CIB
D-6620

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

" COORDINACION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION EN UN SISTEMA INDUSTRIAL"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION: POTENCIA

PRESENTADA POR:

CARLOS E. MONAR T.

GUAYAQUIL - ECUADOR

1983

621.31924

AGRADECIMIENTO

- AL ING. JORGE CHIRIBOGA V.- DIRECTOR DE TESIS, Y A TODAS - AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA, COLABORARON EN LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO.-

.....

DEDICATORIA

- A MIS PADRES

- A MIS HERMANOS

ING. JORGE CHIRIBOGA VASCONEZ

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

CARLOS E. MONAR T.

R E S U M E N

En el primer capítulo se describe la importancia de la coordinación de los elementos de protección y sus limitaciones; se describe también las normas de la selección de los equipos de protección para sus aplicaciones y el mantenimiento de los mismos.

En el capítulo segundo se describe sobre las fallas - que ocurren en una planta industrial y los efectos que causa a los elementos eléctricos de la planta; se destaca también la manera de proteger a los elementos para estas anormalidades.

Desde el capítulo tercero, hasta el capítulo quinto, inclusive, se describe principalmente las características de funcionamiento de los elementos de protección que forman parte del circuito de fuerza; seleccionando a los de mayor uso en nuestro medio y a los más estandar; también se describe la forma de emplearlos de manera - más conveniente desde el punto de vista técnico - económico.

En el capítulo sexto se realiza el calculo digital de

las corrientes de cortocircuito y la utilización de los resultados para la coordinación de los elementos de protección; además consta también de las conclusiones y recomendaciones.

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN ----------	VI
INDICE GENERAL ----------	VIII
INDICE DE FIGURAS ----------	XIII
INDICE DE TABLAS ----------	XVI
INTRODUCCION ----------	18
CAPITULO I	
CONSIDERACIONES PARA LA PROTECCION INDUSTRIAL -------	20
1.1. DEFINICION ----------	20
1.2. OBJETIVO ----------	22
1.3. LIMITACIONES PRACTICAS DE LAS PROTECCIONES----------	26
1.4. IMPORTANCIA DE LA COORDINACION ----------	27
1.5. METODO PASO A PASO PARA HACER UNA COORDINACION -----	28
1.6. CODIGO ELECTRICO NACIONAL(NEC) Y LOS COMPONENTES DE PROTECCION ----------	30
1.7. SELECCION DE EQUIPOS DE PROTECCION Y ESPECIFICACION ----------	33
1.8. APLICACION DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION --------	36
1.9. PRUEBAS Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE PROTECCION	38

PAGS.

