

140 2d

Universidad Nacional Autónoma de México



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NORMATIVIDAD SELECTIVA DE LAS PROTECCIONES EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N
MARCELO VITE NEGRETE
MARTIN ARTURO RUBIO ALEJO



Director de Tesis:
ING. LUIS LOPEZ ORTIZ

MEXICO, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION.	1
OBJETIVO.	3
CAPITULO I ANTECEDENTES.	4
1.1. Fusibles.	4
1.2. Interruptores.	14
1.3. Relevadores.	21
1.4. Transformadores de corriente.	25
1.5. Caralizaciones.	39
1.6. Numero y funciones de los dispositivos de proteccion más comunmente utilizados.	42
 CAPITULO II PROTECCION NORMATIVA DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE QUE SE COMPONE UNA INSTALACION ELECTRICA DE TIPO INDUSTRIAL.	 45
2.1. Transformadores.	45
2.2. Motores.	58
2.3. Generadores.	79
2.4. Conductores.	85
 CAPITULO III ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.	 102
3.1. Introduccion.	102
3.2. Elementos que aportan corriente de corto circuito.	102

3.3.	Métodos para el cálculo de corto circuitos.	110
CAPITULO IV ANALISIS DE CORTO CIRCUITO.		111
4.1.	Introducción.	111
4.2.	Principales elementos del sistema.	111
4.3.	Cálculo de corto circuitos.	117
4.4.	Selección de interruptores de potencia en alta tensión.	126
4.5.	Selección de interruptores en baja tensión.	136
CAPITULO V ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES.		146
5.1.	Introducción.	146
5.2.	Principales elementos del sistema.	146
5.3.	Cálculo de corto circuitos.	149
5.4.	Selección y ajuste de los dispositivos de protección.	154
5.5.	Coordinación en escala log-log.	160
REFERENCIAS.		173
CONCLUSIONES.		174

INTRODUCCION.

Este trabajo pretende exponer las normas y criterios que se siguen en el diseño de un sistema eléctrico enfocado a mediana tensión (1 KV - 35 KV).

En el primer capítulo se estudian los principales elementos de protección de un sistema eléctrico de potencia, como son: fusibles, interruptores, relevadores, transformadores de corriente (TC's) y algunos tipos de canalizaciones. En el caso de los fusibles e interruptores se enfatiza el conocimiento de las capacidades nominales e interruptivas de corto circuito, respectivamente; para los relevadores se mencionan los diversos tipos y sus aplicaciones.

En el segundo capítulo, se describen los diversos métodos de protección de dichos elementos del sistema eléctrico como son: los transformadores, motores, generadores y conductores.

En el tercer capítulo, se anotan los principales elementos que aportan corriente de corto circuito cuando surge una falla, así como de los métodos para el cálculo de corto circuito.

En el cuarto capítulo se realiza un estudio de corto circuito sobre un ejemplo real así como la selección de los interruptores de potencia y de baja tensión.

En el quinto capítulo se lleva a cabo un estudio completo de coordinación de protecciones real, desde el cálculo de corto circuito, selección y ajuste de los fusibles, relevadores e

interruptores hasta la graficación en hoja log-log de las curvas, siendo esto uno de los puntos más importantes ya que sólo así se tendrá una visualización correcta de como operan cada uno de los elementos de protección en forma coordinada, o sea, sin un traspase crítico de sus curvas.

OBJETIVO.

El objetivo de esta tesis es mostrar un panorama general sobre la aplicación normativa de las protecciones en los sistemas eléctricos industriales de mediana tensión.

La meta principal de este trabajo es que sirva como referencia a estudiantes e ingenieros en el análisis y solución de este tipo de problemas. La información que existe referente a la normatividad de las protecciones se encuentra muy dispersa y escasa y solo en baja tensión, siendo este punto uno de los motivos porque se decidió realizarla: solo se mencionan algunas protecciones que se aplican en la práctica con mayor frecuencia.

Por último se tienen normas que se deben aplicar a equipos específicos pero hay casos en que solo existe la recomendación y en la que el ingeniero deberá tener un buen criterio para aplicarles ya que aquí intervienen aspectos muy importantes como son: el técnico, el económico y la seguridad del personal.

CAPITULO I

ANTECEDENTES.

I.1 FUSIBLES.

Un fusible se define como un dispositivo que protege a un circuito eléctrico por la apertura del elemento fusible debido a su respuesta de corriente cuando una sobrecorriente o corriente de corto circuito fluye a través del mismo.

1.1.1 FUSIBLES DE BAJA TENSION.

Los fusibles de baja tensión están dados usualmente en rangos de tensión de 500, 300, 150 y 125 V C.A. o C.D. o ambas y pueden tener rangos de interrupción de 10 000, 50 000, 100 000 y 200 000 Amps. R.M.S. simétricos.

FUSIBLES TIPO TAPON.

Se fabrican para operar a una tensión de 125 V C.A. 30 Amps. y 10 000 Amps. de capacidad interruptiva. Tipo Edison : 125 V C.A. de 0-20 A. Tipo B: de 0-15 A. y de 15-20 A.

FUSIBLES CLASE R

Existen renovables o no renovables y se fabrican para operar a 250 y 600 V C.A. y con una capacidad interruptiva de 10 kA. simétricos.

FUSIBLES CLASE I

Se definen 3 clasificaciones: clase K-1, K-5 y K-9.

Estos fusibles no son renovables, son intercambiables por los de clase R y cumplen con las normas U.L. 198.3. Todos se

fabrican para 250 y 500 V C.A. de 30, 60, 100, 200, 400 y 600 A.

La clase K-1 solo se fabrica en tipo rápido y su capacidad interruptiva es de 200 KA. simétricos.

La clase K-5 tiene un grado moderado de limitación de corriente y se fabrican en tipo rápido o con retardo de tiempo. Su capacidad interruptiva es de 100 KA. simétricos.

La clase K-9 está descontinuada por los fabricantes.

La palabra "tiempo rápido" estampada en el fusible indica que debe operar en 10 segundos con una sobrecarga del 500% de su corriente nominal.

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE DE BAJA TENSION.

Son los que deben abrirse en 1/4 de ciclo de la corriente de corto circuito.

CLASE G

Estos fusibles no son renovables y deben utilizarse en circuitos donde la corriente de corto circuito disponible no exceda de 100 KA. P.M.S. simétricos. Se fabrican para una corriente nominal de 0-600 A. y una tensión nominal a tierra, con un tiempo de retardo no mayor de 12 seg. con 2 veces su corriente nominal. Son utilizados en tableros de alumbrado con un dispositivo de desconexión del fusible. No son intercambiables según norma U.L. 198.2.

CLASE J

Esta clase de fusible son del tipo no renovable y no intercambiable. Norma U.L. 198.2 incorporada dentro de la norma ANSI 97.1-1972. Se fabrican para 600 V C.A. máximos y de 0-600 A.

su capacidad interruptiva es de 200 KA. R.M.S. simétricos, se aplican en circuitos principales y alimentadores.

CLASE T

Esta clase de fusibles no son renovables, no intercambiables y no poseen retardo de tiempo. Se fabrican para utilizarse en circuitos hasta de 500 V.C.A. y de 0-600 A. de corriente nominal, con capacidad interruptiva de 200 KA. R.M.S. simétricos.

CLASE L

Los fusibles clase L son del tipo no renovables, no intercambiables, no emplean porta fusibles y no tienen retardo de tiempo. Tienen una tensión nominal de 500 V máximos C.A. su corriente nominal es de 900 a 6000 A. se encuentran en el mercado con los siguientes tamaños de cartucho: 800, 1 000, 1 600, 2 000, 2 500, 3 000, 4 000, 5 000 y 6 000 A. con capacidad interruptiva de 200 KA. R.N.S. simétricos.

CLASE R

Estos fusibles no son renovables y cumplen con las normas U.L.198.4. Son intercambiables con la clase R y K, se fabrican para 250 y 500 V C.A. únicamente, con una corriente nominal de 0 a 600 A. y una capacidad interruptiva de 200 KA. R.M.S. simétricos.

CLASE RK-1

Esta clase posee un alto grado de limitación de corriente y sin retardo de tiempo. Norma U.L.198.3.

CLASE R-5

Poseen una moderada capacidad limitada de corriente y un tiempo de retardo de 10 seg. para una sobrecarga del 200% de su corriente nominal.

CLASE CC

Esta clase no es renovable, no intercambiable y no posee retardo de tiempo. Operan a una tensión de 600 V con una corriente nominal de 0-20 A. con capacidad interruptiva de 200 KA. R.M.S. simétricos; su normalización está pendiente. Se utiliza en circuitos de control.

AUTOREGENERABLES

Se encuentran integrados a interruptores termomagnéticos con un voltaje de operación de 110, 460 y 500 V C.A.

TIPOS ESPECIALES

Protegen contra sobrecorriente y corto circuito donde no están involucrados circuitos derivados. Se utilizan para capacitores, rectificadores o integrados con los interruptores termomagnéticos.

La fig. 1.1 muestra el comportamiento de fusión del fusible al momento de presentarse una falla.

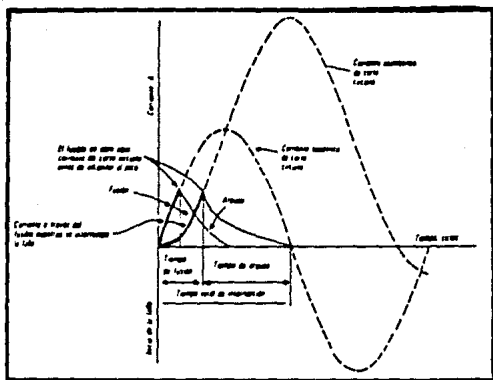


Fig. 1.1 Tiempos de fusión, arqueo e interrupción total de un fusible.

TABLA 1.1

FUSIBLES CLASE J Y K

CLASE	RANGO Amps.	I_p Amps.	$I^2t \times 10^3$
J	30	7 500	7
	60	10 000	30
	100	14 000	80
	200	20 000	300
	400	30 000	1 100
	600	45 000	2 500
K-1	30	10 000	10
	60	12 000	40
	100	16 000	100
	200	22 000	400
	400	35 000	1 200
	600	50 000	3 000
K-5	30	11 000	50
	60	21 000	200
	100	25 000	500
	200	40 000	1 600
	400	60 000	5 000
	600	90 000	10 000

I_p = corriente pico.

I^2t = amperes al cuadrado-segundos.

1.1.2 FUSIBLES DE ALTA TENSION.

Aquí se incluyen los fusibles de mediana tensión desde 2.3 a 161 KV. así como, tablas donde se muestran los rangos de tensión y capacidad interruptiva de cada tipo de fusible.

TABLA 1.2

FUSIBLES DE POTENCIA TIPO LIMITADOR DE CORRIENTE.

Tensión máxima nominal KV	Corriente de interrupción máxima nominal valor R.M.S. K	Nivel de aislamiento al impulso. KV
2.8	50	60
5.5	40	75
8.3	40	95
15.5	25	110
27.0	16	150

Normas ANSI C 37.47 y en IEC 282.1.

TABLA 1.3

FUSIBLES DE POTENCIA TIPO EXPULSION.

Tension Nominal	Capacidad interruptiva maxima nominal seg. R.M.S.	Nivel de aislamiento.
IV	KA	IV
2.4	45.0	45
4.8	50.0	50
7.2	50.0	75/R5
14.4	50.0	110
23.0	50.0	150
34.5	40.0	200
46.0	20.0	250
69.0	12.0	300
115.0	8.0	550
138.0	6.0	650
161.0	2.0	750

Normas ANSI C 37-46

Los fusibles de alta tension clase de potencia poseen las mismas características que los de distribución con la diferencia de que tienen mayor capacidad interruptiva.

TABLA 1.4

CORTACIRCUITOS FUSIBLE.

Tensión nominal	Corriente nominal	Capacidad interruptiva máxima sim. F.M.S.	Nivel de aislamiento al impulso.
kV.	*A.	**kA.	kV.
Cortacircuitos fusibles abiertos			
4.8	50	3.0	60
7.2	200	5.6	75
14.4	200	7.1	95
25.0	100	4.0	95
34.5	100	3.2	125
Cortacircuitos fusibles de eslabon descubierto			
7.2	50	1.2	75
14.4	50	1.2	95
17.0	50	0.75	125

* Los valores indicados se refieren a la capacidad nominal definida en la norma de referencia y en los cortacircuitos fusibles indicados, pero se pueden instalar eslabones de las siguientes capacidades en amperes.

I nominal A.	Rango A.
50	1-50
100	1-100
200	125-200

** Aunque no se especifica la capacidad de un fusible en MVA, se estima que son empleados a niveles de hasta 250 MVA.

TABLA 1.5

FUSIBLE ELECTRONICO.

CARACTERISTICAS NOMINALES DE OPERACION.

Capacidad de voltaje IV		Sistema de voltaje aplicable en KV		
Nominales	Máximo			
4.16	5.5	4.16	a	4.8
13.8	17.0	12.0	a	16.5
25.0	29.0	22.9	a	27.6

Tensión nominal KV	Capacidad interruptiva máxima nominal	Nivel de aislamiento al impulso KV
4.16	600 A. en C.D. 40 000 A. R.M.S. sim.	-
13.8	"	110
25.0	"	150

1.2 INTERRUPTORES.

El interruptor es un dispositivo de protección cuya función es interrumpir o restablecer la continuidad en un circuito eléctrico en caso de una perturbación o cortocircuito en el sistema bajo condiciones de carga.

1.2.1 PARAMETROS DE LOS INTERRUPTORES.

Algunas magnitudes características que hay que considerar en un interruptor son:

Tensión Nominal: Es el valor eficaz de la tensión entre fases del sistema en que se instala el interruptor.

Corriente Nominal: Es el valor eficaz de la corriente nominal máxima que puede circular continuamente a través del interruptor sin exceder los límites recomendados de elevación de temperatura.

Corriente de corto circuito: Es el valor eficaz de la corriente máxima de corto circuito que pueden abrir las cámaras de extinción del arco. Las unidades son kA, aunque comúnmente se dan en MVA de corto circuito.

1.2.2 CLASIFICACION DE INTERRUPTORES.

De acuerdo con el tipo de construcción y el medio por el cual se logra la interrupción del arco eléctrico.

Los interruptores se clasifican en:

- 1.- Interruptores de aceite.
 - a) De gran volumen de aceite
 - b) De volumen reducido de aceite
- 2.- Interruptores en aire.
 - a) Para baja tensión
 - b) De soplo magnético
 - c) Neumáticos o de aire comprimido
- 3.- Interruptores de vacío.
- 4.- Interruptores de hexafluoruro de azufre (SF_6).

De acuerdo a su aplicación, los interruptores se dividen en: de baja tensión, mediana y alta tensión.

1.2.3 INTERRUPTORES DE BAJA TENSION.

Los interruptores de baja tensión operan en 600 V o menos, en la aplicación se prefieren los interruptores en aire o electromagnéticos a los de aceite, ya que presentan menos peligro tales como explosión y además menos mantenimiento debido a su bajo voltaje en su diseño generalmente sencillo, compacto en su construcción y fácil manejo.

1.2.4 INTERRUPTORES DE MEDIANA TENSION.

Los de mediana tensión, generalmente operan en el rango de 601 a 15 000 V pudiéndoseles dar el nombre de interruptores de potencia. En los servicios de interior los tipos de mayor aplicación son: los de soplo magnético, de gran volumen de aceite y de volumen reducido de aceite. Para condiciones normales se prefiere el uso del tipo de soplo magnético aún cuando es mayor la inversión, cuando existen condiciones anormales atmosféricas

se recurre a los de aceite que además reducen el costo de la instalación.

1.2.5 INTERRUPTORES DE POTENCIA.

Los interruptores de alta tensión, van siempre instalados a la intemperie y se emplean del tipo aire comprimido, aceite, vacío y hexafluoruro, predominando el tipo de aceite; en estos tipo de interruptores de aceite, se emplean los de pequeño volumen de aceite hasta un nivel de aislamiento de 230 KV y de 250 MVA de capacidad interruptiva, en general se usan en tensiones y potencias medianas, en tanto que los de gran volumen de aceite se pueden emplear en niveles superiores. Los contactos de estos interruptores pueden soportar, según estadísticas de los fabricantes, el siguiente número de operaciones sin requerir cambio:

- A corriente nominal 4 000 operaciones.
- A la mitad de la potencia máxima de corto circuito. 8 operaciones.
- A plena potencia de corto circuito 3 operaciones.

El tiempo de la extinción del arco es del orden de 6 ciclos. En el tipo de interruptores neumáticos el apagado del arco se efectúa por acción violenta de un chorro de aire que barre el aire ionizado por efecto del arco. El poder de ruptura aumenta casi proporcionalmente a la presión del aire inyectado; la presión del aire comprimido varía entre 8 y 10 Kg/cm² dependiendo de la capacidad de ruptura del interruptor. La extinción del arco se efectúa en un tiempo muy corto del orden de 3 ciclos, lo cual produce sobretensiones mayores que los anteriores. Los

interruptores en vacío generalmente tienen su aplicación en la industria en voltajes inferiores a 20 KV.

Interruptores en hexafluoruro de azufre (SF₆).

En este tipo de interruptor las cámaras de extinción operan dentro de un gas llamado hexafluoruro de azufre (SF₆) que tiene una capacidad dieléctrica superior a otros fluidos dieléctricos conocidos.

Los interruptores pueden ser de polos separados, cada fase en su tanque, o trifásicos en que los tres utilizan una misma envolvente; se fabrican para tensiones desde 115 KV. hasta 800 KV. y las capacidades de interrupción varían de acuerdo con el fabricante, llegando hasta magnitudes de 80 kA. que es un caso muy especial.

Este tipo aparatos pueden librar las fallas hasta en 2 ciclos y para limitar las sobretensiones altas producidas por esta velocidad, los contactos vienen con resistencias limitadoras.

Sus capacidades van de los 115 KV, 5 000 MVA; hasta los 345 KV, 25 000 MVA.

La mayor parte de los fabricantes de estos equipos se realizan 5 rangos de voltaje, que van de 110, 150, 161, 230 y 345 KV. en algunos casos los hay de menor o mayor capacidad, el voltaje máximo de operación para estos rangos son respectivamente 121, 145, 169, 242 y 362 KV.

RANGOS CONTINUOS DE CORRIENTE.

Son 1200, 1600 y 2000 A. es posible cubrir estos rangos y aun mayores hasta 3 000 A. y en un futuro próximo 4000 y 5000 A.

INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS.

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos que se utilizan para proteger circuitos eléctricos de baja tensión hasta 600 V C.A. y 250 V C.D. ver tabla 1.6.

Su apertura se realiza manualmente mediante una palanca de operación, la cual abre y cierra los contactos del interruptor y se efectúa de manera automática al presentarse una falla causada por una sobrecorriente en el circuito.

INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS.

Los interruptores electromagnéticos están diseñados para controlar y proteger circuitos eléctricos de fuerza que operen una tensión máxima de 250 V C.D. o 600 V C.A. Estos aparatos pueden operar en forma segura controlando y desconectando la carga y actuando automáticamente cuando se presenten condiciones de sobrecorriente.

TABLA 1.6

CAPACIDADES INTERRUPTIVAS.

Manejo amperes	240 V.	480 V.	600 V.
50 - 800	42 I.A.	30 I.A.	22 I.A.
50 - 1 600	65	50	42
50 - 2 000	65	50	47
1 000 - 2 000	75	50	50
1 000 - 3 000	85	65	65
4 000	85	65	65
4 000	100	85	85
6 000	100	85	85

1.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE INTERRUPTORES.

1. Interruptor de gran volumen de aceite.

Ventajas:-Construcción robusta y resistente.

-Requieren poco mantenimiento preventivo mientras no operen.

Desventajas:-Posible aparición de sobretensiones.

-Re-encendido del arco.

-Desgaste de contactos.

-Niveles de ruido al operar son muy altos.

-Costo alto.

Interruptor de hexafluoruro de azufre (SF_6)

Ventajas:-Alta rigidez dieléctrica, tres veces la del aire.

-El SF_6 es estable.

-La presión utilizada para la interrupción del arco es una fracción de la requerida en interruptores neumáticos.

Desventajas:-Los productos del arco son tóxicos.

-El gas es más denso que el aire y en lugares cerrados lo desplaza provocando asfixia en las personas.

Interruptores en vacío.

Ventajas:-Interruptor muy compacto.

-Prácticamente no necesita mantenimiento.

Desventajas:-Es difícil mantener un buen vacío.

-Durante el arqueo se produce ligera emisión de rayos λ .

- Aparición sobretensiones, sobre todo en circuitos inductivos.

- Peligro reacto de explosión y posible encendido de los gases y del aceite mismo.

Interruptor de pequeño volumen de aceite.

Ventajas:- Realización satisfactoria de interrupción de corrientes inductivas de poca intensidad.

- Extinción muy rápida del arco.

- Bajo costo inicial.

Desventajas:- Peligro de explosión o encendido por la presencia de aceite.

- Después de cada operación de apertura de corto circuito requieren mantenimiento inmediato o cambio total.

- No son muy recomendables en lugares donde tenga que operar frecuentemente.

Interruptor neumático.

Ventajas:- Bajo costo y disponibilidad del aire.

- Rapidez de operación.

- No provoca explosiones.

- Aumenta la capacidad de ruptura en proporción a la presión del aire.

- No es suficiente ni tóxico.

Desventajas:- Menor rigidez dieléctrica que el SF₆.

1.3 RELEVADORES.

El relevador es un dispositivo que sirve para detectar la falla y ejercer una acción de mando para la desconexión automática del interruptor debido a sobrecorrientes producidas por corto circuito, protegiendo así al equipo de la instalación eléctrica.

Los relevadores no solamente son activados por corriente, sino también por corriente y voltaje. Cuando el relevador se activa por ambas cantidades, las características se pueden mostrar en términos de la magnitud de una cantidad y el ángulo de fase entre las dos cantidades.

Los relevadores son generalmente usados en circuitos interruptores arriba de 1 000 V y en algunos casos para bajo voltaje, los cuales están diseñados para trabajar como:

- Relevadores de sobrecorriente.
- Relevadores diferenciales.
- Relevadores de distancia.
- Relevadores direccionales.

Los relevadores de sobrecorriente son los más utilizados en la industria, ya que pueden estar operando con disparo instantáneo o con retardo de tiempo. En este tipo de protección se pueden usar dos relevadores para la protección de falla entre fases, pero lo mejor para mayor seguridad uno por fase; y otro relevador para la falla de fase a tierra.

Las características de los relevadores de sobrecorriente se muestran gráficamente mediante un conjunto de curvas de tiempo contra corriente con diferentes múltiplos de corriente del TAP

seleccionado y para varios ajustes de tiempo.

El relevador de sobrecorriente está compuesto de una unidad instantánea y otra con mecanismo de retardo de tiempo. Siendo la operación de la parte instantánea en ciclos y la de retardo de tiempo en segundos.

Los mecanismos que nos sirven para calibrar el relevador de sobrecorriente es el TAP y el DIAL, siendo el TAP la parte proporcional de corriente con el cual podrá detectar el relevador la corriente, y el DIAL el tiempo con el cual se ajustará para el disparo.

Los relevadores de sobrecorriente difieren con la rapidez con que disminuye el tiempo de operación a medida que se incrementa la corriente. Dentro de la rama de sobrecorriente se encuentran los siguientes:

tipo instantáneo: Son aquellos que operan a un tiempo menor de 0.1 seg. (6 ciclos)

tipo alta velocidad: Son aquellos que pueden operar a menos de 0.05 seg. (3 ciclos).

Tipo con retardo de tiempo: Son aquellos que tienen mecanismos de tiempo de ajuste variable. Los cuales pueden encontrarse según a su curva corriente como:

-Tiempo corto.

-Tiempo largo.

-Tiempo definido.

Notoriamente inverso.

-Tiempo inverso.

-Tiempo extremadamente inverso.

Los relevadores con la característica instantánea, operan sin ningún tiempo de retardo intensional (tiempo). Los relevadores de conexión a tierra reciben sólo la corriente homopolar y no les afectan las corrientes de carga. Estos relevadores se pueden ajustar para operar con corrientes monofásicas a tierra menores que las corrientes de carga total; por lo general los relevadores con conexión a tierra tienen menor capacidad de captación de corriente. La norma ANSI C 37. 2-1970, le asigna para su identificación el número:

50 - Relevador instantáneo de sobrecorriente.

51 - Relevador de tiempo de sobrecorriente.

Los relevadores de voltaje tienen características similares, es el voltaje lo que motiva su funcionamiento, estos pueden ser del tipo de bajo voltaje, sobrevoltaje o una combinación de de los dos, la norma ANSI lo identifica con el número 47.

Los relevadores direccionales se usan en los casos en que se desea interrumpir el flujo de corriente en una sola dirección; estos relevadores son del tipo de corriente y voltaje. Se puede energizar un devanado mediante el voltaje del circuito para "polarizar" la unidad, por ejemplo, para predeterminedar la dirección del flujo de corriente con la que la unidad debe operar, el otro devanado se energiza mediante la corriente deseada. La norma ANSI lo identifica con el número 32.

Los relevadores diferenciales se usan principalmente para proporcionar protección a transformadores, generadores, motores y

barras conductoras; estos relevadores tienen una característica de equilibrio de corriente, que activa su operación si la corriente de entrada a la sección protegida no está en equilibrio con la corriente de salida de la misma sección. Bajo condiciones de falla externa, estas corrientes están en equilibrio y el relevador no activará el interruptor. Sin embargo, en el caso de fallos internos, el equilibrio de corriente no persistirá y el relevador disparará el interruptor en la terminal de la línea. Los relevadores de porcentaje diferencial proporcionan una protección más sensible. La norma ANSI lo identifica con el número 87.

Los relevadores de distancia obedecen a la relación entre voltaje y corriente y consecuentemente a una impedancia que corresponde a la longitud de la línea de transmisión que se protege. La norma ANSI lo identifica con el número 21.

Existe otro relevador muy importante y utilizable para la protección: termica de sobrecarga para los motores, el cual es identificado por la norma ANSI con el número 49.

Los relevadores de frecuencia operan cuando la frecuencia del sistema excede o disminuye por abajo del valor al que se ha ajustado; estos relevadores se usan para restablecer automáticamente el equilibrio entre carga y la energía generada. La norma ANSI lo identifica con el número 81.

Además de estos relevadores comunes hay otros tipos que se usan para casos especiales. Ver punto 1.5.

1.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Un transformador de corriente reduce la corriente de línea a valores convenientes para los relevadores de protección estándares y aislar a estos de las tensiones de línea. Constan de un primario y de un secundario aislados uno del otro. El lado primario se conecta en serie con la línea en donde se va a medir la corriente, mientras que el enrollamiento secundario se conecta a los dispositivos de protección, para proporcionar corriente en proporción directa a un valor fijo de la relación del primario al secundario.

1.4.1 TIPOS.

- 1.- Tipo de primario devanado.- El primario consta de más de una vuelta de alambre.
- 2.- Tipo barra.- El primario es una barra.
- 3.- Tipo ventana o de boquilla.- El secundario está completamente aislado y montado permanentemente sobre un núcleo de hierro laminado. (En este trabajo, este tipo es el más usual). El conductor primario pasa a través de la ventana del núcleo y sirve como enrollamiento primario, este conductor puede ser un cable o bus.

1.4.2 RANGOS.

Las normas ANSI C57.13-1968 requieren para los transformadores de instrumentos, designar ciertas relaciones y estándares. Estas relaciones se muestran en las tablas 1.7 y 1.8.

TABLA 1.7

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE RELACION MULTIPLE
DE TIPO BUSHING.

Rangos de corriente (amperes)		Taps del Secundario
600/5	50/5	X2-X3
	100/5	X1-X2
	150/5	X1-X3
	200/5	X4-X5
	250/5	X3-X4
	300/5	X2-X4
	400/5	X1-X4
	450/5	X3-X5
	500/5	X2-X5
	600/5	X1-X5
1200/5	100/5	X2-X3
	200/5	X1-X2
	300/5	X1-X3
	400/5	X4-X5
	500/5	X3-X4
	600/5	X2-X4
	800/5	X1-X4
	900/5	X3-X5
	1000/5	X2-X5
1200/5	X1-X5	
2000/5	300/5	X3-X4
	400/5	X1-X2
	500/5	X4-X5
	800/5	X2-X3
	1100/5	X2-X4
	1200/5	X1-X3
	1500/5	X1-X4
	2000/5	X2-X5
3000/5	1500/5	X2-X3
	2000/5	X2-X4
	3000/5	X1-X4
4000/5	2000/5	X1-X2
	3000/5	X1-X3
	4000/5	X1-X4
5000/5	3000/5	X1-X2
	4000/5	X1-X3
	5000/5	X1-X4

IEEE Std. 242-1975.

