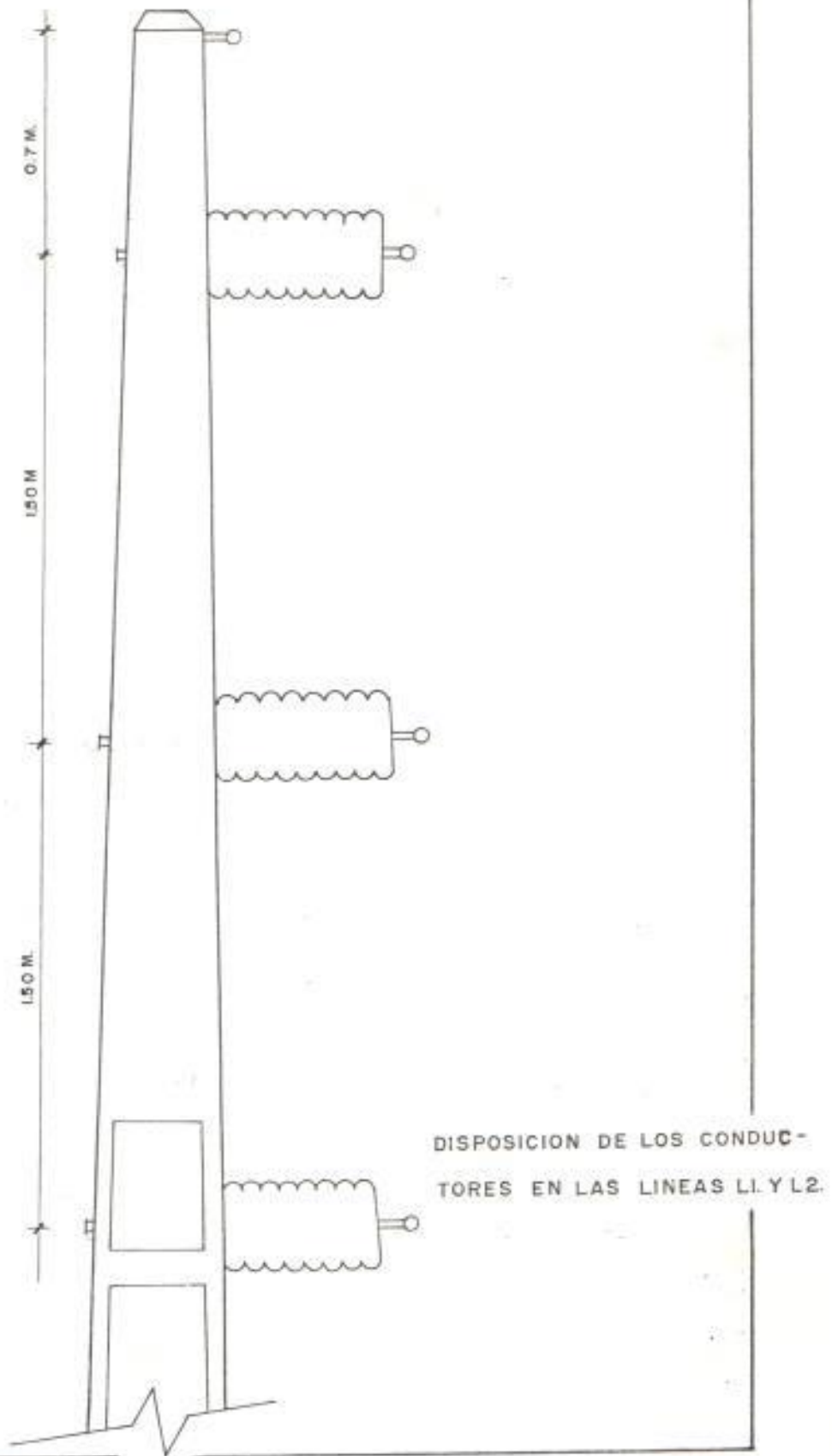
1. No se consideran los valores de Resistencia de los transformadores.
2. Las fallas ocurren sin carga en el Sistema y la admitancia magnetizante paralelo del transformador y las capacitancias de las líneas L_1 y L_2 no se consideran.

Las fallas se producen en el mismo punto (4) que se muestra en la figura # 37.