1.10. CONSIDERACIONES SOBRE LOS TIEMPOS DE DESCONEXION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION------ 56

CAPITULO II

FALLAS EN PLANTAS INDUSTRIALES ---------- 58

2.1. CAUSAS DE FALLAS ---------- 58

2.2. TIPOS DE FALLAS ---------- 59

2.3. OBJETIVO DEL CALCULO DE LAS CORRIENTES DE FALLAS ---------- 60

2.4. ESTADISTICAS DE FALLAS ---------- 62

2.5. FUENTES DE LAS CORRIENTES DE FALLAS ------- 64

2.6. OPERACIONES BAJO CONDICIONES DE FALLAS ---- 69

2.7. LIMITACIONES DE LAS CORRIENTES DE FALLA---- 76

2.8. DESPEJE TEMPORAL DE FALLAS ---------- 82

2.9. DESPEJE PERMANENTE DE FALLAS ---------- 84

2.10.EFECTOS DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO- 86

CAPITULO III

FUSIBLES ---------- 89

3.1. PROTECCION CON FUSIBLES ---------- 89

3.2. TIPOS DE FUSIBLES Y COMPARACION ---------- 90

3.3. SIMBOLOS; MARCA Y CLASE DE FUSIBLES ------- 94

3.4. FUSIBLES PARA BAJA Y ALTA TENSION --------- 96

3.5. ESTANDAR DE LOS ELEMENTOS FUSIBLES -------- 101

3.6. FUSIBLES DE POTENCIA ---------- 104

PAGS

3.7. FUSIBLES DE POTENCIA TIPO EXPULSION------- 107

3.8. FUSIBLES DE POTENCIA LIMITADORES DE CORRIENTE ---------- 108

3.9. NORMAS PARA LA MARCACION DE PLACAS DE LOS FUSIBLES ---------- 110

3.10. CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE ---------- 112

3.11. RELACION ENTRE LA CORRIENTE NOMINAL Y DE CORTOCIRCUITO DEL FUSIBLE ---------- 114

3.12. TIEMPO DE FUSION DEL FUSIBLE ---------- 116

3.13. PODER DE RUPTURA DE LOS FUSIBLES --------- 117

3.14. FUSIBLES DE ALTO PODER DE RUPTURA -------- 118

3.15. CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES --- 119

3.16. TABLAS DE COORDINACION CON FUSIBLES ------ 120

3.17. APLICACIONES DE LOS FUSIBLES ---------- 137

3.18. COORDINACION SELECTIVA DE LOS FUSIBLES --- 138

CAPITULO IV

INTERRUPTORES ---------- 144

4.1. PROTECCION CON INTERRUPTORES ---------- 144

4.2. OBJETIVO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES ---------- 145

4.3. INTERRUPTORES DE BAJA Y ALTA TENSION ----- 146

4.4. CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES ----- 149

4.5. VELOCIDAD DE ACTUACION DE LOS INTERRUPTORES 158

4.6. INTERRUPTORES DE GRAN CAPACIDAD ---------- 162

PAGS.

4.7. INTERRUPTORES DE POTENCIA LIMITADORES DE CORRIENTE ---------- 165

4.8. SELECCION DE INTERRUPTORES PARA SISTEMAS ESPECIALES ---------- 166

4.9. BREAKERS EN CASCADA PARA BAJA TENSION ---- 173

4.10. SELECCION DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES PARA BAJA TENSION ---------- 176

4.11. MAGNITUD DE INTERRUPCION ---------- 179

4.12. TABLAS DE DATOS DE LOS INTERRUPTORES--------- 180

4.13. PRUEBAS DE INTERRUPTORES ---------- 184

4.14. APLICACION DE LOS INTERRUPTORES ---------- 188

CAPITULO V

RECONECTADORES ---------- 192

5.1. PROTECCION CON RECONECTADORES ---------- 192

5.2. CAPACIDAD DE INTERRUPCION DE LOS RECONECTADORES ---------- 194

5.3. TIEMPO Y SECUENCIA DE LOS RECONECTADORES - 196

5.4. CONTROL CON RECONECTADORES PARA GRAN POTENCIA ---------- 216

5.5. TIEMPO DE RECONEXION DE LOS RECONECTADORES 218

5.6. RECONECTADORES AUTOMATICOS ---------- 222

5.7. COORDINACION DE RECONECTADOR FUSIBLE ----- 225

5.8. COORDINACION DE RECONECTADOR - INTERRUPTOR 236

5.9. APLICACION DE LOS RECONECTADORES --------- 238

PAGS.