TABLA 1.8

OTROS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE
DE VARIOS RANGOS DE TIPO BUSHING.

Relación única. (amperes)	Doble relación con primario serie-paralelo. (amperes)	Doble relación con Taps en el secundario. (amperes)
10/5	25 X 50/5	25/50/5
15/5	50 X 100/5	50/100/5
25/5	100 X 200/5	100/200/5
40/5	200 X 400/5	200/400/5
50/5	400 X 800/5	300/600/5
75/5	600 X 1200/5	400/800/5
100/5	1000 X 2000/5	600/1200/5
200/5	2000 X 4000/5	1000/2000/5
300/5		1500/3000/5
400/5		2000/4000/5
600/5		
800/5		
1200/5		
1500/5		
2000/5		
3000/5		
4000/5		
5000/5		
6000/5		
8000/5		
12000/5		

IEEE Std. 242-1975.

1.4.3 APLICACIONES.

- 1.- Rango continuo de corriente.- El rango continuo de corriente es igual o mayor que el rango del circuito en que se uso el transformador de corriente. Una corriente en el secundario de 3 o 4 amperes a plena carga se considera propio. Un TC sobrepasado no es deseable porque el porcentaje de error es probablemente mayor que un transformador de corriente apropiado.
- 2.- Rango termico de tiempo corto.- Esta es la corriente simétrica R.M.S. del primario que el TC de corriente puede llevar por un segundo con el secundario en corto circuito, sin exceder la temperatura especifica en cualquier arrollamiento.
- 3.- Rango mecánico de tiempo corto.- Esta es la corriente máxima del TC que es capaz de resistir sin sufrir daño con el secundario en corto circuito.
- 4.- Rango de voltaje.- Los TC tienen la capacidad de operar continuamente al 10% del voltaje nominal del primario. Los voltajes nominales estandarizados (clases de aislamientos) para la mayoría de las aplicaciones son: 600, 2500, 5000, 8700 y 15000 V.

Tabla 1.9.

TABLA 1.9

CLASIFICACION DE ALTO POTENCIAL E IMPULSO.

Dato de placa	Rango de alto potencial	Impulso (BIL)
KV	KV	KV
0.5	4	10
2.5	15	45
5.0	19	50
8.7	26	75
15.0	34	95

PRECISION.

La operación de los relevadores de protección dependen de la precisión de la transformación del TC, no solo de la corriente de carga, sino también de niveles de corriente de falla. La precisión a sobrecorrientes altas depende de la sección transversal del núcleo y el número de vueltas del secundario. La sección transversal del núcleo más grande, el mayor flujo puede desarrollar una saturación. El resultado de la saturación es un incremento en la relación de error. El número más grande de vueltas, el mas bajo flujo que se requiere para forzar la corriente a través del relevador. La norma ANSI C57.13-1968 designa la clase de precisión del relevador para el uso de dos letras C y T y la clasificación de número. C significa que el porcentaje de error se puede calcular y la T significa que la precisión puede ser determinada por prueba.

El número de clasificación indica el voltaje en el secundario que el TC entregará a una carga estándar como se muestra en tabla 4. Con 20 veces la corriente normal secundaria sin exceder el 10% de error. Además la relación de error no debe exceder el 10% a cualquier corriente de 1 a 20 veces la relación de error a cualquier carga menor. Las normas que designan los voltajes en el secundario son: 10, 20, 50, 100, 200, 400 y 800 V. Por ejemplo, un transformador con una precisión de clase C 200 significa que la relación del porcentaje de error se puede calcular y que no exceda el 10% a cualquier corriente de la de 20 veces la corriente secundaria a una carga de 2.0 VA.

Voltaje máximo en la terminal = $20 \times 5 \text{ A} \times 2 = 200 \text{ V}$.

CARGA. La carga en la terminología de los TC es la carga conectada al secundario y se expresa en Volt-Ámperes o como una impedancia con un factor de potencia. El término "Burden" se usa para diferenciar la carga del TC desde la carga del primario. El factor de potencia se refiere a la carga y no al primario.

1.4.4 CARACTERÍSTICAS DE EXCITACIÓN DEL SECUNDARIO Y RELACION DE CURVAS DE SOBRECORRIENTE.

Las características de excitación del secundario, como publican los fabricantes, están en gráficas de corriente contra voltaje. Los valores se obtienen ya sea por el cálculo de los TC de los datos de diseño y las pérdidas del núcleo o por valores promedio obtenidos por prueba de una muestra. La prueba es un circuito abierto con una corriente de excitación en el secundario, usando un voltaje variable relacionado a una

frecuencia de una onda senoidal y dibujando la corriente R.M.S. contra el voltaje, fig. 1.2.

TABLA 1.10

CARGAS NORMALIZADAS DE LOS TC'S.

Características para
60 Hz. y 5 A. en el
secundario.

Designación de cargas estandar	Características				
	Resistencia ohms	Inductancia mH	Impedancia ohms	Potencia aparente VA *	Factor de pot.
B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9+
B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9+
B-0.5	0.45	0.560	0.5	12.5	0.9+
B-1	0.9	2.3	1.0	25.0	0.5++
B-2	1.8	4.6	2.0	50.0	0.5++
B-4	3.6	9.2	4.0	100.0	0.5++
B-8	7.2	18.4	8.0	200.0	0.5++

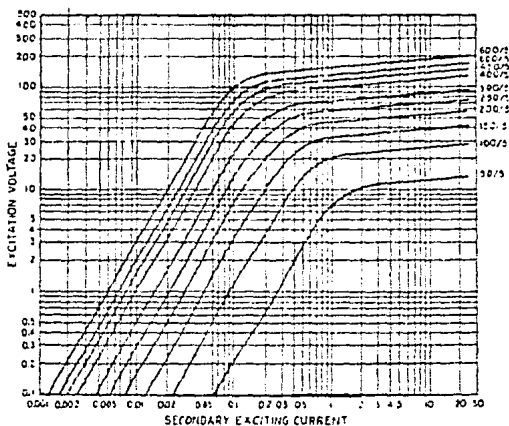
* a 5 A. note que VA = I²Z o 2 ohms a 5 A. = 2 x 5² = 50 VA.

+ Se considera usualmente medido en la carga.

++ Usualmente se considera relacionado a las cargas.

Para los transformadores de clase T, las curvas típicas de la relación de sobrecorriente se trazan entre la corriente del primario y el secundario sobre el rango desde 1 a 22 veces la corriente normal del primario para todas las cargas estandares.

Fig. 1.3.



Relación de corriente.	Espiras en el secundario.	Resistencia en el secundario (Ohms).
50/5	10	0.045
100/5	20	0.065
150/5	30	0.091
200/5	40	0.114
250/5	50	0.137
300/5	60	0.160
400/5	80	0.206
450/5	90	0.229
500/5	100	0.252
600/5	120	0.298

Fig. 1.2 Curvas típicas de excitación secundaria para varias relaciones de transformadores de corriente.

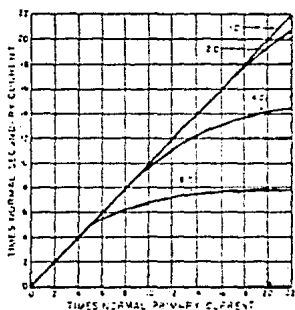


Fig. 1.3 Curvas típicas de sobrecorriente para un transformador de clase T para cargas de 1 - 8 VA.

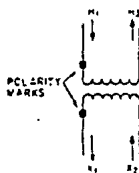


Fig. 1.4 Marcas de polaridad de los TC's.




TC's = transformadores de corriente.


1.4.5 POLARIDAD DE LOS TC's.

Las marcas de polaridad indican las direcciones instantáneas relativas a las corrientes, en el mismo instante en que la corriente del primario entra por las terminales marcadas; la corriente secundaria correspondiente sale de la terminal marcada del secundario, teniendo que sufrir un cambio de magnitud dentro del transformador. Las terminales H1 y X1 se marcan usualmente ya sea con puntos o rótulos blancos, ver fig. 1.4.

1.4.6 CONEXIONES DE TC's.

Existen tres formas usuales de conexión de TC's en los circuitos trifásicos.

- 1.-  Estrella.
- 2.-  o Delta abierto.
- 3.-  Delta.

- 1.- CONEXION  Estrella.

En esta conexión un TC se conecta en cada fase con la fase de los relevadores en 2 o 3 secundarios para detectar la fallas de fase. En los sistemas aterrizados, un relevador en el TC en el alambre común detecta cualquier corriente de tierra o neutro. En sistemas no aterrizados, un relevador conectado a un TC en el conductor común detecta múltiples corrientes de falla en diferentes alimentaciones. Las corrientes del secundario están en fase con las corrientes del primario, ver fig. 1.5.


2.- CONEXION Δ Delta abierta.

Esta conexion del TC es básicamente con una fase abierta, usando solamente 2 TC's, fig. 1.6. Esta conexion da proteccion contra fallas de fase a fase en todas las fases en un sistema trifasico, pero solo protege contra posibles fallas de fase a tierra que estén arriba del punto del relevador en las fases en que los TC's se instalan. Un relevador de sobrecorriente trifasico puede aplicarse en la conexion común de los TC para un relevador de fase de reserva si se desea.

En esta conexion las corrientes secundarias están en fase con las del primario, respectivamente, lo que no hay forma de sensar las corrientes de secuencia cero con esta conexion, raramente se usa como una sola forma de proteccion en un circuito. Por lo tanto, es frecuentemente aplicado con la adición de un transformador de secuencia cero y este será aplicado ya sea en circuitos aterrizados o no aterrizados, ya que el transformador y sus relevadores asociados no son sensibles a las corrientes de carga de cualquier magnitud, ellos pueden ser de rangos de corriente relativamente bajos por lo que proporcionan una sensible detección de fallas de tierra.

3.- CONEXION Δ DELTA.

Esta conexion utiliza 3 TC's, los secundarios se interconectan antes de conectarse a los relevadores. La conexion delta se usa para transformadores que se protegen en forma diferencial, donde los transformadores de potencia tienen sus bobinas conectadas en Delta Δ . Los TC's en el lado delta se deben conectar en Δ y en el lado Δ se conectan en delta, fig. 1.7.

Cualquier corriente de secuencia cero asociada a una falla externa a tierra en el lado  circulara en la conexión de los TC's en delta y será la causa de una falsa operación del relevador diferencial.

Las figuras 1.5 y 1.6 se deberán combinar para completar la conexión del relevador diferencial con el alambre de tierra conectado a cada lado de la bobina de operación del relevador.

PRECAUCIONES. Se advierte que nunca debe abrirse el secundario del TC mientras éste en servicio, ya que si el circuito es abierto la corriente total del primario viene a ser la corriente de magnetización y un voltaje excesivo será inducido en el secundario. Este voltaje puede alcanzar arriba de 1 000 V, que constituye un riesgo real para el personal y puede causar un deterioro del aislamiento del transformador.

SATURACION. Corrientes anormalmente altas en el primario, alta carga en el secundario o una combinación, resultara en la creación de una alta densidad de flujo en el núcleo del TC. Cuando esta densidad alcanza y excede de los límites de diseño del núcleo, da como resultado una saturación, en éste punto la precisión del TC viene a ser muy pobre y la onda de salida puede distorsionarse por las armónicas.

RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LOS TC's DE BOQUILLA.

El TC de boquilla se debe elegir para la protección en los circuitos de alta tensión porque es menos costoso que los de

Unos tipos. Se deben utilizar en circuitos arriba de 5 KV. Este tipo de transformador se construye dentro del equipo tal como interruptores, transformadores de potencia, generadores o mecanismos de interruptores, estando dispuesto el núcleo para rodear a una bobina de aislamiento a través del cual pasa un conductor de potencia.

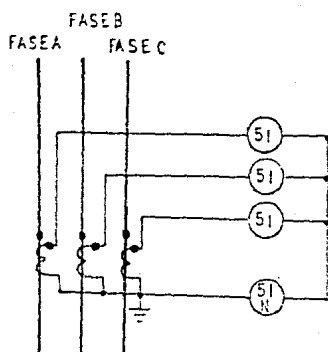



Fig. 1.5 Conexión  de los TC's.

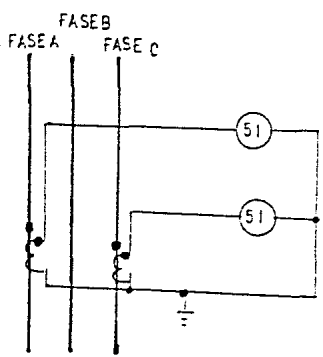


Fig. 1.6 Conexión Δ ó Delta abierta de los TC's.

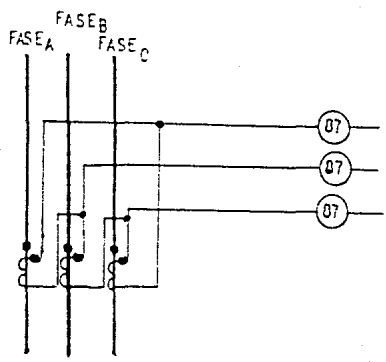


Fig. 1.7 Conexión Delta Δ de los TC's.

1.5. CANALIZACIONES.

Canalización eléctrica es cualquier tipo de dispositivo que se emplea en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, además protegen a los conductores contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de corto circuito.

Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

- TUBO CONDUIT.
- DUCTOS.
- CHAROLAS.

TUBO CONDUIT.- Es un tipo de tubo de metal o plástico usado para contener y proteger a los conductores eléctricos, estos pueden ser de aluminio, acero o de aleaciones especiales. Existen en el mercado actualmente una gran diversidad de tubería conduit en tramos de 3.05 metros, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Tubo de acero galvanizado de pared gruesa o delgada.
- Tubo de aluminio.
- Tubo flexible.
- Tubo de plástico flexible.

NTIE-304.2.

Las canalizaciones con tubo metálico rígido deben cumplir con los requisitos generales del NTIE-301. Las cajas para conexiones y salidas que se usen con tubo metálico rígido deben satisfacer los requisitos de la sección 307.

Tubo no metálico.- Esta designación incluye al tubo rígido de policloruro de vinilo (PVC) y al tubo de polietileno.

Tubo rígido de PVC.- Este debe ser autoextinguible, resistente al aplastamiento, a la humedad y a agentes químicos específicos. La aplicación de este tipo de canalización debe cumplir con la norma 306.15 y 306.16 del NTIE.

Tubo de polietileno.- Este sólo puede usarse para tensiones de operación hasta 150 V a tierra y en las condiciones que nombra las NTIE-306.24.

DUCTOS.- Estos son otros medios de canalización de conductores eléctricos que se usan sólo en las instalaciones eléctricas visibles debido a que no se pueden montar embutidos en pared o dentro de losas de concreto. Son canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapas atornilladas y su aplicación se encuentran en instalaciones industriales y laboratorios, se conocen comúnmente como electroductos. La aplicación de este tipo de canalizaciones debe cumplir con las NTIE-309.2 y 309.3.

CHAROLAS.- Aquí se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos con algunas limitantes propias de los lugares en que se hace la instalación. Estas pueden usarse para soportar cables de fuerza, alumbrado, control y señalización, que tengan aislamiento y cubierta para éste tipo de instalación en locales constuidos de materiales incombustibles o resistentes al fuego. Las charolas también pueden usarse para soportar tubos u otras canalizaciones, según NTIE-311.3.

Las charolas para cables no deben instalarse en:

- a) En cubos de sensores.
- b) Donde estén expuestos a daño mecánico o severo.
- c) En lugares peligrosos, a menos que los cables estén específicamente aprobados para tal uso. (Véase sección 501 a 504 NTIE). Estos incisos deberán cumplir con las NTIE-311.4.

1.6 NUMERO Y FUNCIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION MAS COMUNMENTE UTILIZADOS.

En la aplicación de los dispositivos de protección a los sistemas eléctricos, normalmente se emplean números para designar a cada uno de ellos, estos números por lo general corresponden a los adoptados en forma normalizada por el IEEE y que también se encuentran incorporados en las normas C 37.2-1970 de la ANSI, éste sistema de designación es el que se usa en los diagramas unifilares y especificaciones principales.

- 1 Elemento maestro.
- 2 Relevador de retardo para arranque o cierre.
- 3 Relevador de verificación o bloqueo.
- 4 Contactor o relevador maestro.
- 5 Dispositivo de paro.
- 6 Interruptor, contactor o desconectador de arranque.
- 7 Interruptor de circuito de anodo.
- 8 Desconectador de la alimentación de control.
- 9 Dispositivo inductor.
- 10 Controlador de secuencia.
- 11 Transformador de alimentación de control.
- 12 Dispositivo de sobrevoluntad.
- 13 Dispositivo de velocidad síncrona.
- 14 Dispositivo de baja velocidad.
- 15 Dispositivo regulador de velocidad.
- 16 Dispositivo de control para carga de baterías.
- 17 Interruptor o contactor de descarga de campo.
- 18 Interruptor, contactor o relevador de desaceleración.
- 19 Contactor o relevador de transición de arranque a marcha.
- 20 Válvula operada eléctricamente.
- 21 Relevador de impedancia o de distancia.
- 22 Interruptor o contactor igualador.
- 23 Dispositivo regulador de temperatura.
- 24 Interruptor, contactor o conectador de enlace entre barras colectoras.
- 25 Dispositivo para sincronización o puesta en paralelo de circuitos.
- 26 Dispositivo de operación térmica instalado en equipo.
- 27 Relevador de bajo voltaje de S.A.
- 28 Dispositivo de operación térmica instalado en resistores.
- 29 Interruptor, contactor o desconectador para separar circuitos.

- 30 Relevador señalador.
- 31 Dispositivo de excitación separada.
- 32 Relevador direccional de potencia de C.D.
- 33 Conectador de posición.
- 34 Conectador motorizado de secuencia.
- 35 Dispositivo para movimiento de carbones o para cortocircuitar anillos deslizantes.
- 36 Dispositivo de polaridad.
- 37 Relevador de bajo voltaje o baja corriente.
- 38 Dispositivo térmico para protección de rodamientos (chumaceras).
- 39 Contactor de reducción de campo.
- 40 Relevador de campo.
- 41 Interruptor, contactor o desconectador de campo.
- 42 Interruptor, contactor o desconectador de marcha.
- 43 Dispositivo de transferencia.
- 44 Contactor o relevador de iniciación de cambio de secuencia.
- 45 Relevador de sobrevoltaje de C.D.
- 46 Relevador de inversión o desbalance de fases.
- 47 Relevador de voltaje, de inversión o pérdida de fase.
- 48 Relevador de secuencia incompleta.
- 49 Relevador o dispositivo de sobretemperatura en equipo de C.A.
- 50 Relevador instantáneo de sobrecorriente.
- 51 Relevador de sobrecorriente de tiempo de C.A.
- 52 Interruptor o contactor de C.A.
- 53 Relevador de excitador o de generador.
- 54 Interruptor de alta velocidad.
- 55 Relevador de factor de potencia.
- 56 Relevador o dispositivo de aplicación de campo.
- 57 Dispositivo para aterrizarse o cortocircuitar un circuito.
- 58 Relevador de falla de encendido de ignitrones.
- 59 Relevador de sobrevoltaje de C.A.
- 60 Relevador de balance de voltaje.
- 61 Relevador de balance de corriente.
- 62 Relevador que retraza la apertura o paro.
- 63 Relevador de presión, flujo o nivel de fluido.
- 64 Relevador de protección a tierra.
- 65 Gobernador.
- 66 Relevador de pasos.
- 67 Relevador direccional de sobrepotencia o sobrecorriente.
- 68 Dispositivo o relevador térmico de C.D.
- 69 Dispositivo permisivo de control.
- 70 Reóstato de operación eléctrica.
- 71 Interruptor o contactor de alimentación de emergencia de C.D.
- 72 Interruptor o contactor de línea de C.D.
- 73 Interruptor o contactor de resistencia de carga.
- 74 Relevador de alarma.
- 75 Mecanismo de cambio de posición.
- 76 Relevador de sobrecorriente de C.D.
- 77 Transmisor de impulsos.
- 78 Relevador medidor de ángulo de fase.

- 79 Relevador de recierre de C.G.
- 80 Relevador o dispositivo de bajo voltaje de C.D.
- 81 Dispositivo de frecuencia.
- 82 Relevador de recierre de C.D.
- 83 Relevador o contactor de transferencia o selección automática.
- 84 Mecanismo de operación.
- 85 Relevador receptor de sistema de onda portadora o hilo piloto.
- 86 Relevador o dispositivo de bloqueo.
- 87 Relevador diferencial.
- 88 Motor, o motor generador auxiliar.
- 89 Busconector de línea.
- 90 Dispositivo regulador.
- 91 Relevador direccional de voltaje de C.D.
- 92 Relevador direccional de voltaje y corriente.
- 93 Contactor o relevador de modificación del campo.
- 94 Relevador o contactor de disparo libre.
- 95 Reservado para aplicaciones especiales.
- 96 " "
- 97 " "
- 98 " "
- 99 " "

CAPITULO II

PROTECCION NORMATIVA DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE QUE CONSTA UNA INSTALACION ELECTRICA DE TIPO INDUSTRIAL.

2.1 TRANSFORMADORES.

La dirección general de normas (DGN) lo define como: un dispositivo eléctrico de 2 o más devanados que por inducción electromagnética transforma tensión y corriente alterna de un devanado a diferentes valores de tensión y corriente en otro devanado a la misma frecuencia.

2.1.1 CLASIFICACION.

Las normas de la National Electrical Manufacturers Assn (NEMA) y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), clasifican los transformadores en dos tipos: de distribución y de potencia.

Un transformador de distribución tiene una capacidad nominal entre 5 KVA y 500 KVA, inclusive.

Un transformador de potencia es considerado como tal cuando su capacidad es mayor de 500 KVA.

Prácticamente todos los transformadores son trifásicos, ya que cuestan menos, tienen mayor eficiencia, requieren menos espacio que los bancos trifásicos formados por transformadores de una sola fase.

Los transformadores de potencia se clasifican en función de los sistemas de disipación de calor. La CEI (Comisión de

electrotécnica Internacional) y la DGN, los clasifican con los siguientes símbolos:

Medio refrigerante	Símbolo
Aceite mineral	O
Gas	G
Agua	W
Aire	A
Aislamiento sólido	S

Tipo de circulación

Natural	N
Forzada	F

La NOM-0-284-1986 clasifica a los transformadores de potencia como se indica a continuación.

Sumergidos en líquido aislante, enfriado por aire:

- Autoenfriado (OA).
- Autoenfriado y enfriado por aire forzado (OA/FA).
- Autoenfriado y con 2 pasos de enfriamiento por aire forzado (OA/FA/FA).

Sumergidos en líquido aislante, enfriados por aire y por líquido aislante forzados:

- Autoenfriado, enfriado por aire forzado y enfriado por aire y líquido aislante forzados (OA/FA/FDA).
- Autoenfriado y con 2 pasos de enfriamiento por aire y líquido aislante forzados (OA/FDA/FDA).

Sumergidos en líquido aislante, enfriados por agua:

- Enfriado por agua (OW).
- Enfriado por agua, autoenfriado (OW/OA).

Sumergidos en líquido aislante, enfriados por aire o agua y líquido aislante forzados:

- Enfriado por aire y líquido aislante forzado (FOA).
- Enfriado por agua y líquido aislante forzado (FOW).

Todos los transformadores de potencia deben diseñarse para la intemperie, en instalación expuesta. Los fabricantes de transformadores se apegan para su fabricación de alguna o varias de las normas americanas ANSI C-57, la cual posee normas para cada tipo específico de transformador de acuerdo a lo siguiente:

C-57.12-10. Para transformadores cuyo rango de voltaje es hasta 230 KV y cuya capacidad va desde 750-100,000 KVA. para unidades trifásicas y desde 833-10,417 KVA. para unidades monofásicas.

C-57.12-30. Para transformadores trifásicos con cambiador de bajo carga cuyo rango de voltaje es hasta 67 KV. y las capacidades están comprendidas entre 1000-10 000 KVA.

C-57.12-30. Para transformadores de distribución cuyo rango de voltaje comprenda hasta 67 KV y la capacidad es menor o igual a 500 KVA.

2.1.2 LÍMITES DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR.

Para la protección del transformador, se analizan 4 puntos importantes que son:

Condiciones normales de operación.

- Corriente a plena carga.
- Corriente de magnetización.

Daños del transformador.

- Punto ANSI.
- Punto NEC.

El cálculo de la corriente a plena carga no presenta mayor problema, sin embargo, para los demás se requiere analizar ciertas condiciones.

Corrientes transitorias de energización en transformadores (INRUSH) o corriente de magnetización (IM). Estas corrientes tienen su origen cuando se energiza un transformador o cuando por alguna razón se abate momentáneamente la tensión en el lado de la fuente. Su magnitud y duración está determinada por el flujo residual en el núcleo del transformador y por el punto de la onda de tensión cuando ocurre la energización.

Esta corriente de magnetización puede alcanzar valores de 3 a 25 veces la corriente nominal para transformadores de tipo seco, con enfriamientos ON, FA y FOA; se utiliza un múltiplo que varía dependiendo de la capacidad del transformador como se indica en la tabla 2.1.

TABLA 2.1

CAPACIDAD	MÚLTIPLO
$FVA \leq 1\ 500$	8
$1\ 500 < FVA \leq 3\ 750$	10
$3\ 750 \leq FVA$	12

que vendría a ser:

12 veces la corriente nominal para transformadores tipo subestación y pedestal.

8 veces la corriente nominal para transformadores tipo centro de carga.

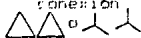

El tiempo que se considera para la corriente de magnetización es para todos los transformadores igual y con una duración de 0.1 segundos.

Punto ANSI (t_{ANSI} , I_{ANSI}).—Los transformadores tienen un nivel de daño, para una alta corriente en un periodo de tiempo dado. Por lo tanto el límite máximo de protección del transformador lo determina el punto ANSI, que es definido por la American National Standard (ANSI) en su norma C-57.12-00 (1970) como la característica que deben cumplir los devanados para soportar, sin resultar dañados, los esfuerzos térmicos y magnéticos causados por un corto circuito en sus terminales para un periodo definido de tiempo.

Estos puntos, en múltiplos de la corriente a plena carga (I_{pl}), se resumen en la tabla 2.2.

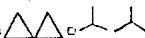
TABLA 2.2

CORRIENTE SIMETRICA R.M.S.
EN CUALQUIER BOBINA.


Z (%)	Múltiplos		t ANSI (s)
	conexión	conexión	
4 o menos			2
5			3
5.25			3.25
5.50			3.50
5.75			3.75
6			4
6.50			4.50
7 o menos			5

La determinación del punto ANSI se puede hacer en la tabla conforme a la corriente de plena carga, la impedancia y el tipo de conexión.

Ahora bien el punto ANSI se puede calcular sin necesidad de emplear la tabla, mediante las siguientes ecuaciones:

Conexión: 

$$I_{ANSI} = \frac{100}{Z(\%)} \times I_{p.c.}$$

Conexión: 

$$I_{ANSI} = \frac{100}{Z(\%)} \times I_{p.c.} \times 0.58$$

siempre y cuando $4 \leq Z(\%) \leq 7$.

El tiempo ANSI se encuentra:

$$4 \leq Z(\%) \leq 7 \quad t_{ANSI} = Z(\%) - 2$$

$$7 \geq Z(\%) \quad t_{ANSI} = 5$$

$$Z(\%) \leq 4 \quad t_{ANSI} = 2$$

2.1.3 RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCION DEL TRANSFORMADOR MEDIANTE FUSIBLES E INTERRUPTORES.

Punto NEC.- Es el máximo ajuste recomendado por National Electric Code (NEC), para los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los transformadores y se grafica a partir de la escala de 1 000 segundos.

El valor de la corriente del NEC debe seleccionarse de acuerdo a las siguientes consideraciones.