El valor obtenido para la falla trifásica es el más crítico que va a soportar el disyuntor y su valor es:

$$3950 \text{ A. o } 3.95 \text{ KA.}$$

Fig. Nº 38



5.2.4 CORRIENTE DE TRABAJO Y DE CONEXION CON ENGAN- CHE NOMINALES.-

El disyuntor deberá diseñarse para permanecer enganchado o para cerrar y enganchar frente a la corriente rms asimétrica máxima, de primer ciclo de 1.6 K veces la máxima capacidad rms interruptiva simétrica.

$$I = 1.6 K I_{cc} \quad K = \frac{15.18 \text{ KV.}}{13.11 \text{ KV.}} = 1.1580$$

$$I = 1.6 \times 1.1580 \times I_{cc} = 1.6 \times 1.1580 \times 3950$$

$$I = 7.318.56 \text{ A.} =$$

$$I = 7.32 \text{ KA.}$$

5.2.5 CORRIENTE CONTINUA O PERMANENTE.-

Siendo la capacidad máxima del transformador T_2 que va a proteger, 12.5 MVA., el disyuntor deberá estar capacitado para soportar una corriente permanente de:

$$I_{\text{permanente}} = \frac{12.500 \text{ KVA.}}{13.8 \text{ KV} \times \sqrt{3}} = 547.38 \text{ A.}$$

5.3. CONDICIONES DE SERVICIO.-

5.3.1 Condiciones Usuales de Servicio.-

Deberán cumplirse con las especificaciones de la sección que trata al respecto, en el punto

4.2.1 de este estudio. Debiendo, por lo tanto, operar satisfactoriamente en los regímenes nominales de placa.

Para este caso, operará:

-Donde la temperatura ambiente no sea superior a 40°C. (a la sombra).

5.3.2 Condiciones no usuales de servicio.-

Condiciones de este tipo pueden presentarse y se han descrito en el punto 4.2.2 de este estudio, de las cuales se consideran:

5.3.3 Efecto de la Temperatura.-

La temperatura ambiente en el lugar donde va a operar el disyuntor, nunca sobrepasará a los 40°C que se han mencionado, por ser una temperatura normal en este sector de la Costa Ecuatoriana.

5.3.4 Efecto de la Altura.-

El disyuntor va a operar en una zona que está aproximadamente a 100 metros de altura sobre el nivel del mar; por lo tanto no será necesario aplicar, ningún factor de corrección al determinar sus regímenes de operación.

5.3.5 Otras Condiciones No usuales.-

En este aspecto posiblemente, va a sentir el disyuntor el efecto del polvo que va a producirse en el momento en que se comience la construcción de la II etapa de la Urbanización "El Guayacán del B.E.V. que está adjunta a la Subestación Quevedo Sur, en razón de que el terreno es bastante especial, y al removerlo produce un polvo muy fino que el viento lo deposita por todos lados. Ello ocasionará mantenimientos más frecuentes.

5.4. ACCESORIOS DE MONTAJE DEL DISYUNTOR.-

El disyuntor se suministrará completamente ensamblado, alambrado, listo para operar y provisto, al menos, de los siguientes componentes:

- Armazón rígida de acero;
- Cabina de control con agujeros o aberturas en su parte interior para la entrada de ductos de cables.
- Alambrado interno completo que termine en el bloque de terminales ubicado en el interior de la cabina de control.
- Conectores terminales.
- Tomas y conectores para puesta a tierra.

- Placas de identificación.
- Indicadores de posición.
- Motor para el comando, con arrancadores magnéticos, con bobina de operación para 125 - voltios c.c.
- Contadores para medir el número de disparos
- Soportes de acero galvanizado para montaje en fundaciones de concreto.
- Calentadores para disipar la humedad.

Con los datos obtenidos, procederemos a completar las características del interruptor a se - leccionarse que se mencionaron en el punto 5.1:

REGIMENES DEL DISYUNTOR: Las características y datos nominales - del disyuntor a seleccionarse serán las siguientes:

Número de Polos: 3

Frecuencia: 60 Hz

Neutro del Sistema: Sólidamente puesto a tierra

Voltaje Nominal: 13.8 KV r.m.s. entre fases

Voltaje máximo de Operación: 15.18 KV r.m.s. -
entre fases.