CAPITULO VI

CALCULO DIGITAL DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ICC)- 240

6.1. INTRODUCCION ---------- 240

6.2. BREVE DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO --------- 241

6.3. RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA ------ 243

6.4. CONSIDERACIONES Y ASUMSIONES PARA EL CALCULO DIGITAL ---------- 246

6.5. CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ICC) DE UN SISTEMA SIMULADO ---------- 246

6.6. UTILIZACION DE LOS RESULTADOS PARA LA COORDINACION ---------- 249

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ---------- 282

BIBLIOGRAFIA ---------- 286

INDICE DE FIGURAS

Nº		PAG.
2.6.1.	OPERACION BASICA DE LA RED ----------	70
2.7.1.	EFECTO DE LOS FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTES ----------	78
2.8.1.	CIRCUITO DE PROTECCION PARA FALLAS TEMPORALES Y PERMANENTES ----------	83
3.1.1.	PROTECCION CON FUSIBLE ----------	91
3.11.1.	CURVA DE TIEMPO DE FUSION EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DE UN CORTOCIRCUITO FUSIBLE ----------	115
3.15.1.a.1.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO N (MMT)-------	121
3.15.1.a.2.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO N (MCT)-------	122
3.15.1.b.1.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO T (MMT) ------	123
3.15.1.b.2.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO T (MCT) ------	124
3.15.1.c.1.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO K (MMT) ------	125
3.15.1.c.2.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO K (MCT) ------	126
3.15.1.d.1.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO H (MMC) ------	127
3.15.1.d.2.	CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO H (MCT) ------	128
3.15.2.a.	CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO T CONSIDERANDO EL TIEMPO DE ARCO ----------	129
3.15.2.b.	CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO K INCLUYENDO EL TIEMPO DE ARCO ----------	130

Nº		PAG.
3.18.1.	CONDICIONES PARA LA SELECTIVIDAD---------	140
3.18.2.	SELECTIVIDAD DE LOS FUSIBLES DESDE EL PUNTO DE VISTA GRAFICO ----------	143
4.4.1.	CARACTERISTICAS DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE CAJA MOLDEADA DE 100 (A)----	152
4.4.2.	CARACTERISTICAS INSTANTANEAS DE UN INTERRUPTOR MAGNETICO ----------	154
4.4.3.	CARACTERISTICAS DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE OPERACION LENTA Y OPERACION EN - TIEMPO CORTO ----------	155
4.4.4.	CARACTERISTICAS DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO CON CARACTERISTICAS DE RETARDO;TIEMPO CORTO E INSTANTANEO ----------	157
4.4.5.	CARACTERISTICAS DE UN INTERRUPTOR ELECTRONICO ----	159
4.7.1.	ESQUEMA ELEMENTAL DE UN POLO CARACTERISTICO DE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA DE LIMITACION DE INTENSIDAD TRIPOLAR ----------	167
4.14.1.	DIAGRAMA UNIFILAR DE UN CIRCUITO CON INTERRUPTOR - DE ACCION DIRECTA ----------	189
4.14.2.	CARACTERISTICAS DE LOS DISPOSITIVOS TERMOMAGNETICOS DE LA FIGURA 4.14.1. ----------	190
5.1.1.	CARACTERISTICAS DE DISPARO DEL RECONECTADOR AUTOMATICO CONVENCIONAL ----------	193
5.3.1.	TIEMPOS DE OPERACION DEL RECONECTADOR ----------	214
5.7.1.	CURVA DE CALENTAMIENTO ENFRIAMIENTO DEL FUSIBLE----	226
5.7.2.	COORDINACION RECONECTADOR - FUSIBLE ------	228

Nº		PAG
5.7.3.	COORDINACION RECONECTADOR FUSIBLE (CON FUSIBLE EN EL LADO DE LA CARGA)----------	230
5.8.1.	CURVAS RECONECTADOR-O.C.B. ----------	237
6.5.1.	DIAGRAMA DEL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA SIMULADO ----------	247
6.6.1.	CARACTERISTICA DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 12, 7, 3.---------	273
6.6.2.	CARACTERISTICA DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 10, 7, 3 ---------	279
6.6.3.	CARACTERISTICA DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE LAS BARRAS 3,1 ----------	280
6.6.4.	CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 6,3,1 --------	281

INDICE DE TABLAS

Nº		PAG
3.3.1.	SIMBOLOS, MARCAS Y CLASES DE LOS FUSIBLES --	95
3.6.1.	TENSION NOMINAL Y TENSION MAXIMA DE DISEÑO - DE LOS FUSIBLES ----------	106
3.11.1.	TIEMPO LIMITE DE FUSION DE FUSIBLE ---------	116
3.16.1.	COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO K ---------	131
3.16.2.	COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO T ---------	132
3.16.3.	COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO K Y TIPO H-	133
3.16.4.	COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO Y Y TIPO H-	134
3.16.5.	COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO N ---------	135
4.8.1.	DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO EQUIVALENTE Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS TRIFASICOS ----------	169
4.8.2.	DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO EQUIVALENTE Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS - BIFASICOS ----------	170
4.8.3.	DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS MONOFASICOS-	171
4.12.1.	CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL TIPICA PARA PARA INTERRUPTOR DE CAJA MOLDEADA EN AMPERIOS	181