- 1.- Si no existe protección secundaria, los transformadores con un voltaje mayor a 600 V en el primario requieren de un interruptor o bien de un fusible en el lado primario seleccionado a no más del 300% o 150% de la corriente a plena carga, respectivamente, fig. 2.1.
- 2.- Si el transformador tiene protecciones en ambos lados, los requisitos para calcular los límites de operación de los dispositivos dependen de la impedancia nominal del transformador, voltajes del primario y secundario y tipo de protecciones. Los múltiplos de I_{nc} se encuentran en la tabla 2.3, cuya ilustración se encuentra en la fig. 2.2.

TABLA 2.3

Impedancia nominal del transformador.	Módulo protección de sobrecorriente.		
	Z(%)	Primario Arriba de 600 V.	
		Ajuste del interruptor.	Clasificación del fusible.
o	Z(%) \leq 6	3	3
	Z(%) \leq 10	4	3
	Secundario Arriba de 600 V		
		Ajuste del interruptor del fusible.	600 V o menos ajuste del interruptor y clasificación del fusible.
o	Z(%) \leq 6	3	2.5
	Z(%) \leq 10	2.5	2.5

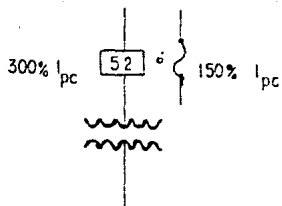
Recomendación Art. 450, NEC 1990.

3.- Si el voltaje en el primario es igual o menor a 600 V, se necesita una protección primaria ajustada a no más del 125% de la corriente a plena carga cuando no se tiene protección secundaria y de 250% cuando se tiene en cuyo caso la protección secundaria debe estar ajustada a no más de 125%, fig. 2.7.

Cuando se utilizan relevadores combinados con interruptores de potencia en la protección de transformadores, el disparo del elemento con retardo de tiempo es típicamente de 150% a 200% de I_{PL} .

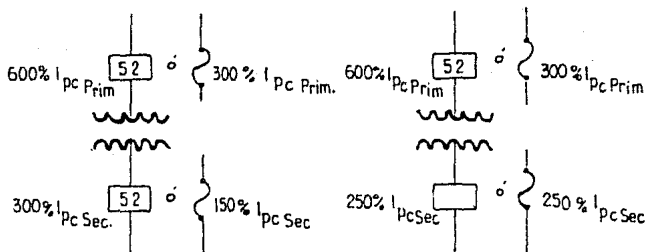
I_{PL} Corriente a plena carga.

Estas consideraciones están contenidas en el NEC 1990, Art. 450.



$$V_{Prim} > 600V$$

Fig. 2.1



$$Z \% \geq 6$$

$$V_{Prim} > 600V$$

$$V_{Sec} > 600V$$

$$V_{Sec} \leq 600V$$

Fig. 2.2

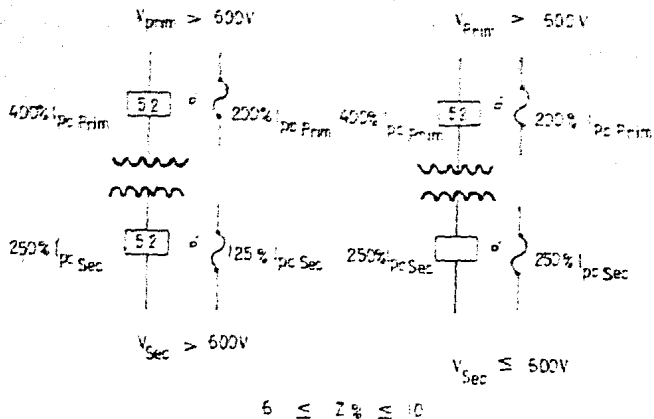


Fig. 2.2

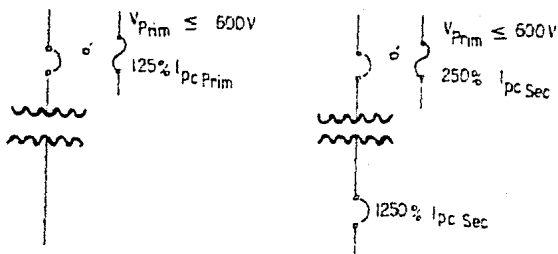


Fig. 2.3

Ilustraciones de las protecciones normativas de los transformadores mediante fusibles e interruptores.

Ref. NEC Art. 450-1990.

2.1.4 PROTECCION DEL TRANSFORMADOR CONTRA SOBRECARGAS.

PROTECCION TERMICA.

Se recomienda usar relevadores térmicos para transformadores de 10 000 KVA y arriba de este valor que sobre transformadores pequeños. Pueden también utilizarse para cualquier capacidad de transformadores de subestaciones. Referencia IEEE Std. 242-1975.

2.1.5 PROTECCION DEL TRANSFORMADOR CONTRA CORTO-CIRCUITO Y SOBRECORRIENTE.

Los relevadores de sobrecorriente son generalmente usados para circuitos de mediana tensión en adelante, en sistemas industriales se aplican principalmente los de atracción electromagnética e inducción, teniendo poco uso los relevadores de estado sólido.

Relevador diferencial (87).-El relevador diferencial opera cuando existe un desbalance de corriente entre el lado primario y el secundario del transformador de potencia; se recomienda para la protección de transformadores con capacidades desde 5 000 KVA. en adelante, fig. 2.4.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

Relevador de sobrecorriente de tiempo (51) e instantáneo (50).- Este tipo de relevador es frecuentemente usado para proporcionar protección al transformador en combinación con un TC e interruptor en el primario, fig. 2.5.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

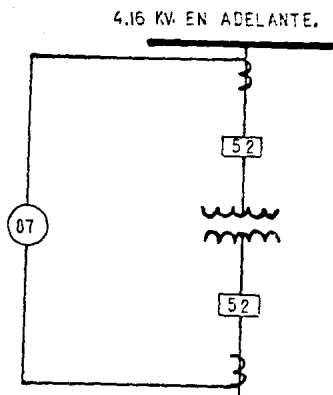


Fig. 2.4 Protección diferencial para un transformador de potencia desde 5,000 KVA. en adelante. Ref. IEEE Std. 242-1975.

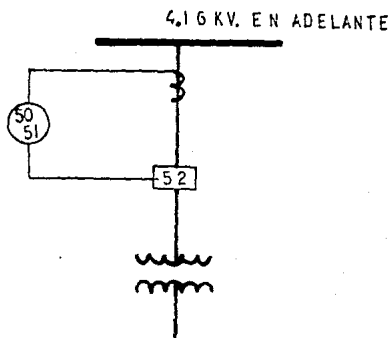


Fig. 2.5 Recomendación para la protección de un transformador mediante un interruptor de potencia y un relevador para tensiones en el primario desde 4.16 KV. y potencias arriba de 500 KVA. Ref. IEEE Std. 242-1975.

RESISTENCIA DE TIERRA.

La resistencia para aterrizan el neutro del transformador, cuando el voltaje en el lado secundario es de 4.16 KV. o 13.8 KV., se recomienda que esta resistencia sea menor de 5 Ohms para pequeñas subestaciones y plantas industriales en general.

El NEC 250-90, aprueba el uso de un solo electrodo para aterrizamiento de sistemas, su resistencia no debe exceder de un valor de 25 Ohms.

Para subestaciones grandes y centrales eléctricas, la resistencia a tierra no debe exceder a 1 Ohms.

Ref. IEEE Std. 141-1976. Pág. 241.

El grado de protección de estos equipos esta determinado por el medio donde operan, su tamaño e importancia para el sistema, así como su tipo y costo.

2.2 MOTORES.

2.2.1 INTRODUCCION.

En la protección de motores trifásicos se deben tener en cuenta algunas consideraciones como:

- Características del motor.

Tipo.

Velocidad.

Tensión.

Potencia.

Factor de servicio.

Factor de potencia.

Carcasa.

Arreglo de lubricación.

Arreglo en los devanados y de sus temperaturas límite.

Capacidades térmicas del rotor y del estator durante el arranque, operación y en condiciones de paro.

- Condiciones de arranque.- A tensión plena o reducida, número de arranques y paros.

- Condiciones ambientales.- Temperatura máxima y mínima, elevación, fuentes de calor adyacentes, arreglos en la ventilación, exposición al agua agentes químicos, etc.

- Carga que maneja.

- Sistema de potencia.- Tipo de sistema aterrizado, capacidad de falla.

- Importancia del motor.- Costo del motor y cantidad de mantenimiento.

2.2.2 CLASIFICACION DE MOTORES.

Clasificación por velocidad.- Existe una clasificación por velocidad reconocida también por los fabricantes de motores eléctricos (NEMA) que se agrupa como sigue:

- Motor de velocidad constante.- Es el que tiene una variación máxima del 10% de vacío de plena carga. Dentro de esta categoría se encuentran los motores de inducción.
- Motores de velocidad variable.- El cambio de vacío a plena carga es mucho mayor del 20%, la mayoría de estos motores son los conocidos como del tipo industrial.
- Motores de velocidad ajustable.- Estos motores son los llamados de inducción con rotor devanado.
- Motores de velocidad ajustable-variable.- Son los motores de inducción de rotor devanado con medios externos de control, por ejemplo resistencias en el rotor.
- Motores de multivelocidad.- Motores reversibles; y no reversibles.

2.2.3 PROTECCION DE MOTORES.

a) Por medio de fusibles.

Se usan fusibles para proporcionar una protección rápida de corto circuito en mediano y bajo voltaje.

CASO A.- Se recomiendan fusibles sin retardo de tiempo, en circuitos hasta 40 000 A. simétricos de corto circuito, en bajo voltaje para motores de hasta 1 500 C.P. fig. 2.6.A.

CASO B.- Se recomienda utilizar fusibles con elemento de retardo de tiempo en combinación con un arrancador en circuitos hasta 10 000 A. simétricos de corto circuito, fig. 2.6.B.

Cuando aplicamos arrancadores en sistemas con alta disponibilidad de corrientes de falla, deberán usarse fusibles limitadores de corriente.

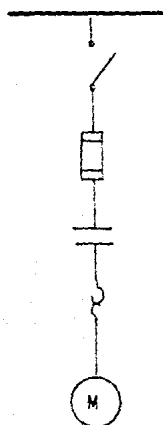
- Combinación arrancador y protección contra sobrecarga.

Recomendaciones:

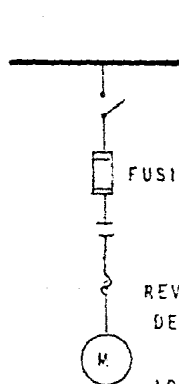
- a) Se deberá seleccionar un fusible a no más del 175% de I_{sc} para protección solamente del alimentador.
- b) Se debe utilizar un fusible con retardo de tiempo al 125% de I_{sc} .

La fig. 2.7 A, muestra un esquema de protección recomendado por NEC Art. 430-1990, para motores de inducción tipo jaula de ardilla desde 1 C.F. hasta 200 C.F. y a una tensión desde 115 hasta 2,300 V. C.A.

Los requerimientos de potencia para grandes motores en sistemas de compresores de aire, bombas y en otras cargas en plantas industriales son frecuentemente demasiado grandes para circuitos de distribución en bajo voltaje, por lo tanto, la operación de estos motores en 2.4 kV, 4.16 kV y mayores son ahora comúnmente usados. Una combinación con contactor y fusible limitador de corriente es recomendado para el arranque del motor y su protección hasta cerca de 2 500 C.F. y en un rango de voltaje de 13 800 V. fig. 2.7 B. Ref. IEEE Std. 242-1975.



CASO A
 40,000 A. DISPONIBLES
 R.M.S. SIMETRICA
 EN BAJO VOLTAJE.



CASO B
 10,000 A.

FUSIBLE

REVEVADOR SOBRECARGA
 DEL 100-115%

100% CORRIEN.
 CARGA.

Figs. 2.6 A y 2.6 B.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

PROTECCION RECOMENDABLE

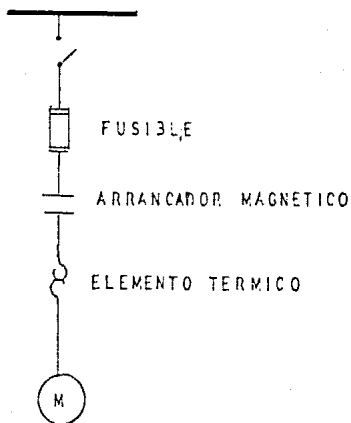
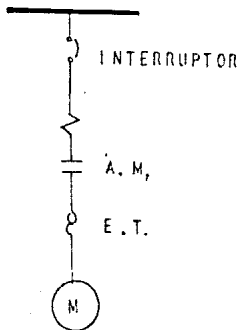


Fig. 2.7 A.

NEC Art. 430-1990.



1 C.P. HASTA 1,500 C.P.

115V. a 2300V.

Fig. 2.7 B.

Protección recomendable por IEEE.

b) Por medio de interruptores termomagnéticos.

Estos se recomiendan en motores que operan en baja tensión y en capacidades de hasta 400 C.P.

c) Por medio de relevadores.

PROTECCION CONTRA BAJA TENSION. DISPOSITIVO 27.

Todos los motores de C.A. mayores de 1 500 C.P. excepto los motores de servicio esencial deberán tener protección contra baja tensión en una fase al menos, durante el arranque y la marcha.

Motores de servicio esencial.- Son aquellos que al ser desconectados pueden forzar a un paro parcial o completo de un generador u otro servicio con el cual está asociado este. Solo se protegen con relevadores instantáneos de fase, con relevadores de tierra de tiempo inverso e instantáneos o los relevadores diferenciales; por lo que solo debe dispararse en caso de corto circuitos.

PROTECCION CONTRA DESBALANCE O DE FASE. DISPOSITIVO 46.

Estos relevadores detectan un desbalance de corriente en las 3 fases; una recomendación que generalmente se aplica en este caso es para todos los motores arriba de 1 000 C.P. y para motores abajo de esta capacidad, para su aplicación deben investigarse las condiciones específicas.

Para obtener una protección completa, los motores trifásicos deben tener un elemento de sobrecarga en cada fase; esto se debe a que un circuito abierto en el suministro al transformador de potencia que alimenta a un motor originara

como máximo dos veces el flujo de corriente en una fase del mismo que en cualquiera de las otras. Dispositivo 46.NEC 1990 y ANSI C1-1975.

Se deben proporcionar elementos de sobrecorriente en las 3 fases, para estar seguro de que habrá un elemento de sobrecarga en la fase más cargada. Sin importar cual fase del transformador de potencia está en circuito abierto. A pesar de que son de descarga los elementos de sobrecarga en las tres fases, los motores designados a los 1 500 C.P. y más bajos sólo están provistos por lo general con elementos en dos fases, bajo la suposición de una condición de fase abierta será detectada y corregida antes que cualquier motor pueda sobrecalentarse. Una recomendación que generalmente se aplica en la protección de un desbalanceo de fase es para todos los motores arriba de 1,000 C.P.

PROTECCION CONTRA SOBRECALENTAMIENTO DEL ESTATOR.
DISPOSITIVO 49 p. 496.

La sobretemperatura se detecta por medio de 6 resistencias colocadas en las ranuras del estator en motores desde 1 500 C.P. en adelante, éstas se colocan en las ranuras de los devanados cuando el motor está siendo embobinado. Se recomienda particularmente en los siguientes casos:

- 1.- En los motores instalados en un ambiente de alta temperatura o en grandes altitudes.
- 2.- En motores en donde la continuidad de servicio es muy importante.

3.- En motores sujetos a sobrecargas periódicas debido a las características de carga del proceso.

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE CON RETARDO DE TIEMPO.
DISPOSITIVO 51.

Se aplica en motores diferentes de los de servicio esencial, designados a menos de 1 500 C.F. para motores de operación continua sin factor de servicio o capacidades de sobrecarga de tiempo corto, deberán ajustarse los relevadores para disparar a no más del 115% de la corriente nominal; para motores con factor de servicio de 115% el disparo deberá ocurrir a no más de 125% de la corriente nominal del motor. Para motores con capacidades de sobrecarga de tiempo corto especiales o con otros factores de servicio, la característica del motor determinará el tiempo de disparo requerido pero la corriente de disparo no deberá exceder del 140% de la corriente nominal de este, fig. 7.8.

Algunas compañías suministradoras de potencia, en la práctica se mostró que se utiliza sólo un conjunto de relevadores de sobrecorriente de tiempo inverso o de tiempo largo, ajustados para ponerse en trabajo de 125% a 150% de la corriente nominal del motor, para protección combinada de corto circuito y sobrecarga de motores auxiliares no esenciales; están suplementados por relevadores de sobrecorriente instantáneos.

PROTECCION CONTRA EL SOBRECALENTAMIENTO DEL ROTOR.
DISPOSITIVO 49 o 49R.

Se utiliza un dispositivo 49 o 49R en motores de inducción

tipo jaula de ardilla y en motores de inducción de rotor devanado, en mediana tensión, y capacidades desde 500 D.F. en adelante. En los casos donde se utiliza este tipo de protección solo debe agregarse un relevador del tipo replica o de sobrecorriente de tiempo inverso para la protección del motor durante el arranque.

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE INSTANTANEA DE FASE.
DISPOSITIVO 50.

Estos relevadores se utilizan en arranques para motores de mediana tensión (2.4 KV.-15 KV.) en circuitos con arrancador tipo contactor y en interruptores de circuitos de baja tensión. También se utiliza para la protección de motores grandes tipo jaula de ardilla, arriba de 500 D.F. y motores síncronos. Se recomienda que el valor máximo de la corriente de arranque simétrica debe ser determinado por los fabricantes y su ajuste debe ser al 75% arriba de este valor, fig. 2.8.

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE INSTANTANEA DE TIERRA.
DISPOSITIVO 50B Y 50N.

Se utiliza la conexión residual de 3 TC's para alimentar al relevador, también en arrancadores tipo combinación.

El ajuste del relevador instantáneo de tierra deberá ser de 2.5 a 10 veces I_{sc} , este relevador puede omitirse si la corriente máxima de falla a tierra disponible es menor que 4 veces la corriente nominal, el ajuste tiene que ser más de 10 veces I_{sc} para evitar el disparo indeseado durante el arranque del motor o fallas externas. Si se utiliza un TC semejante al de

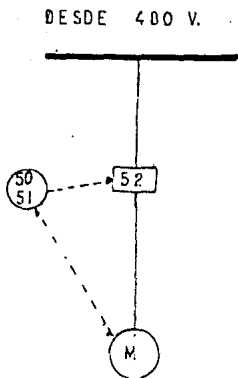


Fig. 2.8

Se recomienda utilizar un interruptor de potencia en combinación con relevador, en el caso de motores de inducción de 1,500 C.P. en adelante y desde 480 V.

doquillo, con los 7 conductores de fase del conducto del motor que pasan a través de la abertura del núcleo puede utilizarse un relevador de sobrecorriente. Instalación muy sensible que funcionará para fallas a tierra dentro del 10% del amolamiento a partir del extremo neutro. Esta normalmente se ajusta en el primario para una corriente de falla a tierra en un rango de 5 a 20 A, fig. 2-9.

PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE TIERRA CON RETARDO DE TIEMPO. DISPOSITIVOS 51G Y 51N.

El 51G consta de un TC de secuencia cero y un relevador con retardo de tiempo.

El 51N consta de un TC de conexión residual y un relevador de tierra.

Ámbos, instalaciones y con retardos de tiempo se disponen en sistemas de estado sólido en circuitos arrancadores en baja tensión arriba de 600 V.

PROTECCION DIFERENCIAL. DISPOSITIVO 87.

El propósito de esta protección es detectar rápidamente la existencia de condiciones de falla y se recomienda en los siguientes casos.

- a) Para todos los motores de 1 000 - 2 000 C.P. en adelante en sistemas aterrizados y en tensiones desde 2.2 KV a 5 KV.
- b) Para todos los motores arriba de 500 C.P. y a tensiones de 5 KV en adelante, donde la protección de tierra no se considera suficiente sin la protección diferencial para proteger contra

fallas de fase a fase.

- c) Para grandes motores desde 2 500 a 5 000 C.P. donde el costo del motor justifica el uso de este relevador. Sin embargo, este tipo de protección es frecuentemente justificado su aplicación para motores pequeños especialmente a tensiones por arriba de 2.4 K.V. Figs. 2.10 y 2.11.

PROTECCION CONTRA DESBALANCED DE CORRIENTE DE BOBINA SECCIONADA. DISPOSITIVO 61.

Se utiliza normalmente sólo en motores que tienen 2 O 3 bobinas en paralelo por fase y sirve para detectar rápidamente condiciones de falla de poca magnitud, también como protección de respaldo al instantáneo de sobrecorriente y al de sobrecorriente de tierra.

Se recomienda el uso de esta protección en motores importantes que tienen 2 o 4 bobinas separadas en paralelo por fase y en rangos arriba de 5 000 a 10 000 C.P. Fig. 2.12.

MOTORES SINCRONOS.

Se recomienda utilizar los siguientes relevadores.

- 1.- Protección de bobina amortiguadora. Dispositivo 26.
- 2.- Protección de la suspensión de la corriente de campo. Dispositivo 40. Se recomienda su aplicación cuando la corriente de campo baja a cero o a un valor bajo en motores grandes arriba de 4 000 C.P; este relevador también puede proporcionar protección de retirada.
- 3.- Protección para la disponibilidad del voltaje de excitación. ; Dispositivo 53.

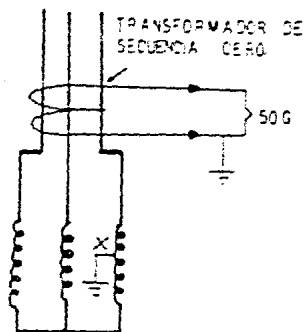


Fig. 2.9 Protección de sobrecorriente instantánea de tierra.

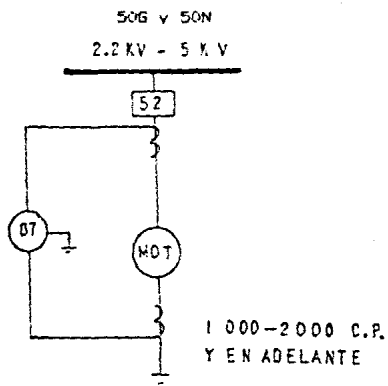


Fig. 2.10 Recomendación para la protección diferencial de un motor cuando una de las fases podría llegar a tener corto circuito a tierra.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

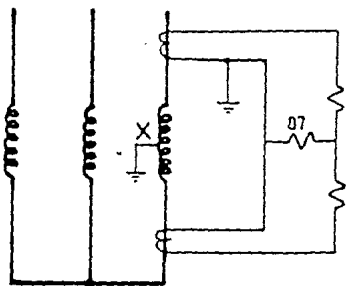


Fig. 2.11 Protección diferencial de fase convencional que usa tres relevadores diferenciales de porcentaje, (Se muestra uno).

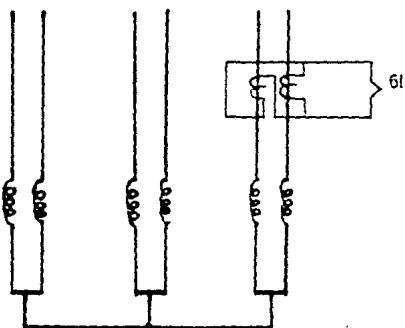


fig. 2.12 Protección contra desbalanceo de corriente de un motor de bobina seccionada.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

4.- Protección de retardo. Dispositivo 78, 55 y 95.

5.- Protección para la secuencia de arranque incompleta.
Dispositivo 86.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSION. DISPOSITIVO 54.

Se recomienda aplicar esta protección en los siguientes casos:

- a) En motores de mediana tensión en el rango de 500 C.F. en adelante.
- b) Aplicar a cada motor arriba de 200 C.F. que están conectados para abrir las líneas aéreas que tienen la misma tensión que el circuito.

2.2.4 ALGUNAS PROTECCIONES MECANICAS.

1.- Sistemas de ventilación y refrigeración. Dispositivos de alarma y disparo deberán considerarse:

- a) Para detectar altos caudales de presión a través de los filtros en el sistema de ventilación del motor.
- b) Para detectar períodos de flujo de aire de sopladors(es) enfermos en el sistema de ventilación del motor.
- c) El lugar de controladores de flujo en (b), un apropiado arreglo de interruptores de presión a menudo usado; controles de flujo es preferido, sin embargo.
- d) Con enfriador de agua del motor, temperatura de agua, flujo o sensores de presión.
- e) Con sensores de gas inerte en motores, es apropiado sensores de presión y temperatura.

2.- Detectores de vibración. La experiencia indica, especialmente para accionamiento de altas velocidades, los daños serios pueden ser impedidos usando detectores de vibración por disparador o alarma y disparador.

3.- Detectores de líquido. En maquinas grandes, detectores de líquido son a veces proporcionados para detectar líquido (usualmente agua) dentro del núcleo del estator, esto puede ocurrir por lo siguiente.

- a) Condensación excesiva. Uso de motores en espacios con calentadores, o calentamiento en bobinados por bajo voltaje. Con controles automáticos se podrá evitar este problema.

- b) Exposición en condiciones externas o al aire libre, inundación u operaciones donde se hace limpieza con agua. Una elección conveniente son motores cercados o cubiertos, lo cual puede evitar normalmente este problema.
- c) Pérdida de líquido del engranador del motor. Enfriadores con doble tubo son a veces usados para ayudar a evitar este problema.

4.- Detectores de fuego.- Lo siguiente deberá ser considerado.

- a) Instalación de detectores apropiados de fuego, para alertar a operadores para el uso de extintores.
- b) Instalación de detectores apropiados de fuego y sistemas automáticos que apliquen dióxido de carbono dentro del motor.
- c) En algunos motores antiguos de gran capacidad se tiene tubería interior para aplicar agua para la extinción del fuego, siendo una desventaja sería una liberación falsa del líquido.

5.- Sistema lubricante y cojinetes. Varios tipos de sensores de temperatura son usados para detectar sobrecalentamiento, como son: detector de temperatura por resistencia, termistores, termostatos y bulbos de temperatura. Una excesiva temperatura en el cojinete puede no ser detectada pronto para evitar daño en el mismo, sin embargo, si el motor es disparado antes de que ocurra la falla completa, daños mecánicos críticos en el rotor y el estator pueden ser evitados. Por consiguiente, para una máxima eficacia es recomendado que:

- a) Un sensor de temperatura del tipo de respuesta rápido, sea usado.
 - b) El sensor de temperatura será ubicado en el cojinete metálico donde está cubierto por la fuente de sobrecalentamiento.
 - c) El sensor de temperatura será usado para disparar en lugar de alarma; se pueden considerar situaciones donde ambos, alarma y sensor de disparo pueden ser usados, el ajuste de temperatura será lento y dispositivos de alarma y disparo serán proporcionados con sistemas de control de lubricante de cojinetes.
- 1) Temperatura de aceite de lubricante, preferentemente de cada cojinete.
 - 2) Temperatura de agua refrigerante.
 - 3) Flujo de aceite lubricante y flujo de agua refrigerante.
 - 4) En lugar del control de flujo recomendado en 3), un arreglo conveniente de interruptores de presión es a menudo usado, sin embargo, control de flujo es fuertemente recomendado para máquinas importantes de alta velocidad. En esto es generalmente considerado que los sensores de temperatura no pueden detectar fallas inminentes o próximas para cojinetes de bola o rodillos, bastante pronto para ser eficaces. Detectores de vibración serán considerados.

La tabla 2.4 explica las corrientes a plena carga de motores desde 1/2 C.P. hasta 200 C.P., donde se observan algunas tensiones no normalizadas por las NTIE.

TABLA 2.4

CORRIENTE A PLENA CARGA DE LOS MOTORES TRIFASICOS DE C.A.