Voltaje mínimo de Operación: 13.11 KV r.m.s. -
entre fases.

Máxima Capacidad de Interrupción, trifásica simétrica.	: 3.950 A r.m.s.
Corriente de Cortocircuito a Voltaje Nominal máximo	: 3.950 A r.m.s.
Corriente de régimen Contínua o Permanente	: 547 A r.m.s.
Corriente de Régimen Momentáneo o de conexión con enganche nominal	: 7.32 KA. r.m.s.
Corriente de Cortocircuito de corta duración (3 segundos)	: 3.950 A r.m.s.
Nivel de aislamiento a frecuencia Nominal	: 15 KV
Nivel Básico de Aislamiento (BIL)	: 95 KV
Tiempo de interrupción	: 5 ciclos
Duración del ciclo de recierre, cerrado - abierto - cerrado	: 0 + 20 + C0

Con estos datos procederemos a la selección del equipo que cumpla nuestros requerimientos de aquellos que estén puestos en el mercado por los fabricantes, en base a la información técnica -

de las características de los disyuntores que proporcionan. Quedando a criterio de seleccionar el más adecuado, que cumpla con los requisitos técnicos-económicos establecidos previamente, por el responsable de ello.

5.5 REFERENCIA.-

Para proceder a la selección del interruptor - de corriente alterna de Alta Tensión se han considerado los criterios y normas que se han desarrollado en el presente estudio.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda hacer uso de las definiciones y la terminología, que como una contribución, se ha elaborado en el presente estudio con relación a la selección de los Interruptores de Alta Tensión - de corriente alterna.
- 2.- Para seleccionar adecuadamente un disyuntor es necesario calcular tanto el valor de la corriente - de cortocircuito en el momento en que se produce la interrupción del circuito, como el valor máximo de dicha corriente en los momentos iniciales.
- 3.- Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se tendrá en cuenta:
 - a.- El período subtransitorio (Esfuerzos electrodinámicos en máquinas y aparatos).
 - b.- El período transitorio (Funcionamiento de los disyuntores automáticos. Esfuerzos térmicos en máquinas y aparatos).
 - c.- El período permanente (Esfuerzos térmicos en máquinas y aparatos).

I la marcha a seguirse, será la siguiente:

- a.- Determinación de la reactancia porcentual o en tanto por unidad de la trayectoria por fase afectada por el cortocircuito, componiéndola a base de las reactancias parciales que se encuentran en dicha trayectoria y refiriendo estas reactancias parciales a un valor base.
- b.- Determinación de la corriente eficaz de cortocircuito de choque.
- c.- Una vez determinada y, a partir de su valor:
- 1.-Determinar la corriente máxima de cortocircuito de choque.
 - 2.-Determinar la corriente transitoria de cortocircuito y la capacidad de ruptura de los aparatos de corte.
 - 3.-Determinar la corriente permanente de cortocircuito.
- 4.-Con los valores de las corrientes de cortocircuito de choque, podremos determinar los esfuerzos electrodinámicos de cortocircuito.

Con los valores de las corrientes transitorias de cortocircuito, podremos determinar las características de funcionamiento que habrán de cumplir los disyunto-

res y demás aparatos de corte.

Finalmente, con los valores de la corriente permanente de cortocircuito, podremos determinar los esfuerzos térmicos sobre máquinas y aparatos.

5.-Cuando a la red estén conectados motores síncronos y motores de inducción, se tendrán en cuenta las siguientes normas:

- Para calcular el valor de la corriente máxima de cortocircuito de choque, se tendrán en cuenta los valores de las reactancias subtransitorias de estos motores.
- Para calcular el valor de los aparatos de corte se tendrán en cuenta únicamente, los valores de las reactancias transitorias de los motores síncronos. La influencia de los motores síncronos sobre la corriente de cortocircuito es nula cuando han transcurrido algunos períodos por lo que, para el cálculo de la capacidad de ruptura, no se ha de tener en cuenta la existencia de este tipo de motores.

6.-Durante el período subtransitorio se producen intensos esfuerzos electrodinámicos en los elementos del disyuntor sometidos al cortocircuito, que pueden

provocar su destrucción. Dado el tiempo de desconexión propio de los interruptores y relés de protección, los interruptores desconectan la parte del circuito afectada por el cortocircuito, durante el período transitorio, por lo que las máquinas y aparatos deben proyectarse para soportar durante el tiempo que dura el período subtransitorio, la corriente de choque producida.