Nº		PAG
4.12.2.	VALORES NOMINALES DE BAJA TENSION PARA CORRIENTE ALTERNA CON DISPOSITIVO DE DISPARO INSTANTANEO DE ACCION DIRECTA ----------	132
4.12.3.	VALORES NOMINALES PARA INTERRUPTORES DE BAJA TENSION PARA CORRIENTE ALTERNA SIN DISPOSITIVO DE DISPARO INSTANTANEO DE ACCION DIRECTA -----	183
5.2.1.	RECONECTADOR HIDRAULICO MONOFASICO ----------	197
5.2.2.	RECONECTADOR HIDRAULICO TRIFASICO ----------	200
5.2.3.	RECONECTADOR ELECTRONICO TRIFASICO ----------	205
5.5.1.	TIEMPO DE RECONEXION DE LOS RECONECTADORES ---	218
5.7.1.	FACTORES K CUANDO EL FUSIBLE EN EL LADO DE LA FUENTE RESPECTO AL RECONECTADOR ----------	232
5.7.2.	FACTOR K PARA EL FUSIBLE CUANDO ESTA EN EL LADO DE LA CARGA RESPECTO DEL RECONECTADOR -----	235

INTRODUCCION

En esta tesis se trata de analizar el funcionamiento de los dispositivos de protección más comunes en una industria y en base al conocimiento de sus características , se trata de optimizar en sus aplicaciones.

El objetivo de ésta investigación es presentar de una manera sencilla posible un estudio de coordinación de los elementos de protección industrial y facilitar de esta manera un medio de información para que en nuestro medio se aplique con mayor frecuencia, puesto que en nuestro país no se hace un estudio completo para dimensionar los dispositivos de protección a no ser que se trate de una industria de gran magnitud como lo es por ejemplo la Fábrica de Cemento Cerro Blanco de Guayaquil que cuenta con un sistema eléctrico moderno.

Mientras que para pequeñas industrias casí lo único que se toma en cuenta son los valores nominales de Tensión y corriente con lo cual no nos garantiza que el sistema eléctrico instalado sea adecuado y selectivo.

La forma como se dimenciona los dispositivos eléctricos

de protección industrial es mediante el uso del cálculo de las corrientes de cortocircuito.

El procedimiento que se sigue es:

1. Información completa del sistema industrial que se va a instalar y de la fuente de energía que lo suministra.

2. Estudio de cortocircuito y dimensionamiento de los elementos eléctricos.

3. Selección de los elementos eléctricos y su coordinación.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES PARA LA PROTECCION INDUSTRIAL

1.1. DEFINICION

Una planta industrial es tan buena como su sistema eléctrico por esta razón las consideraciones eléctricas en la planificación de una industria es muy importante. Un sistema eléctrico estandar no es adaptable a todas las plantas industriales puesto que dos plantas no tienen las mismas necesidades - aún siendo idénticas. Existen métodos para analizar las necesidades específicas de cada planta ya sea cualitativamente como cuantitativamente y según el diseño más adecuado se determina los requerimientos eléctricos especificos (para una planta particular), estos requerimientos se hacen tanto - para las presentes como para las futuras condiciones de operación.

Como consideraciones básicas tenemos los siguientes puntos.

Seguridad: Aquí se presentan dos casos que son:La seguridad del personal; para este caso no existe compromiso preferentemente en el aspecto económico, puesto que la seguridad de las personas ocupa principal importancia en el proyecto de una planta industrial. El otro caso es la seguridad de los materiales, construcciones y equipos eléctricos, aqui si hay un compromiso entre lo económico y técnico.

Confiabilidad: La continuidad de servicio que se requiere depende del tipo de fabricación o de la operación del proceso de la planta.

Algunas plantas pueden tolerar fácilmente salidas momentáneas de servicio, mientras que otras requieren alto grado en la continuidad de servicio, en vista de esto el sistema será diseñado para aislar fallas con las mínimas perturbaciones del sistema.

Costo Inicial: Debido a que el gasto inicial es importante; éste se minimizará si el sistema es confiable y si tiene una operación satisfactoria.