HP	De inducción tipo jaula de ardilla y rotor devanado Amperes.						Síncronos tipo factor de potencia unidad. Amperes.			
	115V	200V	208V	230V	460V	575V	230V	460V	575V	2300V
1/2	4	2.3	2.2	2	1	0.8				
3/4	5.6	3.2	3.1	2.8	1.4	1.1				
1	7.2	4.1	4.0	3.6	1.8	1.4				
1 1/2	10.4	6.0	5.7	5.2	2.6	2.1				
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7				
3		11.0	10.6	9.6	4.8	3.9				
5		17.5	16.7	15.2	7.6	6.1				
7 1/2		25.3	24.2	22	11	9				
10		32.2	30.6	28	14	11				
15		48.2	46.2	42	21	17				
20		62.1	59.4	54	27	22				
25		76.2	74.8	68	34	27	53	26	21	
30		92	88	80	40	32	63	32	26	
40		119.6	114.4	104	52	41	83	41	33	
50		149.5	143.0	130	65	52	104	52	42	
60		177.1	169.4	154	77	62	123	61	49	12
75		220.8	211.2	192	96	77	155	78	62	15
100		285.2	272.8	248	124	99	202	101	81	20
125		358.8	343.2	312	156	125	252	126	101	25
150		414	396.0	360	180	144	302	151	121	30
200		552	528.0	480	240	192	400	201	161	40

Ref. NEC 1990. Tabla 403-150.

* Tensiones no consideradas en las normas nacionales.

♦♦ Las normas nacionales nos enmendarán desde 1981 a través de las NTIE poner C.F. en lugar de H.F.

La tabla 2.5 se refiere a los rangos y ajustes máximos de los dispositivos de protección para los circuitos alimentadores de los diversos tipos de motores.

Los valores están dados por el porcentaje de la corriente a plena carga.

TABLA 2.5
RANGOS MAXIMOS O AJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE
CORTO CIRCUITO Y FALLAS A TIERRA DEL CIRCUITO ALIMENTADOR.

Tipo de motor	Porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo.	De doble elemento (con retardo de tiempo)	Interruptor instantaneo	Interruptor de tiempo inverso.
Monofásico, de todos tipos. Sin letra de código	300	175	700	250
Todos los motores monofásicos y polifásicos jaula de ardilla y sincrónicos a pleno voltaje, con arrancador de resistencia o reactor:				
Sin letra de código...	300	175	700	250
Letra de código F a V	300	175	700	250
B a E	250	175	700	200
" A	150	150	700	150
Todos los motores jaula de ardilla y sincrónicos con arrancador de autotransformador:				
No más de 30 A.				
Sin letra de código...	250	175	700	200
Más de 30 A.				
Sin letra de código...	200	175	700	200
Letra de código F a V	200	175	700	200
" B a E	200	175	700	200
" " A	150	150	700	150
Jaula de ardilla de alta reactancia				
No más de 30 A.				
Sin letra de código...	250	175	700	250
Más de 30 A.				
Sin letra de código...	200	175	700	200
Motor de velocidad				
Sin letra de código...	150	150	700	150
Corriente Directa (voltaje constante)				
No más de 50 HP				
Sin letra de código...	150	150	250	150
Más de 50 HP				
Sin letra de código...	150	150	175	150

Ref. NEC-1990, Tabla 420-152.

2.3 GENERADORES.

2.3.1 INTRODUCCION.

En sistemas de potencia industriales y comerciales frecuentemente se incluyen generadores como una fuente de energía local. Estos generadores pueden suministrar toda o parte de la potencia requerida, o simplemente proveer potencia de emergencia en el caso de que falle la fuente de energía normal.

Los generadores para suministrar toda o parte de la energía requerida por el sistema son operados casi continuamente. Ellos son usualmente turbinas de vapor o gas y entran en operación en caso de emergencia o durante pruebas de mantenimiento e inspección. Por lo general se tienen máquinas de diesel o turbinas de gas para la operación de los generadores, la generación de voltaje es usualmente al nivel de la carga más grande, además éstos generadores pueden arrancar y operar automáticamente sin la presencia de un operador.

Los rangos de los generadores utilizados en estos sistemas varían de 500 a 10 000 KVA. de potencia y de 480 a 10 800 V.

Como en otros aparatos, el grado de protección recomendada mediante relevadores está basado grandemente sobre el costo e importancia de la máquina; para máquinas grandes una protección adicional costosa es fácilmente justificada, en la base de que se tendrá mayor sensibilidad y una rápida respuesta para las fallas, con lo que se pueden minimizar los daños, disminuir los costos por operación así como los tiempos de interrupción.

2.3.2 PROTECCION DE GENERADORES.

Las figs. 2.12 y 2.14 ilustran el mínimo nivel de protección recomendado, para generadores pequeños por medio de relevadores. El relevador de sobrecorriente controlado por voltaje, dispositivo 51V, proporciona protección de respaldo para fallas de fase en el sistema y fallas internas de la maquina cuando opera en paralelo con otras fuentes de potencia. Las fallas de tierra interna del generador no pueden ser rápidamente limpiadas debido al retardo de tiempo en el ajuste del relevador de tierra, dispositivo 51G, ver fig. 2.13.

El relevador diferencial, dispositivo 87, de la fig. 2.14 es una adición recomendable para una respuesta instantanea y sensible de una falla interna del generador. Se puede tener un relevador auxiliar, dispositivo 86, de bloqueo, el cual proporciona los contactos necesarios para el disparo de la línea e interruptores de campo, el interruptor del neutro si se usa y el cebador.

Los generadores síncronos no pueden resistir un desbalance externo para un tipo de falla (línea a línea o línea a tierra), casi lo mismo que resisten una falla trifásica, las corrientes de secuencia negativa que fluyen durante el desbalance en la falla, induce corrientes de 100 ciclos en el rotor y resulta un daño por sobretemperatura si ésta se sostiene. Para una más sensible protección que la suministrada por los dispositivos 51V y 51G, el relevador de secuencia negativa, dispositivo 46 es recomendable, por lo tanto, la cantidad del dispositivo 51V puede ser reducida de 3 a 1.

1. 0-500 KVA HASTA 5 KV

2. 500-1000 KVA HASTA 24 KV

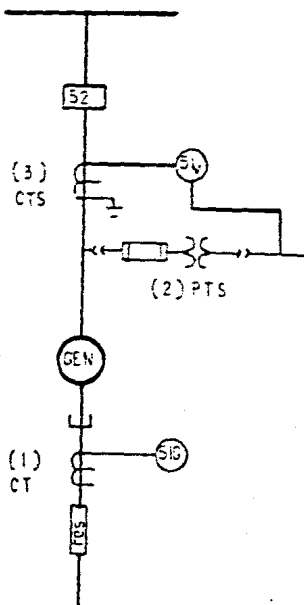


Fig. 2.13 Mínima protección para generadores de baja capacidad.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

1. 0-500 KVA HASTA 5 KV
2. 500-1000 KVA HASTA 23 KV

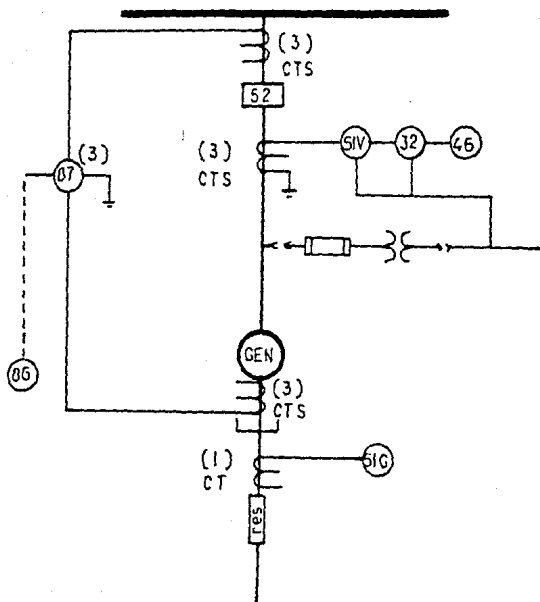


Fig. 2.14 Protección recomendada para generadores pequeños.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

El dispositivo 32 es más bien una protección para el cebado del motor que para el generador. Detecta flujo de potencia dentro del generador de el sistema, tal como ocurriría si el suministro de vapor a la turbina o el suministro de aceite fuera perdido. Tal condición resulta en un sobrecalentamiento de cebador y posible fuego y explosión del combustible quemado en caso de diesel. El dispositivo 32 deberá considerarse como protección de respaldo para los dispositivos mecánicos. El relevador tendrá que ser ajustado con un retardo de tiempo para no tomar en cuenta el flujo de potencia en reversa tal como puede ocurrir durante el sincronismo.

La fig. 2.15 muestra la mínima protección recomendada para generadores grandes. Además de lo descrito anteriormente, se utiliza el dispositivo 40, el cual protege para una pérdida de excitación.

Todas las figuras muestran los rangos de protección para cada caso.

1. 0 - 500 KVA ARRIBA DE 5 KV
2. 500 - 1000 KVA ARRIBA DE 23 KV
3. ARRIBA DE 1000 KVA

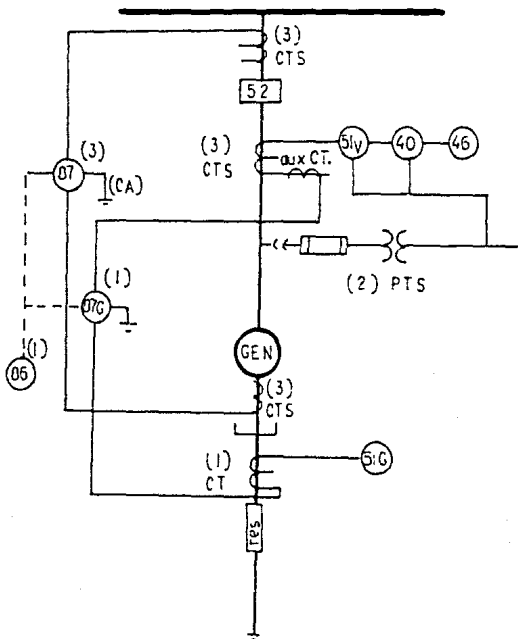


Fig. 2.15 Mínima protección recomendable para generadores grandes.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

2.4 CONDUCTORES.

2.4.1 CLASIFICACION DE CABLES.

Un cable de energía simple es el que se encarga de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas, durante cierto tiempo.

- DE FUERZA: Existen dos clases, los que se instalan en circuitos menores de 600 V. , y los que pueden operar a tensiones mayores de este valor.
- DE CONTROL: Se utilizan en el control de equipos, en comunicación, en medición y en transmisión de datos.

La protección de cables contra corto circuito, sobrecalentamiento y protecciones mecánicas se encuentra en NFPA No.70, NEC 1990, ANSI C1-1975, y se requiere que proteger al personal, al equipo y asegurar la continuidad del servicio.

2.4.2 PROTECCION DE CABLES.

Un cable debe ser protegido contra el sobrecalentamiento debido a la excesiva corriente de corto circuito en el conductor. El punto de falla puede ser una sección del cable protegido o de cualquier otra parte del sistema. La sección del cable en falla debe ser reemplazada después de que la falla ha cesado. Durante una falla de fase, la I²R se disipa en el conductor elevando primero la temperatura del mismo, en seguida los materiales aislantes, las derivaciones, las canalizaciones y el medio ambiente.

ya que la corriente de corto circuito debe ser interrumpida ya sea instantáneamente o en un tiempo muy corto, por los

dispositivos de protección, la cantidad de calor transferida desde el conductor metálico hacia el aislamiento es muy pequeño.

El trabajo de proporcionar protección a un cable durante un corto circuito involucra determinar lo siguiente:

- 1.- Corriente de corto circuito máxima disponible.
- 2.- Temperatura máxima del conductor que no dañara al aislamiento.
- 3.- Calibre del conductor que afecta el valor de IFR y su capacidad de contener el calor.
- 4.- El tiempo más grande que la falla puede existir y de que la corriente fluya.

2.4.3 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MÁXIMA.

Generalmente, la corriente subtransitoria de un sistema se usa para designar la corriente de corto circuito máxima disponible en los cables protegidos por releadores instantáneos de sobrecorriente e interruptores de mediana tensión.

Para la protección de cables por medio de fusibles, fusibles limitadores o de interruptores instantáneos en baja tensión, se debe usar el valor de la corriente asimétrica. Para un retardo de 0.1 seg. o más en el disparo, el valor R.M.S. de la corriente atenuada sobre el periodo de flujo de la corriente de falla es la que se debe usar. Si este último no es disponible, un valor reducido de la corriente subtransitoria debe ser estimada.

Las figuras 2.16 y 2.17 muestran la protección de conductores basadas en la clasificación de los equipos: estas graficas se utilizan cuando las consideraciones económicas no son críticas: la corriente nominal y momentánea de los interruptores

y fusibles se pueden utilizar como una base para la selección y protección de cables.

2.4.4 TEMPERATURA DEL CONDUCTOR.

En base de que el calor es absorbido por el conductor metálico y el calor no se transmite desde el conductor al material aislante, la temperatura que alcanza es una función del calibre del conductor metálico, la magnitud de la corriente de falla y el tiempo que la corriente fluye. Estas variables están dadas por las siguientes fórmulas. (IEEE F-30-362, características de corto circuito del cable aislado, revisión marzo 1969).

Para el cobre:

$$\frac{I}{CM} \times t \times Fac = 0.0297 \log_{10} \frac{T_f + 224}{T_0 + 224}$$

Para el aluminio:

$$\frac{I}{CM} \times t \times Fac = 0.0125 \log_{10} \frac{T_f + 218}{T_0 + 218}$$

I = Corriente.

CM = Calibre del conductor en circular mils.

t = tiempo en segundos.

Fac = Relación de efecto piel o relación de corriente alterna a la corriente directa.

T₀ = Temperatura inicial.

T_f = Temperatura final.

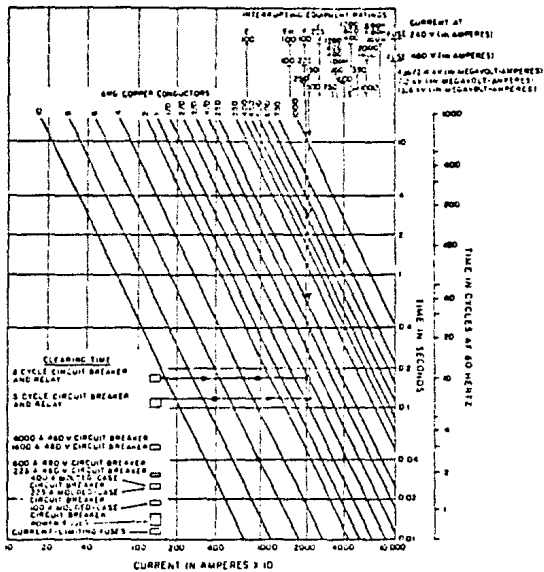


Fig. 2.16 Corriente máxima de corto circuito para conductores de cobre aislados. Temperatura inicial = 75 °C; Temperatura final = 200 °C. Para otras temperaturas utilice los factores de corrección que se mencionaran más adelante.

Ref. IEEE Std. 242.1975.

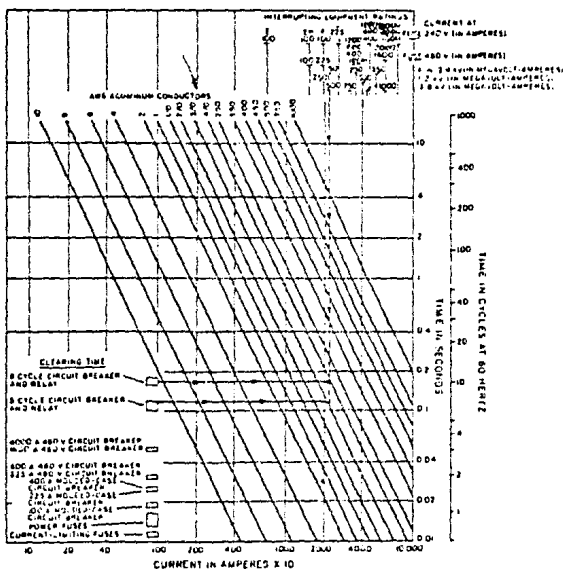


Fig. 2.17 Corriente máxima de corto circuito para conductores de aluminio aislados. Temperatura inicial = 75 °C . Temperatura final = 200 °C. Para otras temperaturas utilizar los factores de corrección.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

2.4.5 TEMPERATURA QUE ALCANZA LA PANTALLA Y LA CUBIERTA.

La temperatura a que se eleva la pantalla o la cubierta debido a una corriente de falla a tierra, puede ser relacionada la corriente I, la seccion transversal CM de la pantalla y de la cubierta y el tiempo t en que fluye la corriente. (IPCEA F-45-462, ejecucion del corto circuito de la pantalla metalica y de la cubierta del cable aislado, Jun. 1967).

TABLA 2.6

Material	Temperatura inicial/final.	
	65/200 °C	65/150 °C
Cobre	$I = 0.0694 \frac{CM}{t}$	$I = 0.0568 \frac{CM}{t}$
Aluminio	$I = 0.0480 \frac{CM}{t}$	$I = 0.0071 \frac{CM}{t}$

2.4.6 RANGOS DE TEMPERATURA MAXIMA DE CORTO CIRCUITO PARA LOS DIVERSOS TIPOS DE AISLAMIENTOS.

La Norma IPCEA F-30-362, establece una pauta para las temperaturas de corto circuito de varios tipos de aislamientos.

TABLA 2.7

Tipo de aislamiento	Rango continuo de temperatura T_0 en °C	Rango de temperatura de corriente de corto circuito T_0 en °C
Caucho	75	100
Caucho endurecido	75	200
Caucho siliconado	125	250
Termoplástico	75	150
Fedel	85	200
Telido barnizado	85	200

2.4.7 CURVAS DE TIEMPO CORRIENTE.

Por conveniencia en la determinación del calibre del conductor, las curvas dibujadas relacionan la temperatura corriente - tiempo y se han preparado de la "formula de temperatura pico" y se basa en la elevación de temperatura desde la continua hasta la de corto circuito presentadas en las tablas 2.6 y 2.7. Las figs. 2.16 y 2.17 muestran las curvas de los conductores de cobre y aluminio desde 75 °C a 200 °C. Ellas tambien se incorporan en los tiempos totales del despeje de la falla de los dispositivos instantaneos y en los rangos de interrupcion de varios tipos de equipos. Para un diseño seguro en el presente y en el futuro, un cable puede ser seleccionado en base al tiempo total de despeje de la falla y en los rangos de interrupcion del equipo. Por ejemplo, el cable de cobre # 2/0 AWG puede ser seleccionado para conectarse en un circuito de 500 MVA, 17.8 kV, a un interruptor de 2 ciclos y el cable de aluminio # 4/0 puede seleccionarse para conectarse al mismo circuito. Sin embargo, un cable de calibre mas reducido puede ser seleccionado si la corriente máxima de corto circuito es menor que el rango de interrupcion del circuito.

2.4.8 TEMPERATURA INICIAL.

Cuando la temperatura inicial del conductor durante la carga máxima es menor que la temperatura continua del rango de corriente, el conductor puede sostener una corriente de falla o puede transportar mas corriente que la permitida por las figuras 2.16 y 2.17.

Sin embargo, la temperatura exacta del conductor nunca se conoce, ya que depende de la carga diaria del cable y de la temperatura ambiente. Para una moderada aproximación se recomienda generalmente reducir el calibre del conductor, para un diseño económico. La reducción del calibre se debe determinar en base a la carga estimada y la temperatura ambiente estimada.

En la fig. 2.18 se muestra el factor de corrección para usarse con las figs. 2.16 y 2.17.

Esta corriente se usa principalmente para aumentar o disminuir el máximo valor de la corriente de corto circuito en un factor de K_t . Este factor se basa en la temperatura inicial o en la temperatura final o ambas, que son arriba y por debajo de 75°C y 200°C, respectivamente.

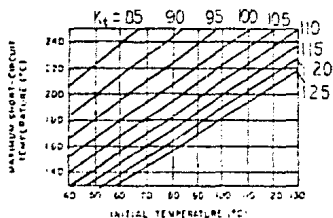


Fig. 2.18 Factor de corrección para usarse con las figs. 2.16 y 2.17.

Ejemplo.

1.- Temperatura inicial = 75 °C.

temperatura máxima momentánea = 200 °C.

$t = 1$.

No se necesitaría ningún factor de corrección en las figs. 2.16 , 2.17.

2.- Temperatura inicial = 50 °C.

temperatura máxima momentánea = 200 °C.

$t = 0,899$

Corriente = 0,899 x Isc en las figs. 2.16 , 2.17.

Isc = Corriente trifásica de corto circuito.

2.4.9 DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

1.- Tiempo de desconexión de la falla.- La protección primaria normalmente se proporciona con un dispositivo de acción instantánea, mientras que la protección de respaldo se realiza con un dispositivo con retardo de tiempo. Relevador 50/51.

a) Interruptor accionado por relevadores.- El tiempo total de despeje de la falla es igual al tiempo de la corriente del relevador más el tiempo del relevador auxiliar (si se usa) más el tiempo de accionamiento del interruptor.

b) Interruptor accionado directamente.- El tiempo total de desconexión es el mismo que se lleva el interruptor al accionarse.

c) Fusibles.- El tiempo total de interrupción de la falla es igual al tiempo que tarda el fusible en actuar.

2.- Dispositivos de protección y tiempo de desconexión.- El tiempo total de desconexión de varios tipos de dispositivos de protección depende de los tipos de relevadores e interruptores o fusibles que se usen. Por conveniencia, el tiempo total de interrupción de la falla de los dispositivos instantáneos de disparo se muestra en la parte inferior izquierda de las figs. 2.16 y 2.17. Estos datos pueden usarse junto con la máxima corriente de corto circuito para una apropiada selección del calibre del cable.

3.- Característica de tiempo-corriente de los dispositivos de protección.- Un dispositivo de protección debe proporcionar una máxima protección si sus curvas características se encuentran cercanas a las del corto circuito contra tiempo del cable, como se muestran en las figs. 2.16 y 2.17. De aquí que la selección de los relevadores de sobrecorriente o dispositivos es vitalmente importante en la protección de cables.

Las figs. 2.19, 2.20 y 2.21 muestran las características de los relevadores y dispositivos comúnmente usados en los circuitos alimentadores. También se muestran las corrientes de corto circuito máximas disponibles de los sistemas y las curvas de corriente de corto circuito máximas del cable.

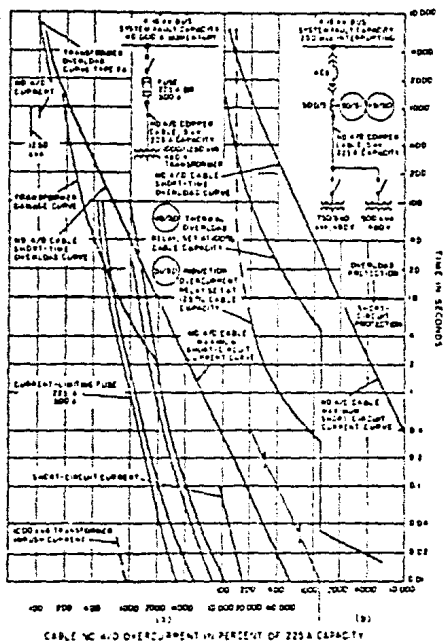


Fig. 2.19 Protección de contra corto circuito y sobrecorriente de cables de 5 KV. por medio de:

- a) Fusibles de potencia limitadores de corriente.
- b) Relevador de sobrecorriente.

Ref, IEEE Std. 242-1975.

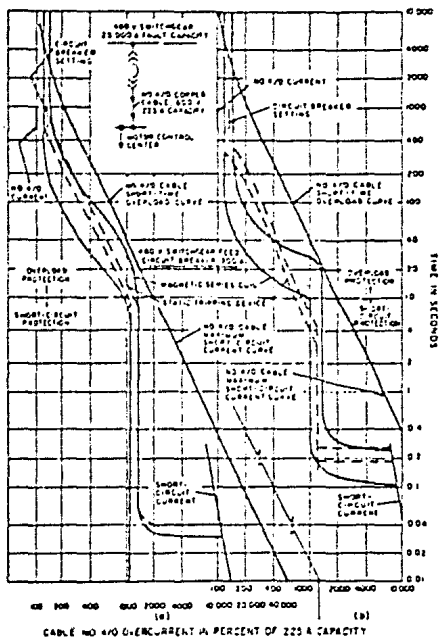


Fig. 2.20 Protección contra corto circuito y sobrecarga de cables de 600 V.

a) Interruptores de tiempo largo e instantáneo.

b) Interruptores de tiempo largo y de tiempo corto.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

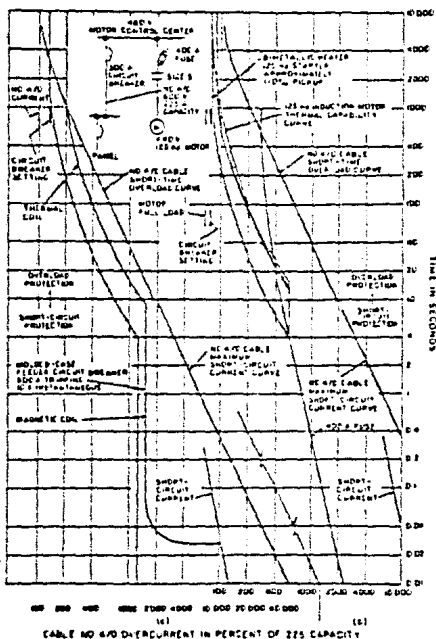


Fig. 2.21 Protección contra corto circuito y sobrecarga de cables de 600 V.

- a) Interruptores termomagnéticos.
- b) Bimetálicos y fusibles.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

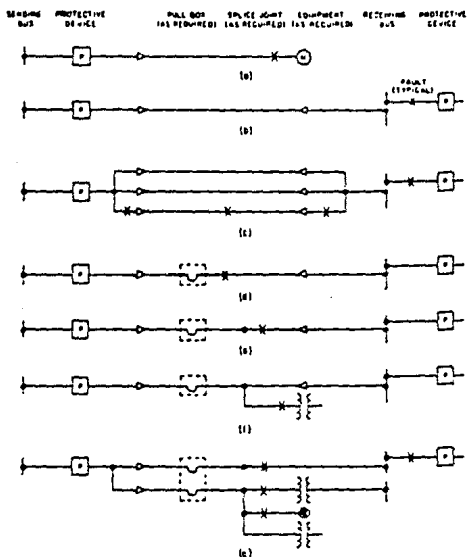


Fig. 2.22

- Un solo alimentador para utilización de equipo.
- Un alimentador singular a un tablero.
- Un alimentador de varios cables a un tablero.
- Un solo alimentador con caja de paso.
- Un solo alimentador con caja de paso y empalme.
- Un solo alimentador con caja de paso y derivación.
- Alimentador múltiple con caja de paso y derivaciones.

Ref. IEEE Std. 242-1975.

2.4.10 APLICACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

1.- Casos típicos de la protección de cables. Recomendaciones.

Los cables de potencia se usan para la transmisión o distribución y alimentadores para la utilización de equipos. Lo que sigue son casos típicos en sistemas de potencia industriales y comerciales.

a) Un solo cable alimentador a través de una caja de paso o con juntura de empalme o con derivaciones, deben ser protegidos de la misma manera como los alimentadores de los tableros sin transformadores.

b) Un alimentador de varios cables o de uno solo sin caja de paso o derivaciones, deben ser protegidos contra corrientes máximas de corto circuito que podrían ocurrir en cualquier punto del circuito alimentador. Un alimentador de varios cables con o sin caja de paso o con juntura de empalmes deben ser protegidos contra corrientes máximas de corto circuito causadas por una falla en un cable.

La corriente de corto circuito en cada cable no está distribuida igualmente, ya que la corriente máxima en el cable con falla es más grande que la corriente total dividida por el número de cables. (Fig. 2.12 (b) y (c)).

c) Un solo alimentador o múltiplo con caja de paso, con juntura de empalme o con derivaciones, debe ser protegido contra las corrientes máximas de corto circuito ocasionadas por una falla en los cables derivados o al final de la sección del

cable empalmado. Un cable con fugas de corriente requiere ser reemplazado solo en la seccion con falla, fig. 2.22(a) y (b).

d) Un alimentador de un solo cable con caja de paso, una union de empalme y una derivacion de un transformador debe ser protegido contra corrientes de corto circuito maximas, ocasionadas por una falla en la derivacion despues de la union empalmada, fig. 2.22 (c).

e) Los circuitos de alimentadores multiples se deben proteger de manera similar que cada circuito individual, fig. 2.22 (d).

2.- PROTECCION Y COORDINACION.

Los dispositivos de proteccion se deben seleccionar y coordinar para proporcionar al cable una proteccion suficiente contra corto circuito. Esto debe realizarse facilmente si se dibujan las curvas caracteristicas de tiempo-corriente del cable a proteger y de los dispositivos de proteccion en la misma hoja log-log.