7.- Las corrientes de cortocircuito transitorias y permanente provocan, sobre todo, un intenso calentamiento en las máquinas y aparatos sometidos al cortocircuito, por lo que éstos deberán proyectarse para resistir el calentamiento producido por la corriente transitoria hasta que los aparatos de protección hayan realizado su función protectora.

8.- Desde el punto de vista del cálculo de las corrientes de cortocircuito, la determinación de la corriente de cortocircuito permanente no tiene interés práctico.

Con protecciones e interruptores modernos, que interrumpen la corriente de cortocircuito en unos

cuantos ciclos, la corriente interrumpida es la corriente subtransitoria o con protecciones más lentas, la transitoria.

- 9.- en el cálculo de cortocircuitos, al representar a los generadores como fuentes de fuerza electromotriz constantes, en serie con la reactancia subtransitoria, se está calculando la corriente subtransitoria simétrica. Para tomar en cuenta el fenómeno de asimetría producido por la posible existencia de una componente de corriente continua, se multiplica la corriente simétrica por un factor mayor que la unidad, cuya magnitud depende del instante en que se quiere determinar la corriente total.

Para el caso en que el cortocircuito se produce en el instante en que la fuerza electromotriz pasa por cero, que es en el que se tiene máxima asimetría, el valor inicial de la componente de corriente continua es de igual magnitud y de signo contrario que el valor de cresta de la corriente subtransitoria simétrica.

Si se desprecia el amortiguamiento, tanto de la -

componente de corriente continua como de la componente de corriente alterna durante el primer ciclo, se tiene que el valor eficaz de la corriente total de cortocircuito es igual a: $1.73 I_d''$

10. La amplitud de la componente de corriente alterna simétrica, decae muy rápidamente en los primeros ciclos y después más lentamente hasta alcanzar el valor de la corriente de cortocircuito de régimen permanente.
11. Tomando en cuenta el amortiguamiento del circuito en la práctica y, según resultados experimentales se toma $I_{ch} = 1,80 \sqrt{2} I_{cc}$ o, expresado de otra forma $I_{ch} = 2,55 I_{cc}$, de acuerdo a la normalización de la CEI.
12. La componente unidireccional es prácticamente nula al cabo de 0,25 segundos; a partir de aquí la corriente de cortocircuito de choque, se hace simétrica y se va amortiguando hasta alcanzar el valor de la corriente de cortocircuito permanente.
13. Debe tomarse en cuenta que, para corrientes trifásicas, cuando se produce un cortocircuito tripolar y en una de las fases, la fuerza electromotriz -

pasa por su valor nulo, en las otras dos fases, la fuerza electromotriz tiene cierto valor no nulo, por lo que las corrientes de cortocircuito en estas fases serán inferiores a la de la fase afectada por el valor nulo de la fuerza electromotriz.

14.- Como, previamente, no podemos conocer el momento en que se producirá un cortocircuito, para el cálculo y proyecto de los aparatos de protección de las redes y máquinas se habrán de tener en cuenta las condiciones más desfavorables y, por lo tanto, suponer que el cortocircuito se producirá cuando la fuerza electromotriz pase por su valor cero.

15.- Los disyuntores deben tener una capacidad de ruptura adecuada para que durante un cortocircuito puedan funcionar y cumplir su cometido sin sufrir avería ni representar peligro para el personal y el equipo eléctrico.

Además de la suficiente capacidad de ruptura, para eliminar la avería con rapidez y seguridad, el disyuntor debe tener también una capa

cidad momentánea suficiente para resistir los efectos de los valores máximos de las corrientes de cortocircuito.

- 16.-Tomando en consideración que en el país se han establecido sistemas eléctricos regionales que poco a poco se están uniendo al Sistema Nacional Interconectado, se recomienda la ejecución de un recálculo de las corrientes de cortocircuito con la finalidad de ubicar en forma adecuada los interruptores que estén actualmente prestando servicio, procurando la utilización óptima de los existentes de acuerdo al proceso de expansión de los Sistemas Eléctricos que deberá hacerse por etapas de tiempo y de acuerdo al incremento que vaya produciéndose. Con ello se estarán tomando especiales precauciones que evitarán los accidentes de disyuntores al unirse redes de media tensión a redes de gran potencia, con interruptores ya antiguos cuyas características ya no satisfacerán las nuevas condiciones de operación que impondrán las nuevas corrientes de cortocircuito que se pueden producir en esas nuevas situaciones.