Simplicidad de Operación: La simplicidad en la

operación es muy importante para el funcionamiento seguro y confiable de una planta. Con lo que se pueden realizar operaciones complicadas y hasta - riesgosas en estados de emergencia.

Regulación de voltaje: Con una regulación pobre - de voltaje disminuye el tiempo de vida y de operación de los equipos eléctricos de la planta.

Mantenimiento: Con un buen sistema para intercambio de equipo; se reduce el mantenimiento de emergencia por lo que para el diseño de una planta se debe tener una consideración importante a este respecto.

Crecimiento de la planta: Como la carga en la - planta generalmente se incrementa; será importante tomarlo en cuenta para dimensionar los equipos;así como para reservar espacio para la instalación de nuevos equipos.

1.2. OBJETIVO

Los sistemas eléctricos varian gradualmente de una planta industrial a otra en cuanto a su complejidad.

Las plantas más pequeñas y sencillas constan solamente de un sistema radial con protección unicamente de fusibles.

Mientras que las grandes industrias tienen una combinación complicada de barras, líneas e interruptores que requieren de una protección compleja. La mayoría de las industrias reciben toda su energía de los centros de generación, pero existen algunas industrias que generan parte de su energía que necesitan y por tanto esta planta de generación auxiliar trabajará en paralelo con el centro de generación que alimenta a la industria.

Indudablemente los centros de generación requieren de protección para fallas a la entrada de servicio de una planta industrial por lo que para diseñar - la planta hay que consultar con los centros de generación los requerimientos necesarios para su protección.

El objetivo principal de una planta industrial es producir satisfactoriamente y económicamente. La capacidad de producir depende de cuan adecuado sea el servicio eléctrico y de su continuidad. Las in

terrupciones eléctricas pueden ser evaluadas directamente en términos de pérdidas de producción.Usualmente el costo de las pérdidas de producción son mayores que el costo del daño físico del equipo - afectado por una falla. Por eso es importante que en la operación de una industria, el sistema eléctrico sea diseñado adecuadamente para que el equipo de protección sea aplicado de una manera tal que el equipo aisle las fallas rápidamente con la mínima interrupción de servicio.

Las pérdidas asociadas con la interrupción de servicio varian grandemente en las industrias de diferentes tipos. Por ejemplo una interrupción de servicio en una operación de las máquinas puede significar solamente un retrazo en la producción, mientras que una interrupción en una planta de procesos químicos pueden causar pérdidas de material y producción; una operación costosa de limpieza, un posible daño al equipo de producción; otras industrias tales como refinerías, fábricas de papel, de textiles, de hierro y de más procesos son afectadas de igual manera pero en menor grado que las plantas - con procesos químicos.

Algunos tipos de carga como la fábrica de papel,mem

branas y procesos de fibra para textiles, etc., involucran una automatización compleja que una caida momentánea del voltaje puede ser tan serio como una interrupción total ; otras pueden tolerar una interrupción momentánea pero no una falla permanente, así el tipo de operación industrial tiene una mayor influencia en el tipo de protección que se aplica para las fallas en el sistema eléctrico.

Algunas plantas industriales, debido a su tamaño y complejidad en sus operaciones requieren de trabajo de ingeniería tanto para el diseño como para su instalación y mantenimiento eficiente del sistema, mientras que otras requieren probablemente algo más económico como son por medio de consultas o asesoramientos de un sólo profesional.

La protección en un sistema eléctrico es una especie de seguro o garantía. Utópicamente nada se pierde mientras no existan fallas o una emergencia; pero cuando ocurre una falla, las pérdidas están en función de la duración y gravedad de la interrupción. Económicamente hay que balancear el costo de la reparación y las pérdidas de producción con el valor invertido en la prevención (con el costo de los elementos de protección).