La curva de tiempo-corriente del dispositivo de proteccion debera estar situada siempre por debajo y a la izquierda de la curva tiempo-corriente de corto circuito maximo del cable, fig. 2.16 y 2.17.

Las figs. 2.18, 2.19 y 2.21 ilustran que el cable aislado # 4/0 AWG puede ser protegido por diversos dispositivos de proteccion, como sigue: un alimentador # 4/0 AWG de 5 kv. se protege por medio de un fusible limitador de corriente, fig. 2.19 (a), o por un relevador 51 o 49, fig. 2.19 (b).

Un alimentador # 4/0 AWG a 500 V. se protege por medio de un interruptor de disparo instantáneo, fig. 2.20 (a), o por un interruptor de tiempo corto, fig. 2.17 (a), o por un interruptor instantáneo de alta velocidad, fig. 2.21 (a).

Un cable calibre # 4/0 AWG a 500 V. que alimenta a un motor, está protegido por medio de un fusible, fig. 2.11 (a).

2.4.11 PROTECCION DE CABLES CONTRA SOBRECARGA.

La protección de cables contra sobrecarga se efectúa con relevadores térmicos de sobrecorriente, porque operan sobre una base de tiempo largo y su respuesta de tiempo es proporcional a la temperatura del cable o al cuadrado de su corriente.

a) Relevadores tipo disco de inducción mv. inversa o extremadamente inversa proporcionan una mejor protección que los moderadamente inversos.

b) Relevadores térmicos de sobrecorriente o dispositivos bimetalicos.

c) Fusibles.

d) Bobina magnética de disparo o sensor estático en 450 V.

e) Bobina magnética térmica sobre interruptores de alta velocidad.

CAPITULO III

ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

3.1 INTRODUCCION.

Una selección apropiada de los dispositivos de protección y su operación selectiva se basa en los cálculos de corto circuito. En una protección inadecuada contra corto circuito, es frecuentemente la causa de fallas de gran magnitud que ocasionan daños cuantiosos, interrupción de energía, lesiones al personal e interrupciones cuantiosas de producción. Inversamente, los dispositivos protectores exagerados o sobreestimados constituyen un desperdicio de equipo costoso e innecesario. Por consiguiente, es sumamente importante determinar con exactitud la índole del corto circuito en un sistema de potencia eléctrica.

Las fallas por corto circuito son de fase a fase en sistemas sin conexión a tierra y de fase a fase así como de fase a tierra en sistemas con conexión a tierra.

3.2 ELEMENTOS QUE APORTAN CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (I_{cc}).

La magnitud de las corrientes depende de las diversas fuentes que las generan, de sus reactancias y de las reactancias del sistema hasta el punto de falla.

Las fuentes de corriente de corto circuito son; sistemas de suministro público, generadores, motores síncronos y de inducción, como se indica en la fig. 3.1.

El sistema de suministro público proporciona energía generalmente a través de transformadores reductores al voltaje deseado por el usuario.

La corriente de corto circuito que se proporciona mediante un transformador depende de la relación de voltaje nominal de su secundario y de su porcentaje de reactancia. También depende de la reactancia de los generadores y del sistema hasta las terminales del transformador, así como de la reactancia que tiene el circuito entre el transformador y la falla.

La compañía de suministro público proporciona información acerca de su posible corriente de corto circuito. Debido a que el sistema de suministro público es mucho mayor que el sistema del usuario, la disminución de corriente simétrica de corto circuito se percibe muy poco o nada durante una falla.

Tratándose de una corriente de corto circuito, existe una relación con las mediciones de la raíz media cuadrática (R.M.S.) o valor efectivo de su onda senoidal. Estas ondas de corriente se clasifican en dos grupos: una onda de corriente senoidal simétrica y una onda de corriente senoidal asimétrica, figs. 3.3 y 3.4.

Los generadores del sistema del usuario pueden ser una fuente de corriente de corto circuito; cuando se presenta un corto circuito, la energía primaria impulsa al generador y éste continúa produciendo voltaje, ya que la excitación del campo se mantiene debido a la rotación del generador a velocidad normal. El voltaje generado produce una corriente de corto circuito con una corriente de gran magnitud que fluye hacia la falla, solamente la reactancia del generador y la del circuito entre el generador y la del circuito entre el generador y el punto de falla limitan este flujo. La reactancia de un generador cambia

con el tiempo despues del inicio de la falla. La reactancia se compone de los siguientes valores:

X''_d = Reactancia subtransitoria, la cual determina la corriente de corto circuito inmediatamente despues del inicio de la falla. Este valor dura unos pocos ciclos despues de que ocurre la falla y se incrementa al siguiente valor en aproximadamente 0.1 segundos.

X'_d = Reactancia transitoria, que dura aproximadamente dos segundos y va aumentando hasta alcanzar el valor definitivo.

X_d = Reactancia sincrona, la cual determina el flujo de corriente despues de que se alcanza una condicion de estado estacionario.

Los generadores tienen una reactancia variable que aumenta en magnitud con el tiempo, por consiguiente, la corriente de corto circuito disminuye exponencialmente con el tiempo. La informacion proporcionada por el fabricante del generador incluye los valores minimos de X''_d y X'_d . Estos se usan para calcular la maxima corriente de corto circuito posible.

Los motores sincronos se comportan en forma similar a los generadores sincronos suministrando corriente de corto circuito durante varios ciclos despues de que ocurre el corto circuito. Las reactancias variables de los motores sincronos se designan de la misma manera que un generador. Sin embargo, los valores de X''_d , X'_d y X_d son diferentes. La magnitud de la corriente de corto circuito debido a los motores sincronos tambien depende de

la capacidad en C.F., voltaje nominal y reactancia de los mismos, así como de la reactancia del sistema hasta el punto de falla.

El motor de inducción aporta corriente de corto circuito cuando después de ocurrir una falla, el motor continúa en movimiento debido a la inercia de la carga y el rotor, a diferencia de los motores sincrónicos. La aportación del motor de inducción disminuye con rapidez y desaparece por completo después de unos pocos ciclos. No hay aportación de corriente de falla en estado estacionario y por lo tanto, a los motores de inducción se les asigna solo un valor de reactancia subtransitoria (X''_d).

El valor de X''_d es casi igual al de la reactancia presente con el rotor estático. De ahí que el valor simétrico inicial de la corriente de corto circuito es casi igual al del voltaje total de la corriente de arranque del motor, que tiene un valor entre 600% y 900% de la corriente de carga normal. La fig. D.1 ilustra estos aspectos.

La magnitud de la componente simétrica de corto circuito aumenta aun más durante los primeros ciclos debido a la componente llamada de corriente continua. La componente de corriente continua causa que la onda de corriente de corto circuito sea asimétrica y disminuya con el tiempo, lo que ocasiona una diferencia aun mayor en magnitud entre el primer ciclo (después del inicio de falla) y varios ciclos más tarde.

Las componentes que limitan la corriente durante los cortos circuitos son: las impedancias de los transformadores, los reactores, conductores y barras, así como fusibles limitadores de

corriente a consecuencia de las impedancias del circuito. Debido a su reactancia, los transformadores reducen la magnitud de las corrientes de corto circuito producidas por las fuentes a las cuales están conectados.

Las ondas de corriente de corto circuito en los sistemas industriales son principalmente de la forma senoidal. La resistencia de los circuitos de potencia normales es de poca importancia en comparación con su reactancia. Cuando ocurre un corto circuito, la mayor parte de la resistencia se elimina quedando sólo un circuito altamente reactivo.

Todo circuito real tiene resistencia. En esta caso, con la componente de corriente continua disminuye a cero varios ciclos después de que se inicia la falla. Por lo tanto, el efecto resultante es la transformación de una corriente inicial asimétrica a una simétrica.

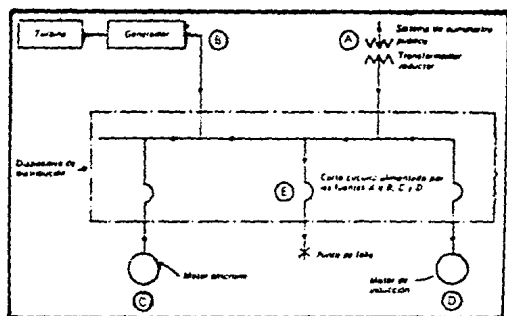


Fig. 3.1 La corriente de corto circuito que fluye hacia el punto de la falla tiene una aportación de diferentes fuentes posibles incluyendo el sistema de suministro público y los generadores de la planta.

Ref. IEEE Std. 141-1976.

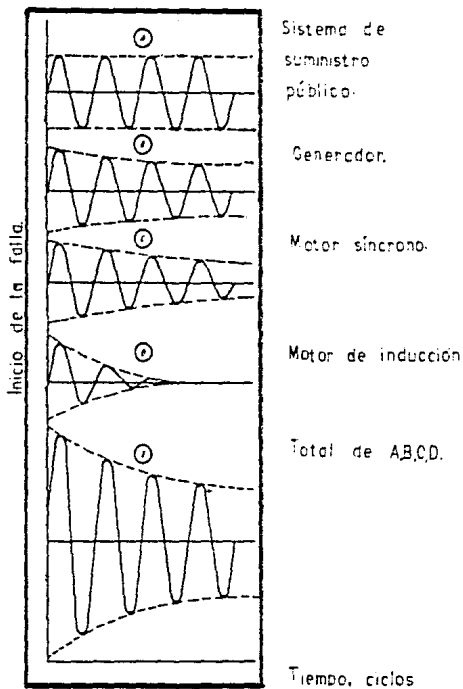


Fig. 3.2 La corriente total simétrica de corto circuito es la suma de las corrientes de falla que aportan diferentes fuentes, cada una con un comportamiento característico.

Ref. IEEE Std. 141-1976

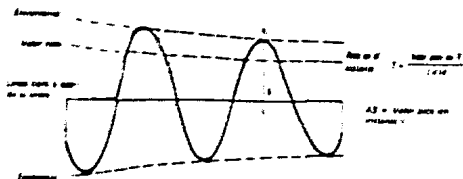


Fig. 3.3 Una onda senoidal simétrica tiene su eje en coincidencia con el eje cero establecido en condiciones normales. La onda senoidal puede disminuir en magnitud.

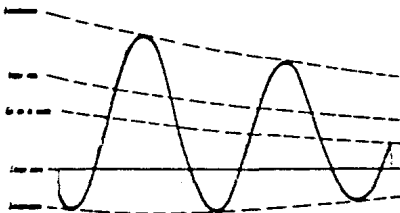


Fig. 3.4 El eje de una onda senoidal asimétrica no coincide con el eje normal cero. La envolvente define los valores pico de la onda en torno de su propio eje.

3.3 METODOS DE CALCULO DE CORTO CIRCUITO.

- 1.- Metodo de las componentes simetricas (vector).
- 2.- Metodo de caída porcentual (vector).
- 3.- Metodo en por unidos.

Con el fin de poder efectuar los calculos de corto circuito en sistemas que operan a diferentes tensiones nominales, se hace necesario transformar el sistema original a otro equivalente en el cual las impedancias de todas las maquinas y líneas quedan expresadas en ohms referidos a una base común de tensión o bien en porcentaje referida a una base común en r.u. El metodo que utilizaremos aqui es el llamado en por unidos, ya que tambien este metodo es comunmente utilizado por las normas ANSI, IEEE, NEMA, NAC.

CAPITULO IV

ANALISIS DE CORTO CIRCUITO.

4.1 INTRODUCCION.

En este capítulo trataremos un ejemplo real para una planta de bombeo que se encuentra en el ACUEDUCTO RIO COLORADO Tijuana FUENTA DE BOMBEO PB-5. para esto tendremos que hacer el estudio de corto circuito en los sistemas: 69 kV, 4.16 kV, 480 V y 220 V.

El diagrama unifilar fig. 4.1, muestra el sistema eléctrico de la planta.

4.2 PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA.

Las siguientes características y parámetros se tomaron en el sitio de datos de placa de los equipos y parámetros y mediciones levantados en la planta.

a).- PARAMETROS DEL SISTEMA DE 69. kV.

Letas de contribución del sistema en 69 kV.

1.- Contribución del sistema actual: 2.011 MVA.

b).- TRANSFORMADORES PRINCIPALES EN PB-5.

1.- Marca: IBM.

2.- Capacidad: 15.000.000 KVA.

3.- Sistema de enfriamiento según norma ANSI: OA-FW en aceite.

4.- Tensiones nominales = 69/13.8/4.16 kV.

5.- Nivel de trouble onda completa AT = 150 kV,
BT = 75 kV.

6.- Número de fases = trifásico.

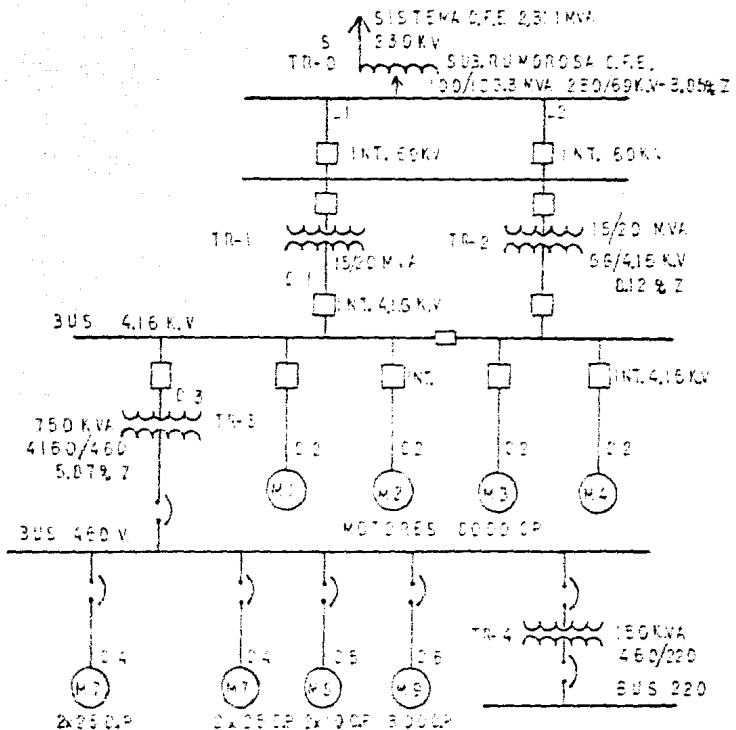


Fig. 4.1 Diagrama Unifilar.

- 1.- Frecuencia = 60 Hz.
- 2.- Elevación de temperatura = 35 °C a plena carga.
- 3.- Clase de operación = 1 (100 % M.A.N.M.).
- 4.- Espec. L = 20006.
- 5.- Z de impedancia = 8.11 en 15.000 V y 15.000 VA.
 Z de impedancia = 10.925 en 20.000 V y 20.000 VA.
- 6.- Con cambiador de derivaciones a 1/2 carga ± 2 x 2.5%.
- 7.- Con cambiador de derivaciones para cargas ± 100% en 100% V.L.
- 8.- Valores de aislamiento.
 - F.P.: α = 0.25 a 100°C.
 - γ = 0.25 a 100°C.
 - Resistencia del aislamiento.
 - R = 2.000 M Ω a 100°C.
 - r = 2.000 M Ω a 100°C.
 - ρ = 100 M Ω a 100°C.
 - λ = 1.000 M Ω a 100°C.

15.- NOTA: Las impedancias nominales de transformadores FE-5.

1. Z = 8.010,61 en 15.000 V y 15.000 VA.
2. Z = 10.925,01 en 20.000 V y 20.000 VA.

07.- TRANSFORMADOR DE SERVICIOS PROFES.

- 1.- Marca: WESTINGHOUSE.
- 2.- Tipo: Subestación unitaria.
- 3.- Aislamiento: Silicona.
- 4.- Capacidad = 750 kVA.
- 5.- Clase enfriamiento = ON.
- 6.- Tensión = 4.160/440 y 254 V.
- 7.- Conexión: Delta-Estrella.
- 8.- Impedancia = 5.87% a 750 kVA.
- 9.- Elevación de temperatura = ±25°C.
- 10.- BIL: K_1 = 50 kV.
 K_2 = 30 kV.

- Transformador 400/220 V.
- Capacitor $C = 150 \mu F$.
- Tensión $E = 400/220 V$.
- Número de fases $n = 3$.
- Inercencia $J = 5,001$.

4).- MOTORES DE LAS MOTOR-BOMBAS DE 6 KW C.F.

- 1.- Marca: WESTINGHOUSE.
- 2.- Modelo: H30M40.
- 3.- Capacidad $P = 6 \text{ KW C.P.}$
- 4.- Tensión nominal $E = 100 V$.
- 5.- Corriente nominal $I = 57,1 A$.
- 6.- Letra de código de rotor bloqueado F .
- 7.- Número de fases $n = 3$.
- 8.- Frecuencia $f = 60 \text{ Hz}$.
- 9.- Velocidad $n = 1720 \text{ R.P.M.}$
- 10.- Clase de aislamiento F .
- 11.- Arranque: Y/Delta.
- 12.- Temperatura $\theta = 50^\circ C$ de elevación de temperatura en operación continua y con factor de servicio de 1,15.
- 13.- Factor de servicio $F = 1,15$.
- 14.- Arranque: con motor frío, \downarrow arranque consecutivo, con motor en operación, \downarrow arranque consecutivo.
- 15.- Inercia $J = 401 \text{ lb-pie}^2$ en la flecha.
- 16.- Tensión mínima de arranque $E = 70 \text{ V}$ Tensión nominal.

5).- MOTOR-BOMBA EFFICIENTE.

- 1.- Capacidad $P = 10 \text{ C.P.}$
- 2.- Tensión $E = 220/200 V$.

3.- Corriente nominal = 27.4/13.7 A.

4.- Velocidad = 3 500 R.P.M.

5.- Letra de código = 6.

f).- MÓDULO AGUA HELADA Y DE CONDENSADO.

1.- Capacidad = 25 C.F.

2.- Tensión = 200/400 V.

3.- Corriente nominal = 64/32 A.

g).- MOTOR-BOMBA UNIDAD REFRIGERADORA.

1.- Tipo = CHILLING UNIT.

2.- Tensión = 440 V.

3.- P.L. = 301.

4.- L.H. = 1 730.

5.- Capacidad = 267 I.VA.
300 C.F.

h).- MOTOR-BOMBA LLENADO.

1.- Capacidad = 10 C.F.

2.- Tensión = 200/400 V.

3.- Corriente nominal = 27.5/13.3 A.

i).- DISTANCIAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES.

1.- Transformador 15.20 MVA. al tablero blindado 4.10 I.V.

- Distancia en PB-2 = 50 metros.

- Calibre = 750 MCM.

- Número de cables por fase = 6.

2.- Tablero blindado a motores 4 100 V.

- Distancia = 44 metros.

- Calibre = 400 MCM.

- Número de cables por fase = 3.

3.- Sistema de control de velocidad de rotación de la máquina.

- Distancia = 30 metros.

- Velocidad = 40 RPM.

- Número de cables por fase = 3.

4.- Sistema de control de potencia a motores 440 V.

- Distancia = 30 metros.

- Velocidad = 10 RPM. Velocidad de arranque y alta potencia.

- Número de cables por fase = 3.

- Distancia en fase = 30 metros.

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE C.F.E.

El sistema de control de potencia a motores de C.F.E. en la subestación de Honduras I del M.A. está suministrado por C.F.E.V.

El banco de auto-transformadores subestación Honduras,

tiene = 2000000 VA.

Voltaje = 20000 V.

C.T. = 0.33 en caso de 100 MVA.

El línea transmisión Honduras 220V.

Tensión = 220 V.

Subestación = 400 cable ABB.

Distancia = 7.5 km.

n = 3 conduct.

r = 0.0107.

4.3 CALCULO DE CORTO CIRCUITO.

4.3.1 CRITERIO Y CONSIDERACIONES.

1.- Los criterios mas importantes en ingenieria para el calculo de corto circuito son los siguientes:

Factor de servicio de interruptores.

El factor de servicio de interruptores considera el desgaste normal de los contactos principales, contactos de arqueo, velocidades de apertura, etc. Estas condiciones dan lugar a que disminuya la capacidad interruptiva con los años.

a) Segun las experiencias internacionales y en Comision Federal de Electricidad, este factor se considera adecuado de 0.80.

2.- Para el estudio de corto circuito se considera que operan 3 motores de 8 000 C.F. con un transformador de 15/20 MVA.

3.- La planta opera adicionalmente con las siguientes moto-bombas:

a) Dos motores de 10 C.F. de bombas de enfriamiento.

b) Dos motores de 25 C.F. de bombas de agua helada y condensado.

c) Dos motores de 25 C.F. de bomba de alta presion- chumaceras.

d) Sistema de refrigeracion "Chilling Unit" de 200 HVA.

4.- Los motores del sistema de la bomba estatica trabajan unicamente en el arranque y por lo tanto no interviene en los calculos de corto circuito.

Las tablas 4.1 y 4.2 describen las reactancias y resistencias de los equipos y de los cables en por unidad, respectivamente.

En ambas tablas se utiliza una base de 100 MVA, y la fórmula:

$$X(\%) = \frac{\text{OHMS} \times \text{MVA}_{\text{BASE}}}{\text{KV}^2 \times 1000}$$

La fig. 4.3, muestra el diagrama de reactancias en por unidad del sistema, donde están localizados los puntos A, B, C, D, y E de corto circuito.

Las figs. 4.4, 4.4, 4.5 y 4.6 muestran la manera de simplificar las reactancias en una reactancia equivalente, usando la ley mediante la fórmula:

$$X_{\text{eq}} = \frac{\text{MVA}_{\text{BASE}}}{\sum \text{MVA}_{\text{EQUIV.}}}$$

Nota: Para estos cálculos no se considera el transformador T-4.

REACTANCIAS Y RESISTENCIAS DE EQUIPOS
 BASE: 100 MVA

SIMBOLO	DESCRIPCION	CAPACIDAD		IRB	I Z	X P. U.	R.P.U.
		H. P.	KVA				
S	Contribución del Sistema		2,311,000			0.04327	0.0042
TR-0	Transformador Subestación Humorosa		100,000 (230/69KV)		3.85%	0.0385	0.0038
L-1	Línea Transmisión 69 KV					0.0685	0.0197
TR-1	Transformador 15/20 MVA 66/4.16 KV		15,000		8.12	0.5413	0.0285
M-1	Motor Bomba	8,000	6,708	6.56 In	15.25%	2.272	0.0500
M-2	Motor Bomba	8,000	6,708	6.56 In	15.25%	2.272	0.0500
TR-3	Transf. Serv. Propios - 4.16/440 Volts.		750		5.87	7.8266	1.520
TR-4	Transformador 440/220 Volts.		150		3.18	21.20	0.530
M-7	Motores Agua helada, con densado y alta presión.	25	24.06	5.0 In	20%	833.33	83.33
M-8	Motores agua enfriamiento	10	9.95	5.0 In	20%	2,010.00	201.00
M-9	Motor Unidad Refrigeradora	300	267	5.74 In	17.42%	65.24	6.52

REACTANCIAS Y RESISTENCIAS DE CABLES EN BASE 100 MVA

CABLE No.	CONDS. FASE	CALIBRE MCM	O H M S/100 PIES		FACTOR CORREC. R/X	LONGITUD MTS.	O H M S		R O/I	X O/I
			R	X			R	X		
C-1	6	750	0.0028	0.00474	0.72/0.8	50	0.00055	0.00104	0.0032	0.006
C-2	3	400	0.00419	0.00506	0.83/0.8	44	0.00167	0.00195	0.010	0.01125
C-3	1	2 AWG	0.0203	0.00623	0.96/0.8	10	0.0064	0.00166	0.037	0.010
C-4	1	10 AWG	0.124	0.0085	1.0/0.8	50	0.204	0.0111	96.105	5.270
C-5	1	10 AWG	0.124	0.0085	1.0/0.8	50	0.204	0.0111	96.105	5.270
C-6	2	4/0 AWG	0.007	0.00529	0.93/0.8	60	0.0064	0.00416	3.027	1.9680

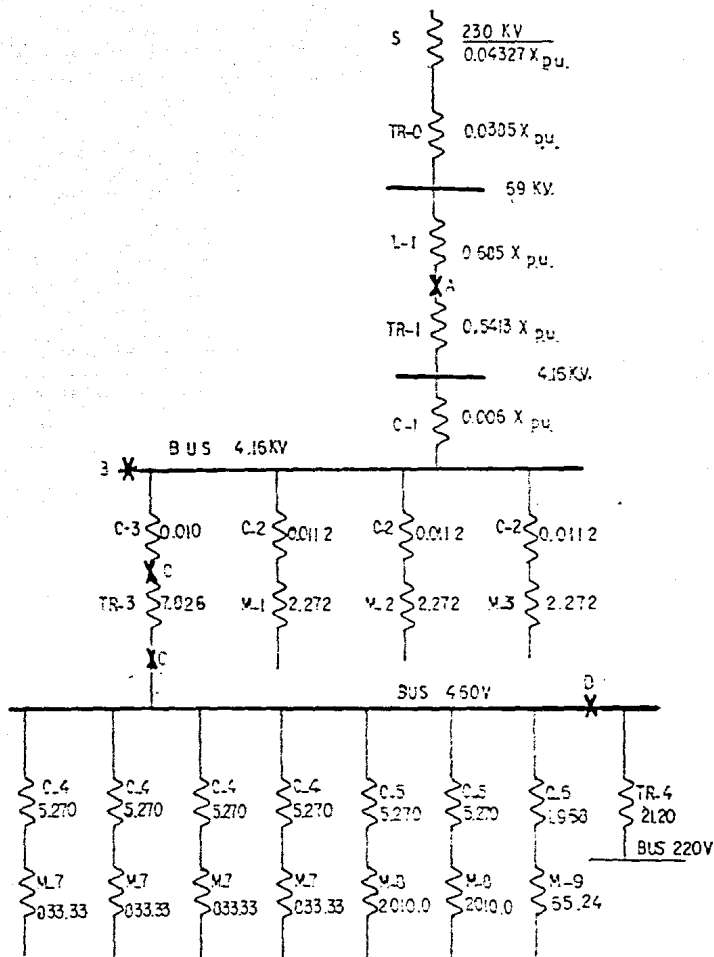
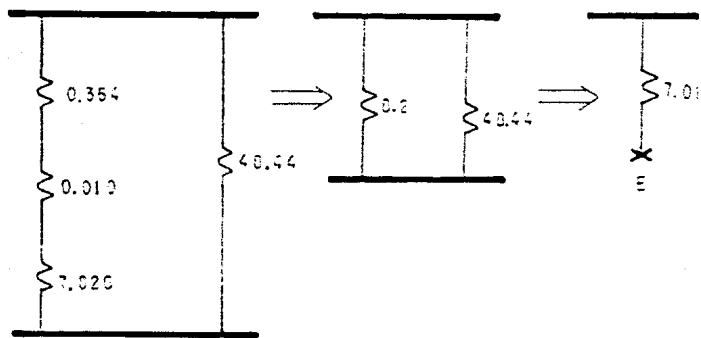
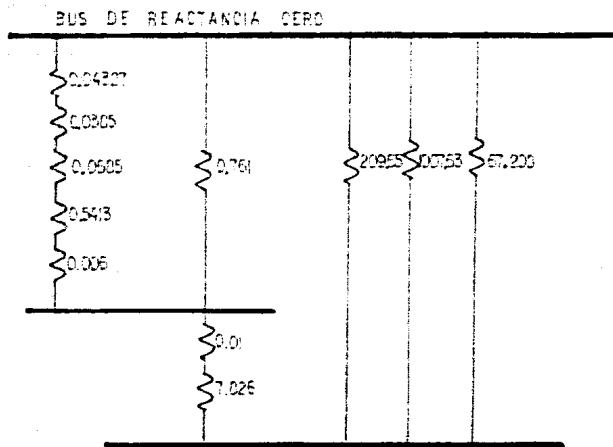


Fig. 4.2 Diagrama de reactancias.



$$I_{cc2} = 17905.00 \text{ A/R}$$

Fig. 4.3 Determinación de la corriente de corto circuito en el punto E.