17.- Se recomienda que una vez seleccionado el interruptor de alta tensión de corriente alterna, - sus características sean especificadas en la forma como se ha tratado en el Capítulo IV del presente estudio.

18.- Se recomienda que los interruptores que hayan sido seleccionados sean sometidos a las siguientes pruebas recomendadas por la C E I y que son de dos clases: Pruebas de Tipo y Pruebas de Verificación.

Pruebas de Tipo.-

- a. Prueba de prestación.- La prueba de prestación es esencialmente de tipo y sirve para determinar la corriente de ruptura nominal. Para las mediciones debe emplearse el oscilógrafo catódico para poder registrar: la corriente de fase, la tensión de fase, y la tensión del arco. El ciclo de trabajo correspondiente deberá repetirse un número suficiente de veces hasta tanto se pueda asegurar que se han verificado las más duras condiciones de funcionamiento.
- b. Prueba de sobrecarga.- Es también prueba de tipo y sirve para comprobar que el interruptor

está dispuesto para soportar la corriente de sobrecarga fijada.

- c. Prueba de temperatura.- Esta prueba tiene por objeto comprobar el comportamiento del interruptor a los efectos del calentamiento con la corriente nominal. A los efectos de la prueba, la sobreelevación de temperatura de régimen admitida en un interruptor de aceite, respecto al aire ambiente, cuando dicho interruptor es probado con la corriente nominal no debe superar los valores que se indican en la tabla que sigue.

Intensidad de Corriente	Sobreelevación de temperatura		Temperatura máxima	
	Aceite	Contactos	Aceite	Contactos
Hasta 2000 amperios	30°	40°	70°	80°
Más de 2000 amperios	40°	50°	80°	90°

Para las partes del interruptor formadas por los arrollamientos de las bobinas o similares los límites de temperatura serán los fijados en las normas C.E.I. para los transformadores en seco. Cuando los interruptores deban ser instalados en lugares cuya altitud sea mayor de 1000 metros, los valores indicados en la tabla deberán reducirse en 1% por cada 100 metros que excedan de la mencionada altitud. La

temperatura en el interior del interruptor deberá ser medida por medio de termómetro o de par termoeléctrico colocado en los puntos o partes de mayor temperatura. La del ambiente se obtendrá, asimismo, por las indicaciones de tres termómetros situados a un metro de distancia del interruptor: uno a la altura de los contactos, y los otros dos, el primero 50 cm. más alto y el segundo 50 cm. más bajo.

- d. Prueba de aislamiento.- Esta prueba es tanto para el tipo como para la verificación. Su objeto es comprobar la aptitud del interruptor para funcionar a la tensión nominal y verificar la bondad de todo el material aislante. La tensión para la prueba de aislamiento que se aplicará tanto a los de interior como a los de exterior, deberá ser igual, en valor eficaz, a dos veces, la tensión nominal más 10.000 voltios. La tensión de descarga en seco de los aisladores pasantes no será inferior a la tensión de prueba de aislamiento aumentada en 10% y con un incremento mínimo de 5.000 voltios. La tensión de descarga bajo lluvia de los pasantes del interruptor para trabajar al exterior, no será inferior a la tensión de prueba de aislamiento. La tensión

para la prueba del interruptor completo se aplicará continuamente durante sesenta segundos; la frecuencia podrá tener cualquier valor comprendido entre 15 y 100 hercios y debe ser de forma sinusoidal según las normas de la C.E.I. La aplicación y la medida de la tensión de prueba, deberá ser hecha conforme a lo prescrito por la C.E.I. para los ensayos de aislamiento de las máquinas. La prueba de tensión de descarga en seco y bajo lluvia se efectuará con arreglo a la modalidad fijada en las normas de la C.E.I. para el ensayo de los aisladores. Las pruebas de aislamiento del interruptor deberán hacerse en la forma siguiente:

1. Interruptor cerrado: fase contra masa.
2. Interruptor cerrado: fase contra fase.
3. Interruptor abierto: fase contra masa.
4. Interruptor abierto: fase contra fase

e. Prueba de resistencia mecánica.- Es una prueba de tipo y tiene por objeto controlar que toda la parte mecánica del interruptor, comprendido el mando, es suficientemente robusta y apta para el cometido que debe desempeñar.