1.3. LIMITACIONES PRACTICAS DE LAS PROTECCIONES

Cuando un sistema de potencia industrial está en - funcionamiento normal; todas las partes deberán tener alguna forma de protección automática; sin embargo algunas posibilidades de fallas pueden ser omitidas en vista de que son improbables que sucedan por tanto también se suprimirán ciertos elementos de protección que no justifican el costo de - protección específica. Pero antes de admitir este riesgo en base al criterio de lo improbable,se considerará cuidadosamente la magnitud del daño probable y sus consecuencias; puesto que por otra parte tenemos que una protección exagerada a más del problema económico; complica la operación tanto del sistema de protección como el sistema de carga; pero al mismo tiempo se tendrá cuidado en el momento de omitir perturbaciones de poca importancia; no sea que se supriman las fallas que se las consideran improbables y que producen graves consecuencias.

Por ejemplo una falla interna en un transformador raramente ocurre pero las consecuencias pueden ser muy serias puesto que tales fallas pueden causar - la combustión del aceite y riesgos al personal, a más del daño del transformador.

La mayoría de los sistemas tienen alguna flexibilidad en la forma en que se interconectan los circuitos. Varios arreglos posibles se considerarán en la planificación del sistema de protección, de tal manera que el sistema no quede sin protección aún en condiciones de operación emergente, aunque los elementos de protección no operarán correctamente para todas las combinaciones debido a las muchas - combinaciones de operación posibles.

En tales casos se indicará las conexiones para las que la protección es inadecuada.

1.4. IMPORTANCIA DE LA COORDINACION

Con el estudio de la coordinación nos permite conocer las especificaciones que deben cumplir los elementos de protección a fin de que al ocurrir una falla en cualquier parte del sistema, ésta sea despejada de una manera que se produzca el mínimo daño - posible.

El estudio de coordinación da información útil para la selección de los transformadores de instrumentos, para analizar las características de los fusibles , breakers, etc., de tal manera que se logre una protección óptima y selectiva al sistema.

Por otra parte, una buena coordinación de los elementos de protección hará que el sistema eléctrico preste un servicio más eficiente, con lo cual nos dá mayor rendimiento en los procesos industriales, por lo que se puede decir que, a más del daño que causa una falla a los elementos, una mala coordinación hará - que otras cargas eléctricas sean desconectadas del sistema innecesariamente, las que dependiendo del papel que desempeñan en el proceso industrial pueden - ser de vital importancia, teniendo grandes repercusiones en el aspecto económico.

1.5. METODO PASO A PASO PARA HACER UNA COORDINACION

El procedimiento paso a paso para un estudio de coordinación es el siguiente:

a. Tener todos los datos completos y posibles del circuito que se va a estudiar.

b. Luego del análisis de la configuración del circuito, se establecen alternativas para la localización de los dispositivos de protección.

c. Calcular los valores máximos y mínimos de las corrientes de falla en cada punto que se localice

el elemento de protección.

d. Seleccionar los dispositivos (de protección) en la subestación para dar una protección adecuada y completa al transformador de la subestación.

e. Coordinar los elementos de protección de la subestación hasta las cargas o viceversa. Revisar las alternativas de la localización de los puntos de protección si es necesario.

f. Chequear los dispositivos seleccionados en cuanto a su corriente nominal, capacidad de interrupción y valor mínimo de operación.

g. Preparar un diagrama del circuito con una escala adecuada que indique la configuración del circuito; los valores de corrientes de falla máxima y mínima; valores nominales de los elementos de protección.

Los datos necesarios para empezar el estudio de coordinación son:

a. Información del sistema:

1. Diagrama del Circuito del sistema

2. Localización y tamaño de las cargas

3. Localización de los transformadores

4. Corriente de pico máxima medido en la subestación.

b. Información de la Subestación:

1. Diagrama esquemático que muestre la conexión de los transformadores; incluyendo los dispositivos de protección de alta y baja tensión.

2. Capacidad del transformador de la subestación; la tensión de alta y baja y la impedancia en porcentaje.

3. La curva de tiempo-corriente del transformador de la subestación.(si no es posible este dato, se recurre a las normas como la de American - Standars Association).

1.6. CODIGO ELECTRICO NACIONAL (NEC) Y LOS COMPONENTES DE PROTECCION

La autoprotección de los equipos que protegen los sis

temas eléctricos están en base a su capacidad de soportar sobrecorrientes por lo que hay que especificar las informaciones necesarias para elegir el elemento adecuado, ya que de lo contrario se corre el peligro de que se produzcan daños graves no sólo de material sino también del personal que labora.