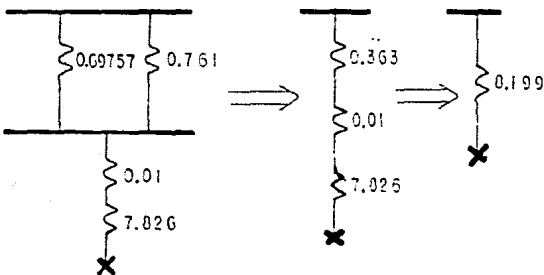
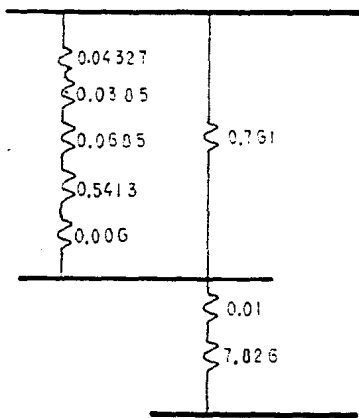
SIN CONSIDERAR LA REACTANCIA DE LOS MOTORES.

M-7 DE 2x25 CP

M-8 DE 2x10 CP

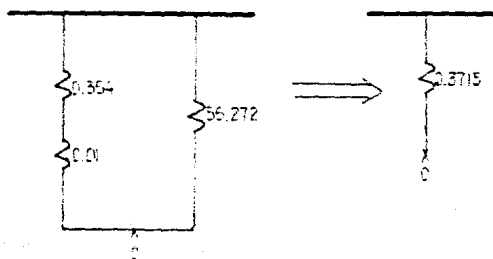
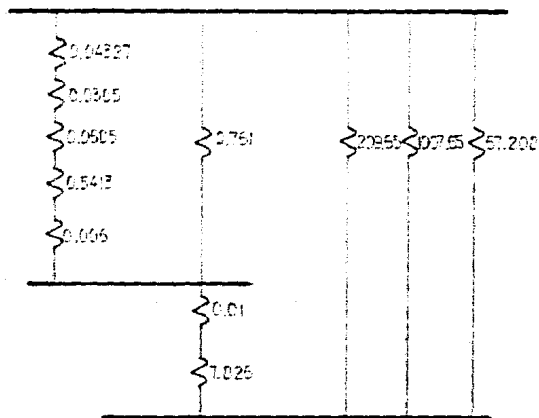
M-9 DE 1x300 CP

SE HALLA LA I_{cc} PARA EL PUNTO D.



$$I_{ccD} = 15300.53 \text{ AMP.}$$

Fig. 4.4 Determinación de la corriente de corto circuito en el punto D



$$I_{ccC} = \frac{100\,000\text{ KVA}}{3 \times 4.15 \times 0.3715} = 37354,4 \text{ AMP}$$

Fig. 4.5 Determinación de la corriente de corto circuito en el punto C.

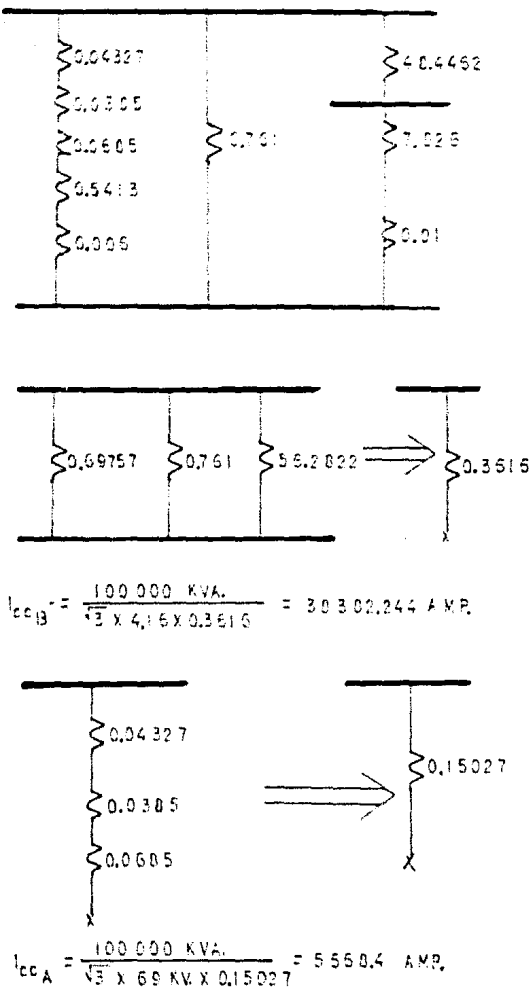


Fig. 4.6 Determinación de la corriente de corto circuito en los puntos A y B.

4.4 SELECCION DE INTERRUPTORES DE POTENCIA EN ALTA TENSION.

4.4.1 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES DE 5.0 KV.

1.- INTERRUPTORES DE ALIMENTADORES PRINCIPALES.- CORRIENTE NOMINAL DE LOS INTERRUPTORES DE LOS ALIMENTADORES PRINCIPALES.

Se considera que operen 2 motores de 2.000 C.P., mas el transformador de servicios propios de 750 K.V.A.

$$\begin{aligned} 2 \text{ Motores de } 2.000 \text{ C.P.} \quad I_n &= 401 \times 2 \\ &= 2.792 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Transformador de servicios } I &= \frac{750}{4.16 \times 1.73} \\ &= 104.21 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

$$I \text{ total} = 2.792 + 104.21 = 2.897 \text{ Amp.}$$

considerando el factor de utilizacion de 0.8, tenemos:

$$\begin{aligned} I &= \frac{2.897}{0.8} \\ &= 3.621 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

Segun las normas americanas ANSI C 37.06 los valores de las corrientes nominales maximas son:

$$3.000 \text{ Amp.}$$

Segun las normas internacionales IEC publicacion 22.2 se tienen corrientes nominales de:

$$3.150$$

$$4.000 \text{ Amp.}$$

$$5.000 \text{ Amp.}$$

Para nuestro caso se recomienda la corriente nominal de

4.000 Amp.

2.4 INTERRUPTOR ALIMENTADOR DE MOTORES DE 8.000 C.P.

Corriente nominal de los interruptores alimentadores a los motores 8.000 C.P.

$I_n = 931 \text{ Amp.}$

Se consideran los siguientes factores:

Factor de utilización = 0,6

Factor de variación de tensión = 0,9

Factor de temperatura = 0,8

El factor de temperatura se considera, debido a que la temperatura ambiente alcanza los 48°C en lugar de 40°C.

La corriente nominal, tomando los tres factores es:

$$I_n = \frac{931}{0,6 \times 0,9 \times 0,8} \\ = 1.616,51 \text{ Amperes.}$$

Según las normas americanas ANSI 27.06 los valores de corriente son:

2.000 amp.

Según las normas internacionales se tienen valores de:

2.500 amp. En virtud de que se fabrican estándar.

Se selecciona el valor de 2.500 amp.

Con este margen en la corriente nominal, se incrementa la vida normal de estos equipos.

3.- INTERRUPTOR ALIMENTADOR DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS FR0F105.

Corriente nominal del interruptor alimentador del transformador de 750 k.V.A.

$$I_n = 104.21 \text{ Amp.}$$

Para este caso se podría utilizar el interruptor de:

$$1,200 \text{ Amp. (norma ANSI C 37.06)}$$

$$1,150 \text{ Amp. (norma IEC-602)$$

Sin embargo es recomendable que todos los interruptores sean intercambiables, por lo que se recomienda para este interruptor la corriente nominal de 1,500 Amp.

4.- CORRIENTE NOMINAL DE CORTO CIRCUITO DE LOS INTERRUPTORES.

Aunque existen diferentes valores de la corriente de corto circuito en diferentes puntos, es conveniente seleccionar un solo valor para todos los interruptores. Del estudio de corto circuito el valor máximo de corriente de corto circuito es:

$$I_{cc} = 37,354.4 \text{ Amp.}$$

Considerando el factor de utilización de 0.8 tenemos:

$$I_{cc} = \frac{37,354.4}{0.8}$$

$$= 46,693 \text{ k.A.}$$

Según normas ANSI C 37.06 nos da el valor para interruptores de 4.75 k.V. de:

$$41 \text{ k.A. a tensión máxima de 4.75 k.V.}$$

También según las mismas normas, se debe comprobar este valor por tensión y por ciclos de apertura.

De la fórmula:

$$I_{cc} = \frac{E}{V} \quad (I \text{ nominal de corto circuito}) \times F$$

de donde $E =$ Tensión máxima

$V =$ Tensión de trabajo

$F =$ Factor por ciclos de apertura
(0.955 para 5 ciclos)

$$I_{cc} = 41 \times \frac{4.76}{4.16} \times 0.955$$
$$= 44.8 \text{ t.A.}$$

Según normas IEC-51, se tienen valores de

40 t.A.

50 t.A.

Se recomienda el valor de

$I_{cc} = 50 \text{ t.A.}$

Para todos los interruptores.

5.- CAPACIDAD.

El valor de la "Capacidad" o capacidad máxima de corriente de corto circuito es para valores que no alcancen tensiones 171 veces el valor máximo de tensión.

En nuestro caso tenemos:

$$\text{Tensión mínima: } \frac{E}{i}$$

de donde $i = 1.19$ para interruptores de 4.160 V. según normas ANSI C 37.06

$$E_{\text{min.}} = \frac{4.760}{1.19}$$

$$= 4,000 \text{ Volts.}$$

Como los interruptores operan en 4,160 Volts, no se aplica el valor de capacidad.

6.- TIEMPO DE INTERRUPCION.

Los interruptores de mediana tensión tienen valores de 5 ciclos de tiempo de apertura del interruptor según normas ANSI e IEC.

7.- TENSION NOMINAL Y TENSION MAXIMA NOMINAL.

La tensión del transformador TR-1 de 15/20 MVA, de 66,000/4,160 Volts. 3 Fases es de:

4,160 volts. (tensión nominal)

Las normas ANSI C 37.03 establecen tensiones máximas nominales de interruptores de 4,760 Volts.

Las normas IEC, publicación 56, las tensiones nominales máximas es de 7,2 K.V. y se manufacturan interruptores de 5 K.V.

En virtud de que no hay correcciones por altura sobre el nivel del mar, se pueden considerar:

4,76 K.V. tensión máx. nominal, normas ANSI C-37

5,0 K.V. tensión máx. nominal, normas IEC 56.

8.- NIVEL DE AISLAMIENTO.

En virtud de no tener correcciones por altura de operación sobre el nivel del mar, ya que operan abajo de los 1,000

m.s.n.m. y no existir condiciones ambientales de contaminación, se deben aplicar los siguientes niveles de aislamiento.

Según normas ANSI C-37.20

Potencial aplicado: 19 K.V.

Nivel de impulso: 60 K.V.

Según normas IEC, Publicación 56.

Potencial aplicado: 27

Nivel de impulso: 60

9.- MEDIO DE EXTINCIÓN DEL ARCO.

Presentaremos un análisis referente al medio de extinción del arco eléctrico durante la apertura de los interruptores y como medio de aislante normal.

9.1 Medio de extinción en aire.

Los interruptores con este medio de extinción ya están discontinuados (No se consiguen en el mercado).

9.2 Medio de extinción en bajo volumen de aceite.

Los interruptores con este medio de extinción están en proceso de discontinuarse.

Adicionalmente, por ser un líquido inflamable no es recomendable en instalaciones industriales. En las plantas de bombeo del Acueducto Río Colorado-Tijuana, se ha tomado en consideración este aspecto, ya que los transformadores de distribución son sumergido en SILICONE, líquido no inflamable.

9.3 Medio de extinción en vacío.

Este medio de extinción presenta la característica de cortar la corriente en cualquier punto de la onda de corriente, lo cual produce tensiones transitorias de hasta 5 veces la tensión de trabajo. Esta característica denominada "Current Cropping", produce sobretensiones abruptas que fuerzan la corriente al valor cero, en lugar de esperar alcanzar el valor natural cero de la onda de corriente.

Adicionalmente según experiencias internacionales y nacionales, estos interruptores pierden el vacío, ocasionando graves daños, ya que no hay forma de detectar esta falla.

En conclusión, la aplicación en estos interruptores, además del riesgo que significa la pérdida del vacío, sería necesario instalar bancos de capacitores industriales de 5 K.V. y aparterreyos así como la instalación de cables blindados de 5 K.V., pruebas, etc.

Adicionalmente estos equipos requieren mantenimiento.

9.4 Medio de extinción de gas SF₆ (Hexafluoruro de azufre).

Estos interruptores tienen las cámaras de interrupción de resinas epoxi totalmente encapsuladas, que contienen el gas SF₆ como medio aislante y del extinción del arco eléctrico del interruptor.

Este gas SF₆ tiene las siguientes propiedades físicas y químicas.

- Es cinco veces más pesado que el aire.

- Es un gas estable, inodoro y no inflamable.
- No reacciona con el agua, ni con los ácidos.
- No ataca a ningún material.
- No ejerce acción corrosiva sobre aceros, aluminio, cobre, etc.

Propiedades eléctricas:

- A la presión atmosférica, el gas SF₆ tiene una rigidez dieléctrica tres veces la del aire y esta relación se aumenta con el incremento de la presión.
- A tres atmosferas, el valor de la rigidez dieléctrica del gas SF₆ es aproximadamente igual a la del aceite aislante de los transformadores de potencia y esta relación se incrementa con el aumento de la presión.
- El gas SF₆ no sufre alteraciones apreciables bajo la acción de descargas eléctricas, porque una gran parte de sus productos de descomposición se regeneran espontáneamente, volviendo a la molécula original SF₆.
- El gas SF₆ no es combustible, ni inflamable.
- En el gas SF₆, el voltaje de arco permanece muy bajo, ya que la corriente se interrumpe en el valor cero de la onda de corriente, de manera que no se presentan sobretensiones transitorias y la energía del arco no alcanza valores altos.
- Las cámaras cuentan con presostatos que indican cuando se presentan fugas de gas, o pérdida de presión.
- Cuenta con un indicador de desgaste de los contactores.
- Debido a la baja erosión de los contactos principales en

el SF₆ y a la casi despreciable descomposición de gas en el arco, el interruptor puede operar durante muchos años sin tener que dar mantenimiento a las cámaras de arco. Los fabricantes garantizan 10,000 operaciones, sin requerir mantenimiento, esto equivale a 20 ó 30 años de operación.

Debido al gran desarrollo de interruptores en gas SF₆, en la actualidad se ha logrado en una sola cámara de arco interruptores de 245 k.V. y 40 k.A., lo cual con ningún otro medio de extinción se obtiene.

En resumen, el gas SF₆ es ideal tanto como medio aislante como medio extintor de arcos eléctricos.

R E S U M E N

Para la aplicación de interruptores de mediana tensión, que alimentan motores, se recomienda ampliamente el empleo de interruptores en gas SF₆, por las siguientes razones:

- 1.- Es la tecnología más avanzada en interruptores de mediana, alta y extra alta tensión.
- 2.- En conjunto con resinas epóxicas permiten una hermeticidad casi perfecta. Adicionalmente los presostatos indican fugas del gas en caso de fallas o accidentes. Esto nos garantiza un nivel muy alto de confiabilidad.- Es el más alto de todos los interruptores.
- 3.- Tiene una operación continua de 20 a 30 años, sin requerir mantenimiento de las cámaras de arco.

- 4.- No requiere equipos supresores de sobretensiones transitorias (capacitores y apartarrayos).
- 5.- Resulta más económico que el interruptor en vacío, el cual incluye el banco de supresores de sobretensiones.

RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES

INTERRUPTORES DE CLASE NOMINAL DE TENSION DE 5.0 K.V.

	<u>2,500 Amp.</u>	<u>4,000 Amp.</u>
Clase nominal interruptiva trifásica	400 MVA	400 MVA
Tensión nominal:	4.16 KV	4.16 KV
Tensión máxima nominal:	5.0 KV	5.0 KV
Factor "K" del rango de tensión nominal	1.19	1.19
Nivel de aislamiento:		
- Potencial aplicado a baja frec.	27 KV	27 KV
- Nivel de aislamiento al impulso onda completa	60 KV	60 KV
Corriente nominal de 60 Hz.	2,500 A	4,000 A
Corriente nominal de corto circuito (a tensión máxima nominal)	50 KA	50 KA
Tiempo de interrupción en base a 60 Hz	5 ciclos	5 ciclos
Medio de extinción del arco	Gas SF ₆	Gas SF ₆

4.5 SELECCION DE INTERRUPTORES EN BAJA TENSION.

MOTORES DE 300 C.P.

$$I_{\text{NOM. MOTOR}} = \frac{\text{C.P.} \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \text{F.P.} \times E_p} = \frac{300 \times 746}{\sqrt{3} \times 460 \times 0.8 \times 0.9} = 390.14 \text{ A.}$$

E_p = Eficiencia.

F.P. = Factor de potencia.

De las N.T.I.E. Art. 403.35 a); recomienda que el ajuste de los interruptores no debe ser mayor del 400% de la corriente. Tomando el 200% de Inom. motor:

$$\text{Capacidad} = I_{\text{NOM. MOTOR}} \times 2 = 390.14 \text{ A.} \times 2 = 780.28 \text{ A.}$$

De la tabla interruptores termomagnéticos F.A. pág. 2.4 del boletín No. 2, febrero de 1984 de SQUARE D, se selecciona al

	800	AD
interruptor MA de:	-----	
	1 000	AM

AD = Amperes de disparo.

AM = Amperes de manzo.

Capacidad interruptiva = 22 000 A. B.M.S. simétricos.

Tensión nominal = 460 V. C.A.

MOTORES DE 15 C.P.

$$I_{\text{NOM. MOTOR}} = \frac{\text{C.P.} \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \text{F.P.} \times E_p} = \frac{15 \times 746}{\sqrt{3} \times 460 \times 0.8 \times 0.9} = 72.5 \text{ A.}$$

Procediendo como el caso anterior:

Tomando el 200% de Inom. motor.

Inom. motor X 2 = 32.5 A. X 2 = 65 A.

Del mismo boletín pág. 2.4, se selecciona el interruptor

FA de : $\frac{70}{100}$ AD
AM

Capacidad interruptiva = 14 000 A. R.M.S. simétricos.

Tensión máxima = 600 V. C.A.

MOTORES DE 10 C.P.

$$I_{\text{NOM. MOTOR}} = \frac{10 \times 746}{\sqrt{3} \times 460 \times 0.8} = 13 \text{ A.}$$

I NOM. X 2 = 13 A. X 2 = 26 A.
MOTOR.

Por lo tanto, se selecciona el interruptor FA de: $\frac{30}{100}$ AD
AM

Capacidad interruptiva = 14 000 A. R.M.S. simétricos.

Tensión máxima = 600 V.C.A.

INTERRUPTOR EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR TR-3.

$$I_{\text{NOM. TRANSF.}} = \frac{750 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 460 \text{ V.}} = 941.4 \text{ A.}$$

Del boletín 11E Nov. 1981, recomienda un ajuste del interruptor no mayor al 250% de Inom. Transf.

Tomando el 150% de Inom. transf.

Capacidad = 941.4 A. X 1.5 = 1412 A.

Del mismo boletín de interruptores se selecciona el interruptor

1 400 AD
FA de: -----
2 000 AM

Capacidad interruptiva = 50 000 A. R.M.S. simétricos.

Tensión máxima = 600 V.D.A.

Las figs. 4.7, 4.8 y 4.9 ilustran las curvas de disparo de los interruptores termomagnéticos, existiendo también de otros tipos, como las de cara moldeada, fig. 4.10.

Las tablas 4.1, 4.4 y 4.5 se refieren a las capacidades interruptivas de los interruptores termomagnéticos, No. de polos, corriente y tensiones nominales.

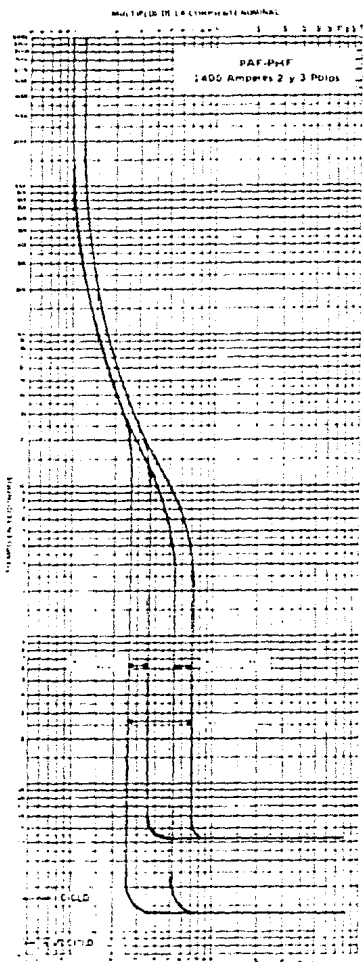
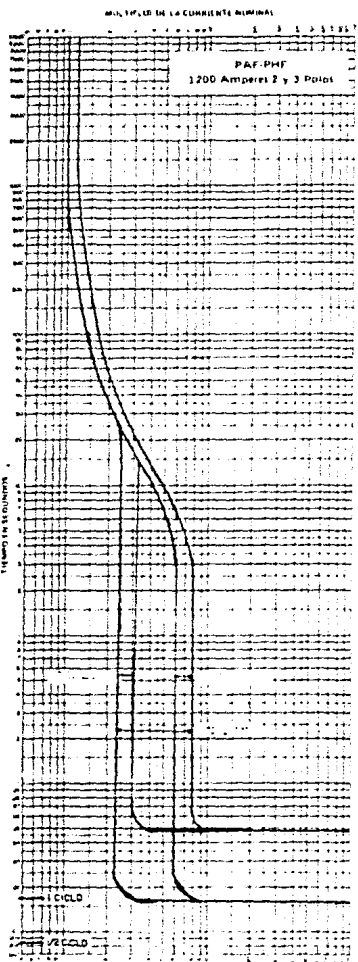


Fig. 4.7 Curvas de disparo de interruptores termomagnéticos PA.

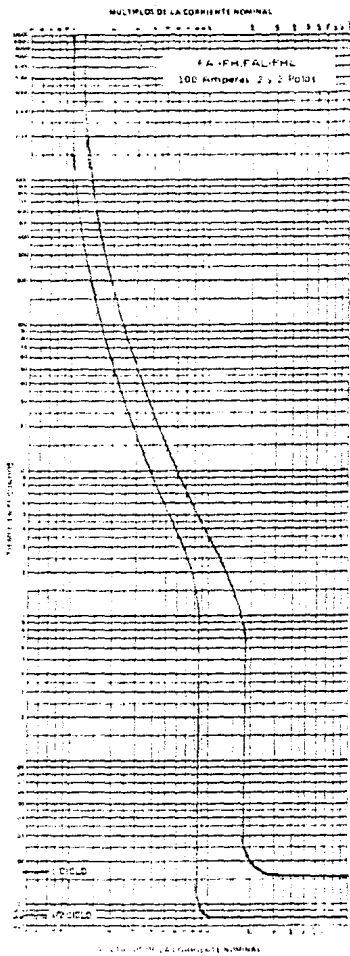
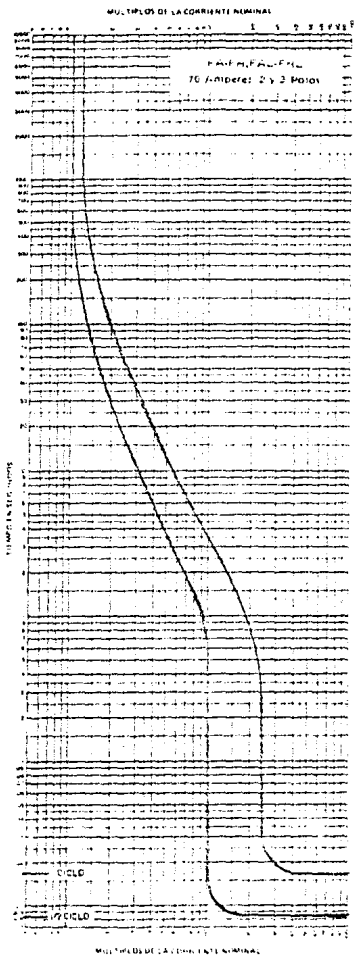


Fig. 4.8 Curvas de disparo de interruptores termomagnéticos FA.

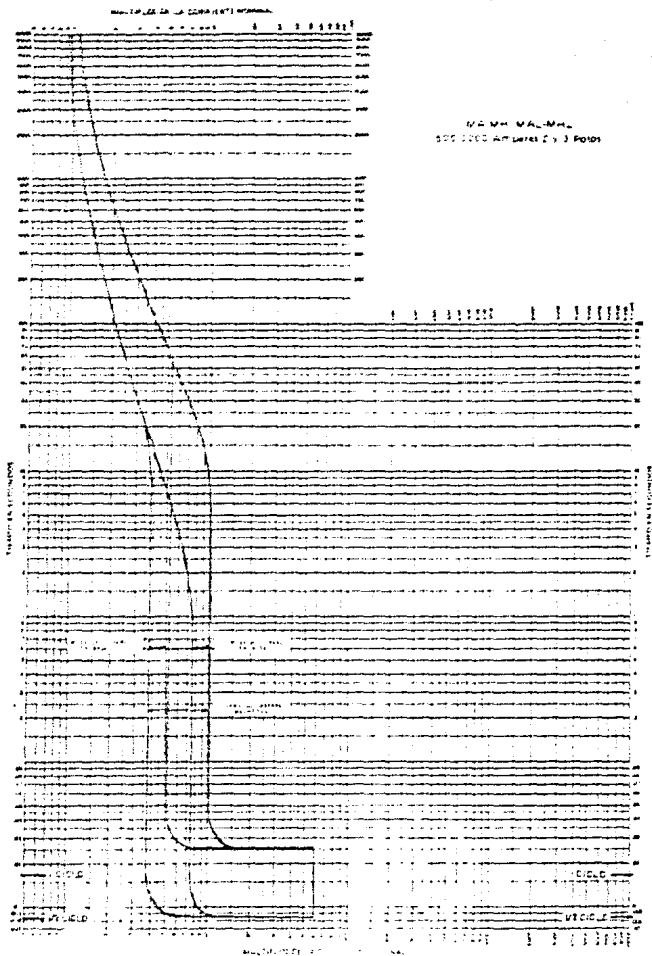


Fig. 4.9 Curva de disparo de interruptores termomagnéticos MA.

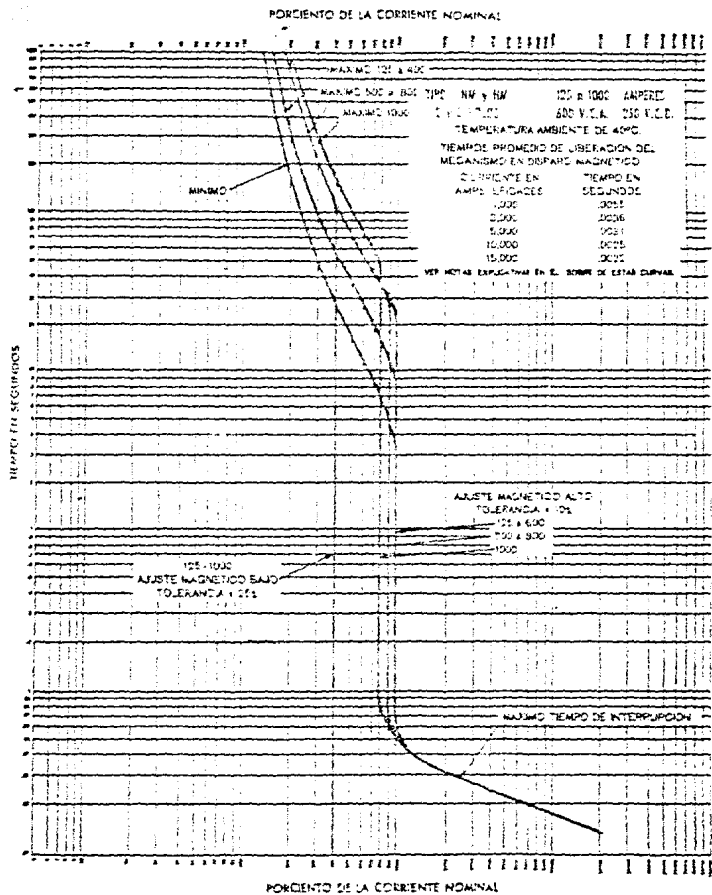


Fig. 4.10 Curva característica de disparo de interruptores termomagnéticos en caja moldeada.