Para la prueba de resistencia mecánica es preciso someter al interruptor completamente

montado a una sucesiva serie de aperturas y cierres cuyo número no sea inferior a 500. Después de esta prueba no precisará el interruptor ninguna reparación ni ajuste.

- f. Prueba de presión.- Es la prueba de resistencia de la caja a la presión interna y, debe convenirse en su caso entre el fabricante y el comprador.

PRUEBAS DE VERIFICACION.-

- g. Prueba de funcionamiento.- Debe hacerse con el interruptor instalado y su objeto es comprobar la regularidad de montaje, especialmente en lo relativo al funcionamiento del mando y la simultaneidad de la maniobra de los tres polos.
- h. Control de Tipo.- El control de tipo se verifica para comprobar, en el suministro de varios interruptores, que todos responden al interruptor tipo en el cual se han efectuado las pruebas de tipo.
- i. Placa de características.- Los interruptores deben ir provistos por el fabricante de una placa en la que se consigne: el nombre del

constructor, el tipo de aparato, el número de fabricación y los siguientes datos:

1. Tensión nominal;
2. Corriente nominal;
3. Corriente de ruptura nominal en amperios - (eficaz);
4. Corriente de cierre nominal en amperios - (máxima).

La caja de mando eléctrico llevará una placa característica indicando los datos esenciales para el uso del mando.

Prescripciones varias.- Los interruptores de ben llevar un indicador del aceite que contie nen, con señales de alturas máxima y mínima. Cuando un interruptor contenga más de 500 litros de aceite irá provisto de dispositivo pa ra la descarga rápida del mismo.

Los dispositivos de mando deben ser tales que el equipo móvil no pueda permanecer en una po sición intermedia entre las dos extremas y el cierre.

- 19.- Se recomienda se considere el uso del modelo del pedido de suministro de Disyuntores que - se agrega como anexo, a la presente tesis.

20.- Finalmente, con las presentes conclusiones y recomendaciones, hemos querido dejar establecidos determinados criterios que deben ser considerados en el proceso de selección de los Interruptores de Potencia de Alta Tensión de Corriente Alterna y, que sirvan como un aporte para la conformación de las Normas que se vayan a elaborar para el efecto, por parte del o de los Organismos competentes.

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

Pág.

ALONSO, M. Redacción, análisis y ortografía, Aguilar Madrid, 1961

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE, ANSI C37.4 - 1953, ANSI C 37.04-1964, ANSI C37.a - 1964, ANSI C-37.5-1964, ANSI C37.5-1969, ANSI C37.6-1953, ANSI C-37.7-1952, ANSI C 37.8-1952

BUCHHOLD-HAPPOLDT, Centrales y redes eléctricas, Editorial Labor S.A. 1971

GENERAL ELECTRIC, Distribution data book, 1980.

GREENWOOD, Transients in electrical engineering -

HANZE C. ALBERTO, Ingeniero Electrico, copiados de - clases dictadas sobre sistemas de potencia II, ES-POL.

KIMBARK, Electric Power Systems.

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, Instrucciones para disyuntores en gas SF6 tipo "SFMT" Ruptura Única - tipo PUFFER.

RAMIREZ VASQUEZ JOSE, Estaciones de transformación y distribución-Protección de sistemas eléctricas, - enciclopedia CEAC de Electricidad, Ediciones CEAC S.A. 1977

RAS ENRIQUE, Teoría de líneas eléctricas, Universidad Politécnica de Barcelona, Septiembre 1975

STEVENSON WILLIAM D. Jr. Elements of Power System Analysis, Novaro Editores Impresores S.A. Mayo 1965.

THE LINE, Boletín 7116

VIQUEIRA LANDA JACINTO, Redes Eléctricas, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. 1970

NEEDY, Sistema de Potencia

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, Applied-Protective Relaying, Febrero 1968

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, Electrical Transmission and Distribution, 1964

ZOPPETTI, Estaciones transformadora y de Distribución, editorial Gustavo Gili S.A. 1966