TABLA 4.3

CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS MA.

Prefijo en el No. de Catálogo	No. de Polos	Corriente Nominal Amperes	Capacidad Interruptiva Nominal Amperes RMC Simétricos			
			Tensión Corriente Alterna 60Hz			Tensión CD
			240 V	280 V	600 V	250 V
MA-MAL	2	500-1000	42,000	30,000	22,000	14,000
	3	500-1000	42,000	30,000	22,000	-----
MH-MHL	2	500-1000	65,000	50,000	25,000	14,000
	3	500-1000	65,000	50,000	25,000	-----

MA MARCO 1000 AMPERES, TENSION MAXIMA 600 V CA, 60 HZ, 250 V CD, CAPACIDAD INTERRUPTIVA NORMAL

Corriente Nominal Amperes	Gama de Disparo Magnético Amperes		Dos Polos		Tres Polos	
	Baja	Alta	Int. Estándar	I-LINE	Int. Estándar	I-LINE
500	2500	5000	MAL 26500 •	MA 26500 ••	MAL 36500	MA 36500
600	3000	6000	MAL 26600 •	MA 26600 ••	MAL 36600	MA 36600
700	3500	7000	MAL 26700 •	MA 26700 ••	MAL 36700	MA 36700
800	4000	8000	MAL 26800 •	MA 26800 ••	MAL 36800	MA 36800
900	4500	9000	MAL 26900 •	MA 26900 ••	MAL 36900	MA 36900
1000	10000	10000	MAL 261000 •	MA 261000 ••	MAL 361000	MA 361000

MH MARCO 1500 AMPERES, TENSION MAXIMA 600 V CA, 60 HZ, 250 V CD, CAPACIDAD INTERRUPTIVA ALTA (PALANCA GRIS) I-75,000

Corriente Nominal Amperes	Gama de Disparo Magnético Amperes		Dos Polos		Tres Polos	
	Baja	Alta	Int. Estándar	I-LINE	Int. Estándar	I-LINE
500	2500	5000	MHL 26500 •	MH 26500 ••	MHL 36500	MH 36500
600	3000	6000	MHL 26600 •	MH 26600 ••	MHL 36600	MH 36600
700	3500	7000	MHL 26700 •	MH 26700 ••	MHL 36700	MH 36700
800	4000	8000	MHL 26800 •	MH 26800 ••	MHL 36800	MH 36800
900	4500	9000	MHL 26900 •	MH 26900 ••	MHL 36900	MH 36900
1000	5000	10000	MHL 261000 •	MH 261000 ••	MHL 361000	MH 361000

Int. Estándar indica un interruptor en caja moldeada con zapatas en el lado de línea y carga.

I-LINE indica interruptores enchufables para montaje en tableros de distribución I-LINE.

I-LINE e I-75,000 son marcas registradas.

• Interruptores fabricados bajo orden especial.

• El número de catálogo de los interruptores I-LINE de dos polos, se completa agregando dos letras AB, AC o BC según la conexión de fases deseada.

El modelo de interruptor de 1000 A, se puede conectar en las fases siguientes:

Fases de conexión	Int. de dos polos	Int. de tres polos
A B	MA 261000 AB	---
A C	MA 261000 AC	---
B C	MA 261000 BC	---
A B C	---	MA 261000

TABLA 4.4

CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS PA.

Prefijo en el No. de Catálogo	No. de Pólos	Corriente Nominal Amperes	Capacidad Interruptiva Nominal Amperios R.M.C. Simétricos		
			Temperatura Ambiente 60 Hz		
			240 V	480 V	600 V
PAF	2	600-2050	43,000	40,000	42,000
	3	600-2030	43,000	40,000	42,000
PAF	2	600-2000	125,000	85,000	65,000
	3	600-2000	125,000	85,000	65,000

PA MÁXIMO 200 AMPERES, TENSIÓN MÁXIMA 600 V A.G., CAPACIDAD INTERRUPTIVA ALTA (PA PALANCA GRIS)

Corriente Nominal Amperes	Gama de Disparo Magnético Amperes		Dos Pólos		Tres Pólos	
	Baja	Alta	Interruptor sin Columnas	Columnas de Capacidad Juegos de dos Columnas	Interruptor sin Columnas	Columnas de Capacidad Juegos de tres Columnas
600	3200	9000	PAF 2026 ●	PA 2600 RC	PAF 2036	PA 3600 RC
700	3200	9000		PA 2700 RC		PA 3700 RC
800	3200	9000		PA 2800 RC		PA 3800 RC
1000	3500	9000		PA 3000 RC		PA 3000 RC
1200	3500	9000		PA 3100 RC		PA 3100 RC
1400	4500	9000		PA 3140 RC		PA 3140 RC
1600	5000	10000		PA 3160 RC		PA 3160 RC
1800	6500	10000		PA 3180 RC		PA 3180 RC
2000	8000	12000		PA 3200 RC		PA 3200 RC

PH MÁXIMO 200 AMPERES, TENSIÓN MÁXIMA 600 V A.G., CAPACIDAD INTERRUPTIVA ALTA (PA PALANCA GRIS) 1-75,000

Corriente Nominal Amperes	Gama de Disparo Magnético Amperes		Dos Pólos		Tres Pólos	
	Baja	Alta	Interruptor sin Columnas	Columnas de Capacidad Juegos de dos Columnas	Interruptor sin Columnas	Columnas de Capacidad Juegos de tres Columnas
600	3200	9000	PHI 2026 ●	PA 2600 RC	PHI 2036	PA 3600 RC
700	3200	9000		PA 2700 RC		PA 3700 RC
800	3200	9000		PA 2800 RC		PA 3800 RC
1000	3500	9000		PA 3000 RC		PA 3000 RC
1200	3500	9000		PA 3100 RC		PA 3100 RC
1400	4500	9000		PA 3140 RC		PA 3140 RC
1600	5000	10000		PA 3160 RC		PA 3160 RC
1800	6500	10000		PA 3180 RC		PA 3180 RC
2000	8000	12000		PA 3200 RC		PA 3200 RC

● Máximo de capacidad interruptiva en caso de falla.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte las columnas de capacidad interruptiva nominal.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte el manual de instrucciones.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte el manual de instrucciones.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte el manual de instrucciones.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte el manual de instrucciones.
 Para mayor capacidad interruptiva, consulte el manual de instrucciones.

Los interruptores PAF y PHI se utilizan sin columnas, estas deben adquirirse por separado. Ver Clase 1.8.

TABLA 4.5

CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS FA.

Prefijo en el No. de Catálogo	No. de Poles	Corriente Nominal Amperes	Capacidad Interruptiva Nominal Amperes R.M.C. Simétricos			
			Tension Corriente Alterna 50 Hz		Tension CC	
			240 V	480 V	600 V	250 V
FA-FAL	2	15-100	15,000	14,000	14,000	10,000
	3	15-100	15,000	14,000	14,000	—
FH-FHL	2	15-100	65,000	35,000	15,000	10,000
	3	15-100	65,000	35,000	15,000	—

FA MARCA DE AMPERES TENSION VOLTIA FUENTE A 50 HZ CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA NORMAL

Corriente Nominal Amperes	Punto de Disparo Magnético Amperes	Dos Poles		Tres Poles	
		Int. Estándar	I-LINE	Int. Estándar	I-LINE
15	430	FAL 26015 •	FA 26015 ••	FAL 36015	FA 36015
20	430	FAL 26020 •	FA 26020 ••	FAL 36020	FA 36020
30	430	FAL 26030 •	FA 26030 ••	FAL 36030	FA 36030
40	625	FAL 26040 •	FA 26040 ••	FAL 36040	FA 36040
50	625	FAL 26050 •	FA 26050 ••	FAL 36050	FA 36050
70	1125	FAL 26070 •	FA 26070 ••	FAL 36070	FA 36070
100	1350	FAL 26100 •	FA 26100 ••	FAL 36100	FA 36100

FH MARCA DE AMPERES TENSION VOLTIA FUENTE A 50 HZ CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA ALTA (ALANCA GRIS) 1-75 000

Corriente Nominal Amperes	Punto de Disparo Magnético Amperes	Dos Poles		Tres Poles	
		Int. Estándar	I-LINE	Int. Estándar	I-LINE
15	430	FHL 26015 •	FH 26015 ••	FHL 36015	FH 36015
20	430	FHL 26020 •	FH 26020 ••	FHL 36020	FH 36020
30	430	FHL 26030 •	FH 26030 ••	FHL 36030	FH 36030
40	625	FHL 26040 •	FH 26040 ••	FHL 36040	FH 36040
50	625	FHL 26050 •	FH 26050 ••	FHL 36050	FH 36050
70	1125	FHL 26070 •	FH 26070 ••	FHL 36070	FH 36070
100	1350	FHL 26100 •	FH 26100 ••	FHL 36100	FH 36100

Int. Estándar indica un interruptor en la mandíbula con placas en el lado de 150 x 100 mm.

I-LINE indica interruptores en el lado de para montaje en tablero de 240 mm de I-LINE.

I-LINE (I) indica interruptores en el lado de para montaje en tablero de 240 mm de I-LINE.

• Interruptores FA y FH con el punto de disparo.

• El número de catálogo de los interruptores I-LINE en tres polos se completa al añadir los dígitos AB, AC o BC según la combinación de fases usada.

Ejemplo: un interruptor en el lado de para montaje en el lado de las tres fases.

Combinación de fases	Int. de dos polos	Int. de tres polos
A-B	FA 26100 Ap	—
A-C	FA 26100 AC	—
B-C	FA 26100 Bc	—
A-B-C	—	FA 36100

CAPITULO V

ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES.

5.1 INTRODUCCION.

Aquí trataremos el proyecto eléctrico de potencia de una planta petrolífera y de bombeo de agua, localizada en el ACUEDUCTO CIEGUE PRIMAVERA-CULIACAN, SINALOA, denominada PB-1. Esta planta consta de 7 transformadores de potencia de 2 000 KVA. 34.5/4.15 KV., cada transformador alimenta a 5 motores de 400 C.F. cada uno y con 1 de reserva.

Para el cálculo de corto circuito se considera que operaran 4 motores. Para el análisis subsiguiente de este ejemplo, se considerara solo una sección de todo el diagrama unifilar de la planta, fig.5.1.

5.2 PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA.

a) PARAMETROS DEL SISTEMA C.F.E.

Datos de contribucion del sistema en 230 KV.

1.- Contribucion del sistema actual: 150 MVA.

b) TRANSFORMADORES PRINCIPALES.

1.- Marca: IEM o similar.

2.- Capacidad: 2 000 KVA.

3.- Sistema de enfriamiento según norma ANSI: OA en aceite.

4.- Tensiones nominales = 34.5/4.15 KV.

5.- Nivel básico de impulso: 200 KV. en alta.
75 KV. en baja.

6.- Clase de aislamiento: 34.5 KV. en alta.
5.0 KV. en baja.

- 7.- No. de fases = trifásico.
 - 8.- Frecuencia = 60 Hz.
 - 9.- Elevación de temperatura = 55°C a plena carga.
 - 10.- Altura de operación = 45 M.S.N.M.
 - 11.- % de impedancia = 5.75 %.
- c) MOTORES DE LAS MOTOBOMBAS DE 400 D.P.
- 1.- Marca: IEM.
 - 2.- Capacidad: 400 D.P.
 - 3.- Tensión nominal: 4.16 KV.
 - 4.- Corriente nominal = 57.51 A.
 - 5.- No. de fases = 3.
 - 6.- Frecuencia = 60 Hz.
 - 7.- Velocidad: 1 500 R.P.M.
 - 8.- Tensión mínima de arranque: 70% tensión nominal.

d) DISTANCIAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES.

- 1.- Transformador 2 000 KVA. al tablero blindado de 4.16 KV.
 - Distancia en FB-1 = 100 metros.
 - Calibre 4/0 MCM.
 - No. de cables por fase = 1.
- 2.- Tablero blindado a motores de 4.16 KV.
 - Distancia = 23 metros.
 - Calibre = 4.
 - No. de cables por fase = 1.

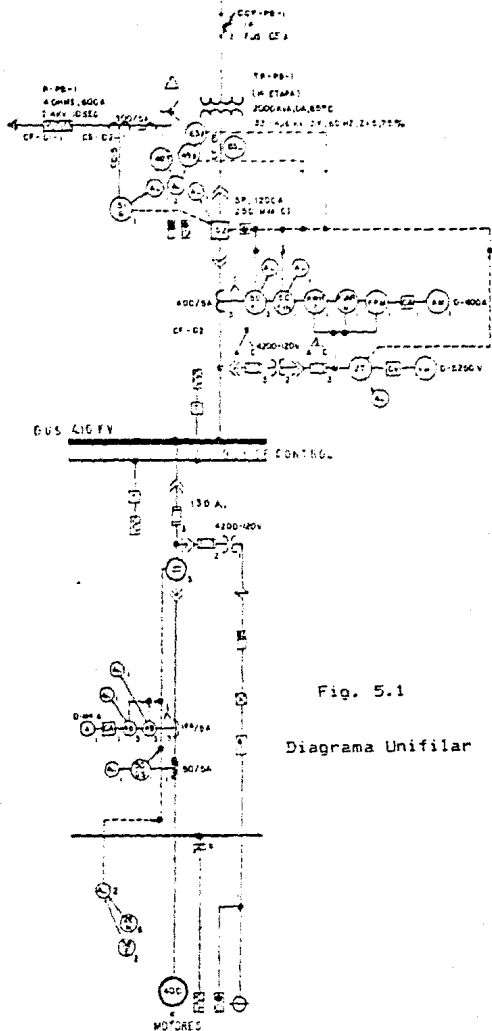


Fig. 5.1

Diagrama Unifilar

5.3 CALCULO DE CORTO CIRCUITO.

Las tablas 5.1 y 5.2, se refieren a las reactancias y resistencias de equipos y cables del sistema, referidas a una base de 2 000 KVA., respectivamente. Para convertir los valores en por unidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$O/U = \frac{OHME \times KVA. BASE}{737.2 \times 10^6}$$

Las figs. 5.2, 5.3 y 5.4, muestran el proceso de simplificación para hallar la reactancias equivalentes que se utilizarán para calcular las corrientes de corto circuito.

TABLA 5.1
REACTANCIAS Y RESISTENCIAS DE EQUIPOS.

BASE: 2 000 KVA.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD C.P. KVA.	IND. 1 2	X P.U.	R P.U.
1	Contribución del sistema	150 000		0.0133	
TR-FB-1	Transformador 34.5/6.15 KV.	2 000	5.75	0.0575	
M-1	Motor Escudo	400	300	0.5014	1.111

M-1a M-2a M-3a M-4a M-5a

$$400 \times 746$$

$$KVA_{MOTOR} = \frac{\quad}{0.50} = 760 \text{ KVA.}$$

$$= 2 000 \text{ KVA.}$$

$$X_{P.U.} = \frac{\quad}{300 \text{ KVA.}} \times 0.5 = 1.111$$

X² d = 0.20 para motores de 400 C.P.

$$\frac{1 \text{ KVA BASE}}{\quad}$$

$$X_{TRANSF.} = \frac{\quad}{KVA \text{ DEL TRANSF.}} \times 2 \text{ P.U.}$$

TABLA 5.2

PROYECTO PIANTA PB - 1

ACUEDUCTO DICUE PRIMAVERA-CULIAN, SINALOA.

CA LE	CONDS. X FASE	CALIBRE AWG ϕ MCM	OHMS / KM		LONGITUD MTS.	O H M S		R %/1	X %/1
			R	X		R	X		
ACOMETI- DA	1	3/0		0.4264	5		2.132×10^{-3}		2.184×10^{-6}
CIRCUITO DE FZA. Alimentador	1	400	0.12	0.110	100	0.012	0.0110	0.00130	0.00136
CIRCUITO DE FZA. Motores	1	4	1.0	0.10	20	0.02	0.0036	0.0023	0.0200

REACTANCIAS Y RESISTENCIAS DE CABLES

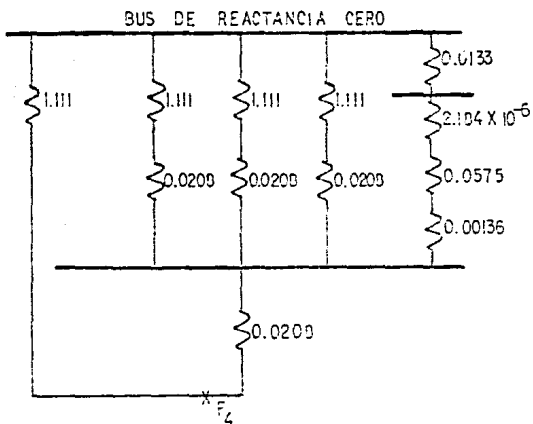
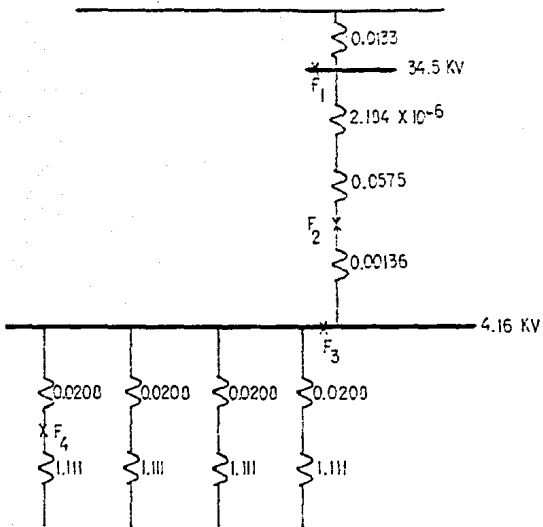
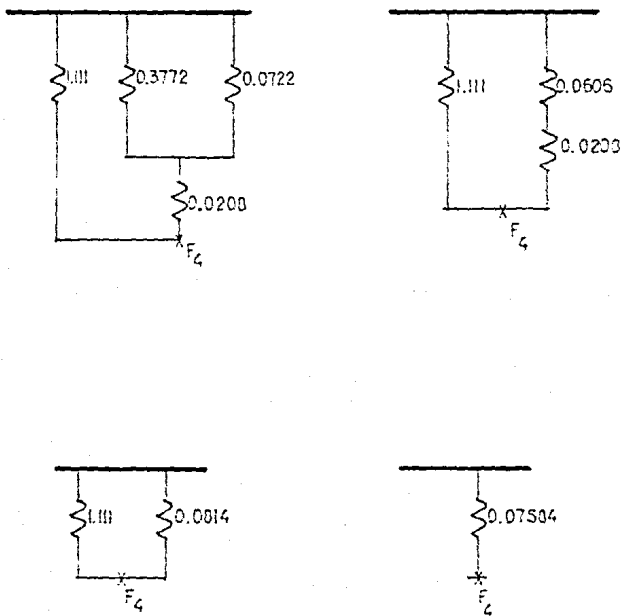


Fig. 5.2 Diagrama de reactancias.



$$I_{ccF_4} = \frac{2000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 4.16 \text{KV} \times 0.07504} = 3660.079 \text{ AMP}$$

Fig. 5.3 Determinación de la corriente de corto circuito en el punto F_4 .

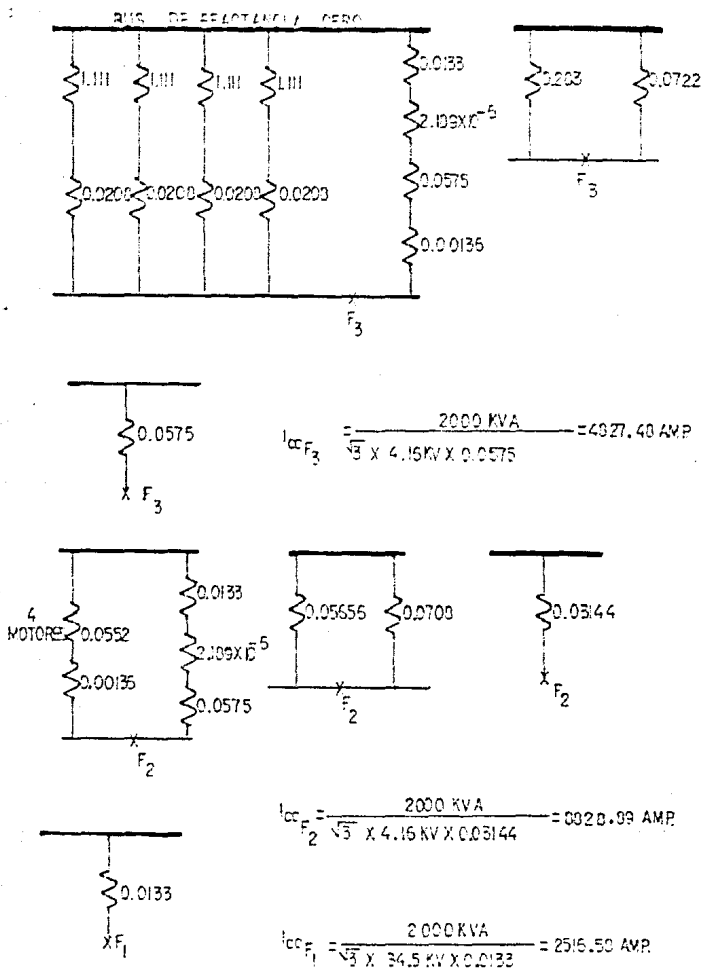


Fig. 5.4 Determinación de las corrientes de corto circuito en los puntos F_1 , F_2 y F_3 .

5.4 SELECCION Y AJUSTE DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION.

5.4.1 FUSIBLE EN EL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA TR-P2-1.

$$I_{prim.} = \frac{PVA}{\sqrt{3} \cdot VV} = \frac{2000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 34.5 \text{ KV}} = 33.86 \text{ A.}$$

$I_{prim.}$ = Corriente del primario a plena carga.
r.c.

Del boletín del Instituto de Investigaciones Electricas (IIE), Nov. 1981, cuadro No. 7, recomienda para el primario del transformador de 600 V. un fusible con capacidad de 3 veces la corriente nominal como máximo.

Protección de sobrecorriente tipo anterior de acuerdo al NEC, Art. 450, 1990.

$$= \text{Primario NEC O.C.} = 3 \times 33.86 = 101.58 \text{ A.}$$

Seleccionando la capacidad del fusible al 150% de $I_{prim.}$ y de la gráfica de fusibles, se selecciona el 5SE, 5M-A de 7.2 a 34.5 V.

5.4.2 AJUSTE DE LOS RELEVADORES 50/51 Y 50/51N EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA TR-P2-1.

Unidad de tiempo 51.

$$I_{sec.} = \frac{PVA}{\sqrt{3} \cdot VV} = \frac{2000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 4.16 \text{ KV}} = 277.57 \text{ A.}$$

$I_{sec.}$ = Corriente del secundario a plena carga.
r.c.

Considerando que el transformador puede proporcionar una

corriente máxima de 115% de su corriente nominal, debido al enfriamiento CP y aislamiento a 65°C, se tiene:

$$I_{\text{sec.}} \times 1.15 = 277.57 \text{ A.} \times 1.15 = 319.2 \text{ A.} = I_{\text{sec. MAX. TRANSF.}} \\ \text{P.C.}$$

De la tabla de transformadores de corriente y IEEE Std. 242.1975 se elige una relación de 400/5 A.

Relación de transformación = RTD = 80.

$$\text{TAP DE} \\ \text{CORRIENTE} = \frac{I_{\text{sec. MAX. TRANSF.}}}{\text{RTD} \times \text{TAP}} = \frac{319.2}{80} = 3.99$$

Se selecciona el TAP = 4.

$$\text{MULTIPLD} = \frac{I_{\text{cc trif.}}}{\text{RTD} \times \text{TAP}} = \frac{4827.48}{80 \times 4} = 15.$$

I_{cc trif.} = Corriente de corto circuito trifásico.

De la curva del releveador tipo CD-11, marca WESTINGHOUSE y dejando un tiempo de 1.5 seg. sobre la curva del fusible del motor a la curva del releveador, se elige un dial = 4.

TAP = 4.

DIAL = 4.

UNIDAD INSTANTÁNEA 50.

TAP de corriente instantánea.

I_{cc trif.} 50S "A" = 4 827.48 A. simétricos.

$$\text{Ajuste} = \frac{I_{\text{cc trif.}}}{\text{RTD}} = \frac{4 \ 827.48 \ \text{A.}}{80} = 50.74$$

Se selecciona el TAP 50 instantáneo.

AJUSTE DEL SON.

$$\text{Ajuste} = \frac{I_{sc} \times 2305.8 \text{ A.}}{RTD} = \frac{80}{2305.8} = 28.82$$

I_{sc} = Corriente de corto circuito a tierra.

Se selecciona el TAP 19 unidad instantánea.

AJUSTE DEL SIG.

$$\text{Voltage al neutro} = \frac{6.12 \text{ KV}}{3} = 2.400 \text{ V.}$$

De la IEEE Std. 141-1976, pág. 241, recomienda una resistencia limitadora de corriente menor de 5 Ohms para pequeñas subestaciones.

Limitando la corriente a 600 A.

$$\frac{2.400 \text{ V.}}{600 \text{ A.}} = 4 \text{ Ohms.}$$

Se toma el 50% de la corriente de 600 A. para elegir el transformador de corriente:

$$RTD = \frac{300 \text{ A.}}{5} = 60.$$

5.4.3 SELECCION DEL FUSIBLE DEL MOTOR.

$$I_{\text{NOM. MOTOR}} = \frac{\text{C.P.} \times \text{KW}}{\sqrt{3} \times \text{KV} \times \text{F.P.} \times E_f}$$

$$I_{\text{NOM. MOTOR}} = \frac{400 \text{ C.P.} \times 0.746}{\sqrt{3} \times 4.16 \text{ KV.} \times 0.8 \times 0.9} = 57.51 \text{ A.}$$

E_f = Eficiencia.

F.P. = Factor de potencia.

Del boletín IIE, Nov. 1991, para seleccionar la capacidad del fusible recomienda una gama del 150% al 400% de la corriente a plena carga.

Aquí se elige el 250% de $I_{\text{NOM. MOTOR}}$.

$$2.5 \times 57.51 \text{ A.} = 142.5 \text{ A.}$$

Por lo tanto, se selecciona el fusible limitador de corriente de 170 A.

5.4.4 PROTECCION TERMICA DE SOBRECARGA DEL MOTOR (49).

Del boletín IIE Nov.-1991, recomienda que el ajuste de corriente de disparo sea del 115% al 125% de la corriente a plena carga.

Selección del TD.

$$I_{\text{sobrecarga}} = 66.14 \text{ A.}$$


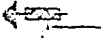




















$$\text{Por lo tanto, se selecciona un RTD} = \frac{100}{3} = 30.$$

Ajuste del 49.

Tomando el 120% de $I_{\text{NOM. MOTOR}}$.

$$\text{Ajuste} = 1.2 \times 57.51 \text{ A.} = 69 \text{ A.}$$

SIMBOLOS

	TRANSFORMADOR DE POTENCIA o DISTRIBUCION
	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA INDICA CANTIDAD
	INTERRUPTOR DE POTENCIA EN VACIO INDICA CANTIDAD
	CONEXION DELTA
	CONEXION ESTRELLA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO BARRA CANTIDAD RELACION DE TRANSFORMACION
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DONA CANTIDAD RELACION DE TRANSFORMACION
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO BUSHING CANTIDAD
	MOTOR DE INDUCCION JALIA DE APOLLIA CON LA CAPACIDAD INDICADA EN CV
	RELEVADOR DE TEMPERATURA DE DEVANADOS
	RELEVADOR DE PRESION SUBITA
	RELEVADOR DE TEMPERATURA DEL ACEITE
	RELEVADOR DE BAJO NIVEL DE ACEITE
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE A TIERRA INSTANTANEO
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE ENTRE FASES INSTANTANEO Y CON TIEMPO DEFERIDO
	RELEVADOR DE BAJA TENSION
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE FASE A TIERRA INSTANTANEO Y CON TIEMPO DEFERIDO
	RELEVADOR DE SECUENCIA INVERSA DE FASES o INCOMPLETA
	RELEVADOR DE SOBRECARGA
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE A TIERRA DE TIEMPO DEFERIDO
	DETECTOR DE TEMPERATURA EN LOS DEVANADOS DEL MOTOR (RTD)
	DETECTOR DE TEMPERATURA EN LAS CHUMACERAS DEL MOTOR (RTD)

SIMBOLOS (CONTINUACION).

	KILOWATTMETRO CON INDICADOR DE DEMANDA MAXIMA
	KILOVARMETRO
	MEDIDOR DEL FACTOR DE POTENCIA
	AMPERMETRO
	VOLMETRO
	ALARMA

	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
	AMPÈRES DE CIPARO
	AMPÈRES DE MIPCO

	RELACION DE TRANSFORMACION - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
--	------------------------------------------------------------

	RESISTENCIA CALEFACTORA
--	-------------------------

	RESISTENCIA CALEFACTORA CONTROLADA POR TERMOSTATO
--	---------------------------------------------------

	ELEMENTO REMOVIBLE o ENCHUFABLE
--	---------------------------------

	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO (NC) o (S)
--	-----------------------------------------

	CONMUTADOR PARA EL VOLMETRO
--	-----------------------------

	CONMUTADOR PARA EL AMPERMETRO
--	-------------------------------

	BOBINA DEL ANILCADOR
--	----------------------

	SELECTOR LOCAL - FUERA - REMOTO
--	---------------------------------

	INTERRUPTOR DE NIVEL
--	----------------------

	ESPACIO DE BOTONES
--	--------------------

	LUCE PILOTO VERDE-ROJO
--	------------------------

P B	PLANTA DE BOMBEO
-----	------------------

C F	CIRCUITO DE FUERZA
-----	--------------------

	ANILCADOR A TENSION REDUCIDA CON FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE
	FUSIBLE DE ALTA CAPACIDAD INTERRUPTIVA
	CONTACTOR EN VACIO

5.5 COORDINACION EN HOJA LOG-LOG.

LOCALIZACION DE LOS PUNTOS ANSI E INFAUSH.

Estos valores fueron calculados anteriormente y trazados directamente en la hoja log-log. La curva A debe estar trazada siempre a la izquierda del punto ANSI así quedando siempre protegido el transformador contra daños por corto circuito.

LOCALIZACION DE LOS PUNTOS MINIMO Y MAXIMO DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR.

Se toma el 250% y 600% de la corriente nominal del secundario del transformador, respectivamente.

Se traza una línea vertical directamente en la hoja log-log con el valor de la corriente de corto circuito simétrica.

Se traza la corriente nominal del motor y el 115% de esta hasta 1000 seg. Se traza la corriente de arranque del motor terminando en 10 seg.

TRAZADO DE LA CURVA A.

Conociendo la corriente del primario del transformador TR-PB-1, se eligió un fusible de 65 A. nominales. Se utilizó el factor para pasar la curva en la tensión de 4.15 kV.; se eligió el valor de la corriente donde inicia el fusible, esta corriente es multiplicada por el factor, siendo el valor final de esta corriente el inicio del trazo de la curva del fusible en 4.15 kV.

TRAZADO DE LA CURVA E.

Para trazar la curva se hace coincidir el 1 de la curva del relevador tipo CD-11, Westinghouse con 300 A. = 10 sec. en la hoja log-log.

Parte instantánea.- Se traza esta curva un poco antes de la corriente de corto circuito trifásica simétrica.

TRAZADO DE LA CURVA C.

Conociendo la corriente nominal del motor, se elige un fusible de 100 A. haciendo coincidir directamente con la hoja log-log se traza la curva.

TRAZADO DE LA CURVA D.

Se inicia el trazado en 115% de la corriente nominal del motor en la parte superior de la hoja log-log, cortándose en la curva C del fusible.

Todas las curvas se trazan tomando en cuenta un tiempo de 0.3 a 0.4 seg. recomendado por NEC e IEEE para evitar el traslape de las curvas y mejorar la coordinación selectiva. Sin embargo en algunos casos es necesario especificar cierto traslape por condiciones de operación del sistema.

Para las curvas A, C, se traza el máximo total clearing y el mínimo melting. Para la curva D, se traza el máximo y mínimo y se achura para una mejor visualización de la coordinación, fig. 5.14.

En seguida se abren curvas de fusibles y relevadores empleados en este estudio.

La fig. 5.3 muestra la curva característica tiempo-corriente del relevador de sobrecorriente tipo CR-11, extremadamente inverso y la tabla 5.7 de los valores de energía que recibe.

La fig. 5.4 es una gráfica de corriente-calibre de cables de energía en las condiciones de instalación mostradas.

La fig. 5.7 se refiere a las corrientes de corto circuito permitibles en conductores de cobre.

La fig. 5.8 muestra la reactancia y resistencia inductiva aparentes en cables en Ohm/mi en las condiciones de instalación.

La fig. 5.9 se refiere a la curva de un relevador térmico de sobrecorriente, tipo SR 174-40.

Las figs. 5.10 y 5.11 son curvas características de fusibles SR de mínimo tiempo de fusión y tiempo total de clearance, respectivamente.

Las figs. 5.12 y 5.13 son curvas de fusibles de potencia limitadores de corriente para arrancadores de motor, mínima fusión y máximo total de clearance, respectivamente.

TABLA 5.3

REQUERIMIENTOS DE ENERGIA PARA EL RELEVADOR TIPO CO-11
EXTREMADAMENTE INVERSO.

AMPERE RANGE	TAP	CONTINUOUS RATING (AMPERES)	ONE SECOND RATING (AMPERES)	POWER FACTOR ANGLE ϕ	VOLT AMPERES**			
					AT TAP VALUE CURRENT	AT 3 TIMES TAP VALUE CURRENT	AT 10 TIMES TAP VALUE CURRENT	AT 20 TIMES TAP VALUE CURRENT
0.5/2.5	0.5	1.7	56	36	0.72	6.54	71.8	250
	0.6	1.9	56	34	0.75	6.80	75.0	267
	0.8	2.2	56	30	0.81	7.16	84.0	298
	1.0	2.5	56	27	0.89	8.30	93.1	330
	1.5	3.0	56	22	1.13	10.04	115.5	411
	2.0	3.5	56	17	1.30	11.95	136.3	502
	2.5	3.8	56	16	1.48	13.95	160.0	510
1/12	1.0	3.5	56	30	0.32	7.4	82	300
	1.2	4.0	56	29	0.30	8.0	87	324
	1.5	5.5	56	26	0.97	8.6	93	350
	2.0	8.5	56	25	1.00	8.9	96	380
	2.5	10.0	56	24	1.10	9.0	96	377
	3.0	12.5	230	33	0.87	8.0	88	340
	3.5	14.0	230	31	0.88	8.2	88	340
	4.0	15.0	230	29	0.94	8.7	96	366
	5.0	17.0	230	25	1.10	10.0	110	435
	6.0	18.5	460	22	1.25	11.5	120	478
	7.0	20.0	460	20	1.40	12.3	135	560
	8.0	21.5	460	19	1.50	14.0	160	648
10.0	25.0	460	14	1.9	18.3	210	900	
12.0	28.0	460	10	2.4	23.8	276	1200	

Thermal capacities for short times other than one second may be calculated on the basis of time being inversely proportional to the square of the current.

⊙ Degrees current lags voltage at tap value current.

** Voltages taken with Rectox type voltmeter.

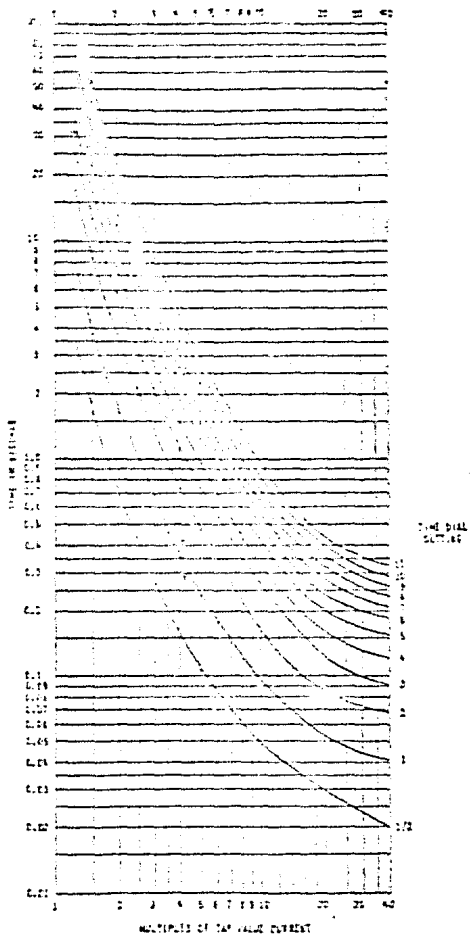


Fig. 5.8 Curvas típicas de tiempo del relé tipo CD-11.

CORRIENTE EN CABLES DE ENERGIA VULCANEL EP Y XLP, 5, 15, 25, 35 KV
EN DUCTOS SUBTERRANEOS Y PANTALLAS A TIERRA

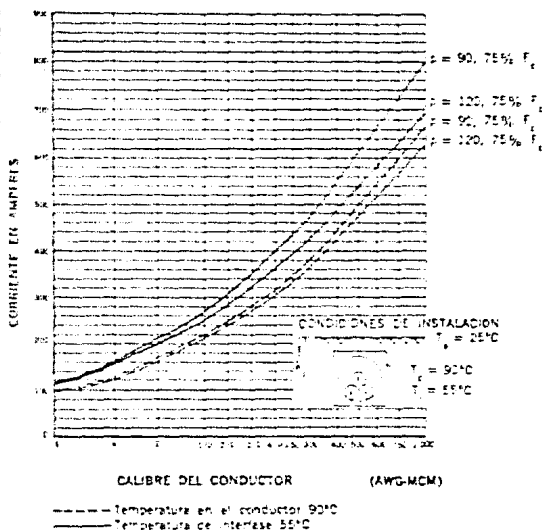


Fig. 5.6 Gráfica de cables de energía.

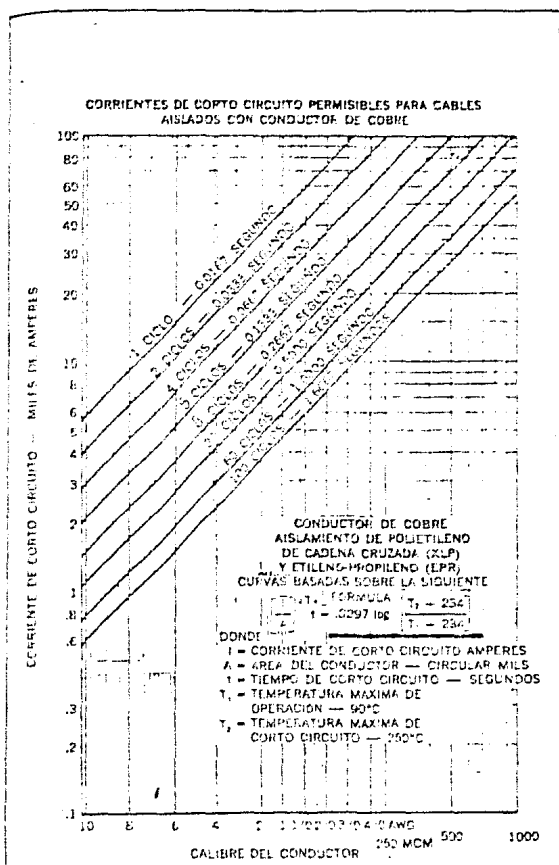


Fig. 5.7 Gráfica de corrientes de corto circuito para cables.

RESISTENCIA Y REACTANCIA INDUCTIVA APARENTES EN CABLES VULCANIZADOS EP Y XLPE Y 5 Y 15 KV CON PLOMOS A TIERRA INSTALADOS EN CHANQUAS, DUCTOS SUBTERRANEOS O DIRECTAMENTE ENTERRADOS

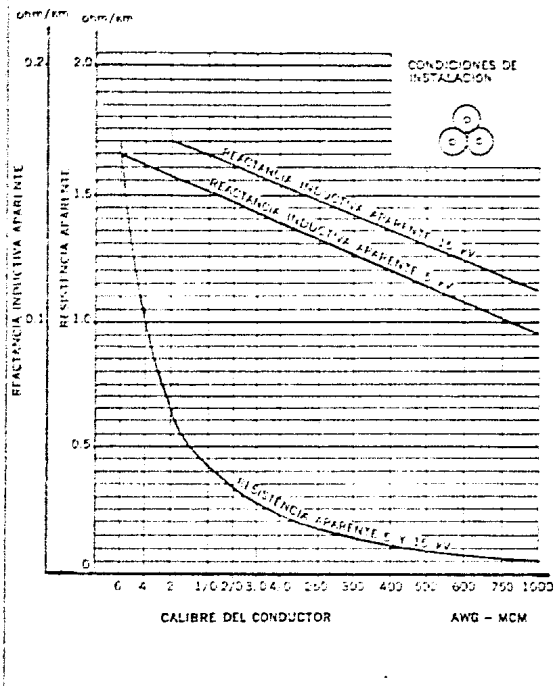


Fig. 5.8 Gráfica de resistencia y reactancia inductiva aparentes en cables.

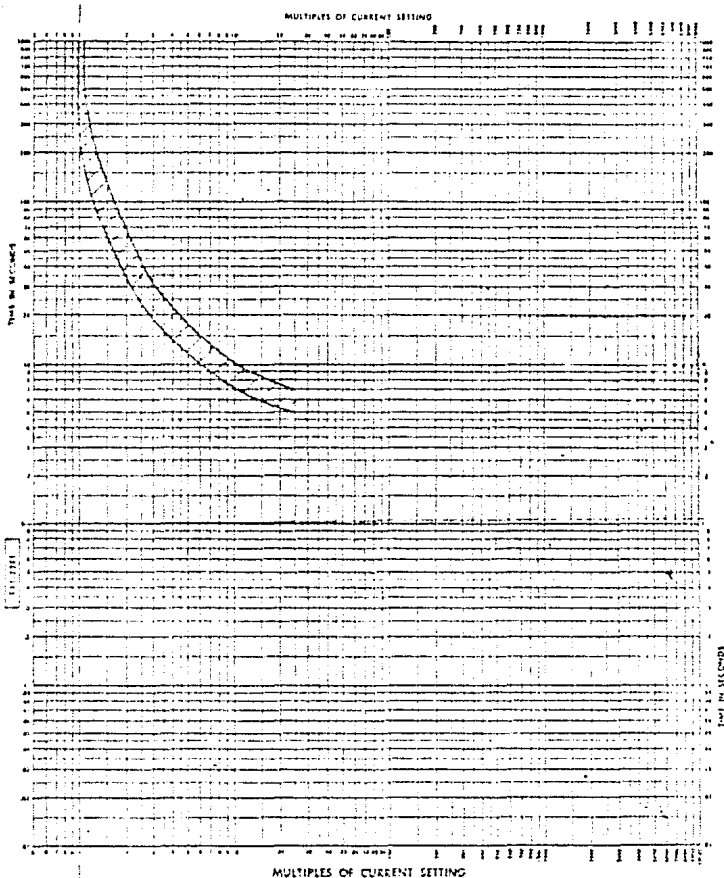


Fig. 5.9 Curva del relevador térmico de sobrecarga.

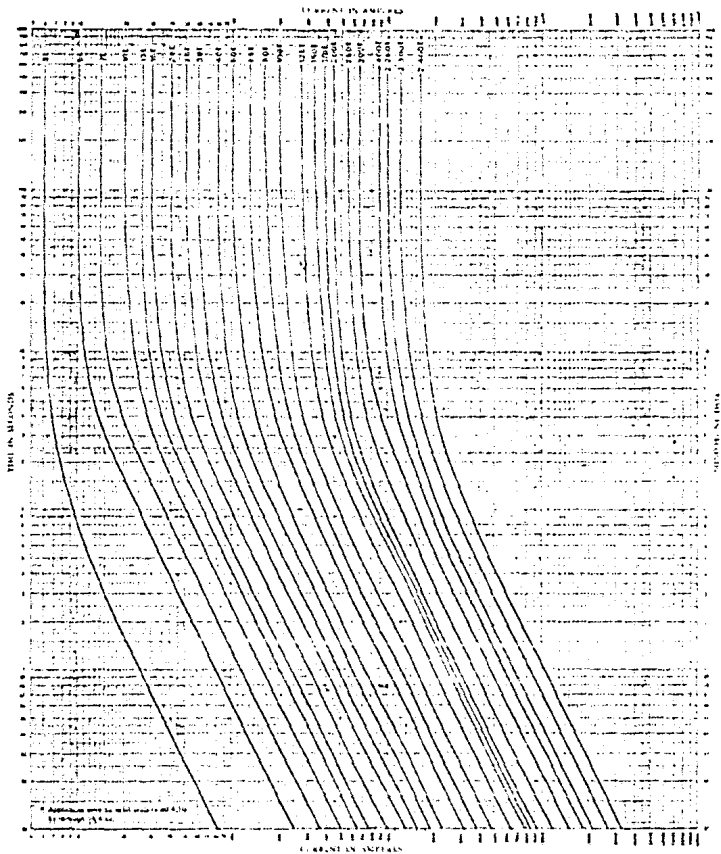


Fig. 5.10 Curvas características tiempo-corriente de mínima fusión de fusibles SM.

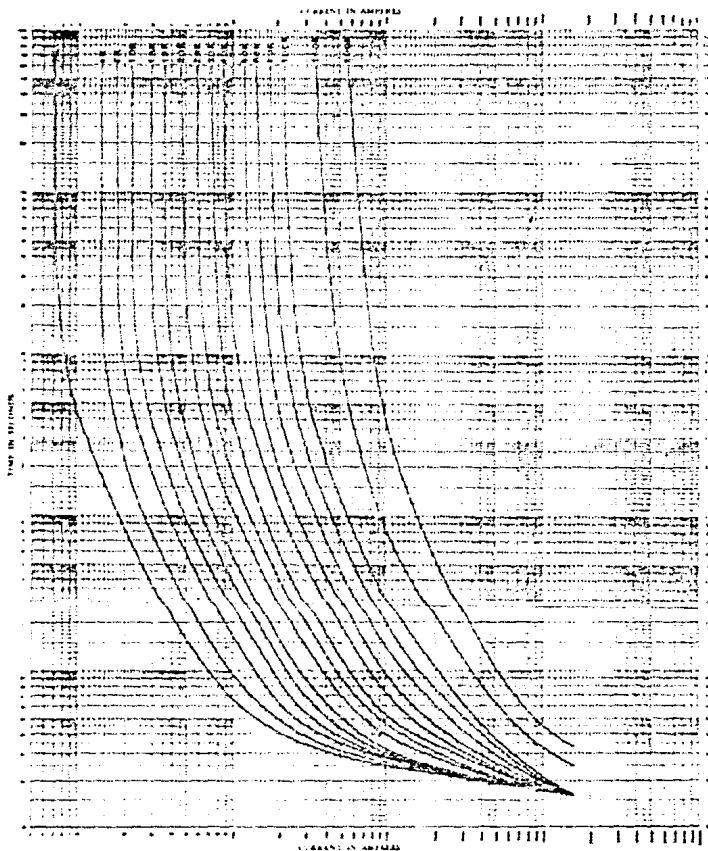


Fig. 5.11 Curvas características tiempo-corriente de máximo total de claro de los fusibles SMJ y K rápidos.

CURRENT IN AMPERES

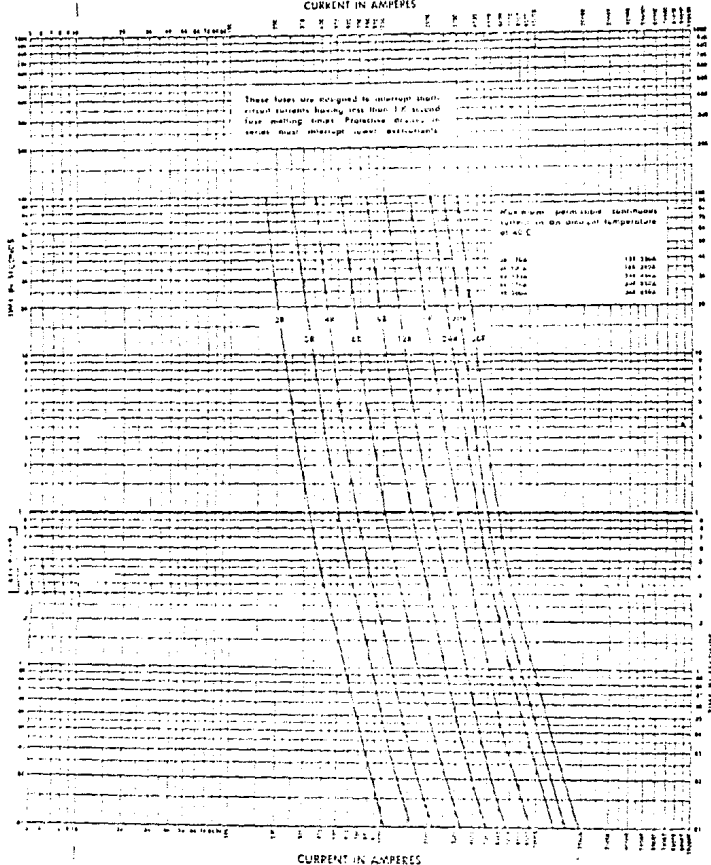


Fig. 5.12 Curvas de fusibles limitadoras de corriente de mínima fusión.

CURRENT IN AMPERES

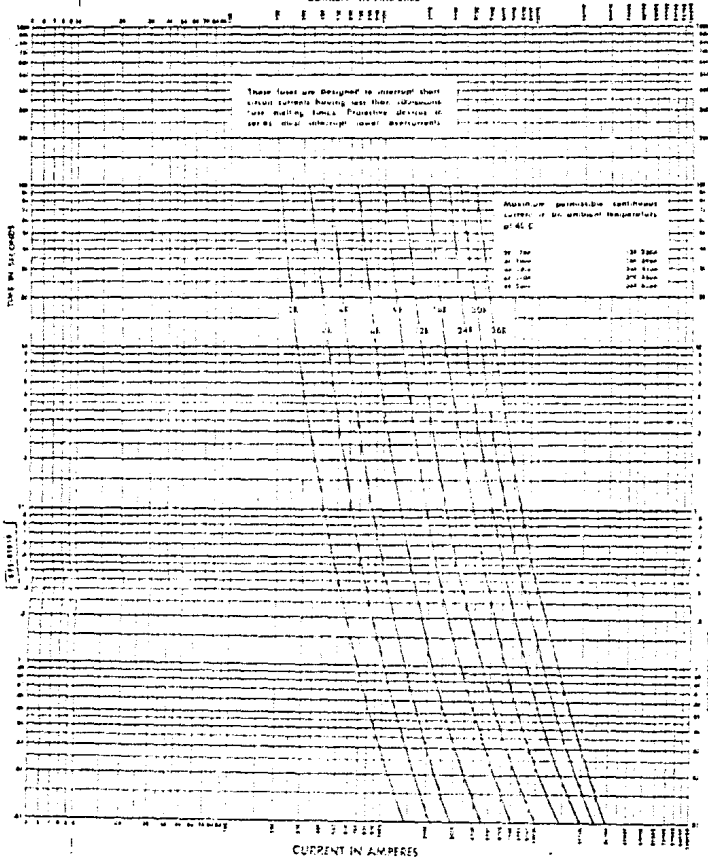
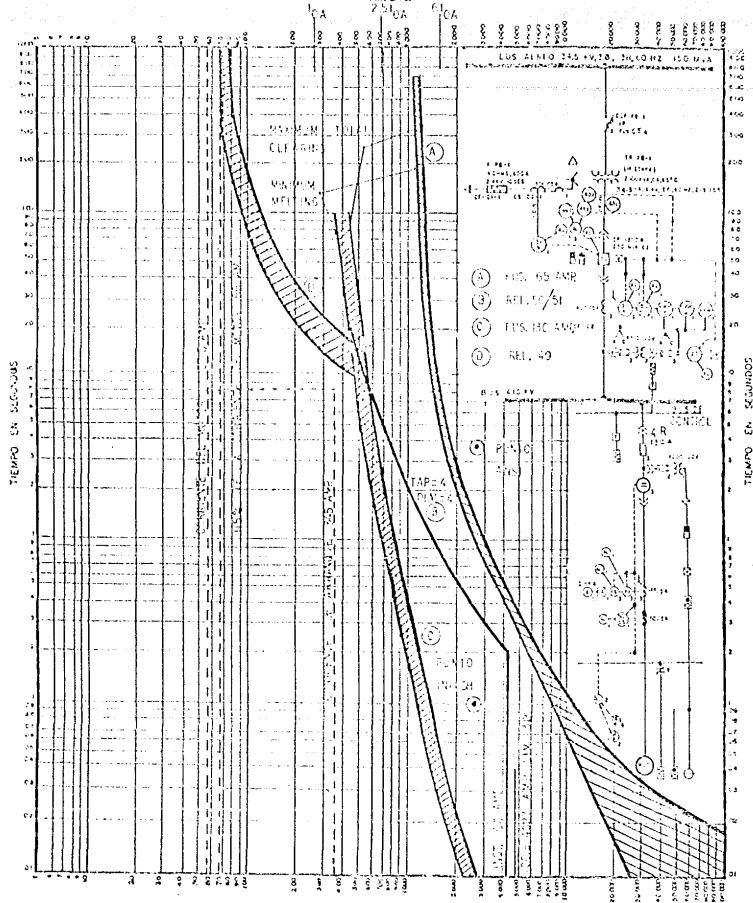


Fig. 5.13 Curvas de fusibles limitadores de corrientes para operacion en maximo total de claros.

CORRIENTE EN AMPERES EN LOS EJES.



CORRIENTE EN AMPERES EN VOLTS.
PARA 240 V. - FASES - 3 - 3 - 3

FIG. 5.14

<p>TESIS PROFESIONAL NORMATIVIDAD SELECTIVA DE LAS PROTECCIONES EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS.</p>	
<p>GRAFICA DE COORDINACION DE PROTECCIONES.</p>	
<p>Elabora:</p>	<p>Aprobó:</p>
<p>Rubio A.M.A. Ing. Luis López O. Vita N.M.</p>	

CONCLUSIONES.

Las experiencias que hemos tenido en la realización de esta tesis, nos ha sido de gran utilidad para tener un punto de vista más amplio y completo de cómo está constituido un sistema eléctrico de tipo industrial y a la vez su interacción principalmente al presentarse fallas de corto circuito.

En el estudio referido para una correcta selección de equipo eléctrico, tal como interruptores de potencia, tanto en alta como en baja tensión, transformadores de corriente y potencial, fusibles, etc., se requiere de un conjunto de cálculos, siendo el estudio de análisis de cargas y el de corto circuito lo que nos representa las características reales del sistema, siendo esto el punto más importante para la correcta selección de los diferentes dispositivos de protección, así como la adecuada coordinación de los mismos, lo que trae como consecuencia una buena seguridad para proteger al equipo instalado y al personal de operación.

Estamos seguros que nos fué de gran utilidad como una disciplina en la comunicación escrita con los diversos profesionales del ramo; hemos aprendido a tener un orden en la realización de este tipo de trabajo.

Es recomendable que esta tesis se encuentre accesible al estudiante de Ingeniería Eléctrica por sus múltiples ventajas prácticas que muestra, así como su lectura amena.

REFERENCIAS.

- 1.- IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std. 242-1975.
- 2.- IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution Systems. IEEE Std. 141-1976.
- 3.- American National Standard. General Requirements for Distribution, Power and Regulating Transformers. C 37.2.90-1975.
- 4.- American National Standard Relays & Relays Systems Associated with Electric Power Apparatus. C37.90-1971.
- 5.- American National Standard Definitions for Power Switchgear. C37.100-1972.
- 6.- IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std. 241-1976.
- 7.- D.K. Basco, El Arte y la Ciencia de la Protección por sobrecorrientes, Mexico, CECOS, 1979.
- 8.- NFIE - 1980.
- 9.- Manual Técnico de cables de energía CONQUEET. Segunda edición.
- 10.- Irwin Lazen. Analisis y Diseño de Sistemas Electricos para Plantas Industriales. Mexico, LIMUSA.

- 11.- Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Nov. 1981.
- 12.- NEC de 1990. National Electric Code..
- 13.- U.L. Underwriter Laboratories. 198.2, 198.3, incorporadas
dentro de las normas ANSI, 74-1.1972.
- 14.- ANSI C 37.2-1970.
- 15.- NOM J-284-1988.