En vista de los problemas serios que se han presentado tanto para la seguridad de vidas como de la propiedad, los códigos eléctricos y las compañías de seguros han creado normas cada vez más estrictas.

El CODIGO ELECTRICO NACIONAL (NEC) en algunos de sus artículos se refiere a las normas que debe cumplir los elementos de protección; así tenemos los siguientes: (Tomado del National Electrical Code, 1981).

Artículo 110-9.-

Capacidad de Interrupción: Los elementos que interrumpen las corrientes de falla del sistema tendrán una capacidad de interrupción suficiente a tensión nominal del sistema y para la corriente de falla máxima permitida en el punto en que esta conectado un dispositivo de protección. Con una capacidad de interrupción adecuada de los elementos de protección

evitamos que se produzcan explosiones durante la interrupción por la excesiva magnitud de la corriente.

Artículo 110-10.-

Impedancia del circuito y otras características:

Los dispositivos de protección de sobrecorriente, la impedancia total, la corriente de cortocircuito permisible y otras características del circuito a las que se van a proteger serán seleccionados y coordinados de tal manera que se despeje la falla sin causar mayor daño a los elementos del circuito; la falla puede ocurrir entre dos o más conductores; o entre un conductor y tierra.

Para esto se requiere que los componentes del sistema sean protegidos en consideración con suscaracterísticas.

Artículo 240-1.

Objetivo de la protección de sobrecorriente: La protección de sobrecorriente para los conductores y equipos está dado con el fin de que el circuito se

abra si la corriente alcanza un valor que por la temperatura excesiva puede causar daño en el conductor. Para esto se requiere que el conductor sea protegido de las temperaturas excesivas causadas por sobrecargas y por corrientes de cortocircuito.

1.7. SELECCION DE EQUIPOS DE PROTECCION Y ESPECIFICACION

Para seleccionar los equipos de protección se consideran los siguientes aspectos:

- Las necesidades de protección y coordinación

- Los costos iniciales incluyendo la instalación

- Mantenimiento

Para hacer una selección y especificación detallada del equipo es necesario recurrir a las normas locales, extranjeras y a las publicaciones de los fabricantes.

La instalación debe ser tal que permita una operación segura; facilidad de mantenimiento y reemplazo.

En cuanto a los equipos de interrupción hay que especificar no solamente la tensión y corriente nominal a que trabajan sino también se especifica el valor - de corriente de interrupción, en el caso de interruptores que son los más utilizados en los servicios de suministros de energía eléctrica, hay que especificar de que tipo son; ejemplo, interruptores electromagnéticos en aire o de caja moldeada para mediana y baja tensión.

Los interruptores electromagnéticos para baja tensión son de construcción abierta y diseñados para que todas sus partes sean accesibles para su mantenimiento y reparación y fácil reemplazo; sus unidades de disparo tienen un amplio rango de ajuste y además son intercambiables en esto hay que tener mayor cuidado puesto que las unidades de disparo se construyen en la actualidad en los tipos de electromecánicos y de estado sólido ya sea para corriente continua o alterna.

Cuando la interrupción es mayor o igual a 200KA., es conveniente usar los interruptores con fusibles limitadores de corriente incorporados; los cuales tienen a su vez equipo de protección contra operación monofásica.

En los interruptores de caja moldeada; hay que determinar también su forma de operación además de especificar la tensión, corriente de carga y corriente - de interrupción nominales. Así tenemos:

El termomagnético: Tiene un elemento de disparo térmico para sobrecargas y un elemento magnético para protección contra cortocircuito.

El magnético: solo tiene un elemento de disparo instantáneo magnético para protección solo contra cortocircuito.

El termomagnético con fusible incorporado: Tiene un elemento térmico para el disparo por sobrecarga y para protección de cortocircuito emplea el fusible que generalmente es del tipo limitador de corriente.

El termomagnético de alta capacidad interruptiva:

En este dispositivo no se usa fusible alguno, se caracteriza por tener contactos y mecanismos con más solidez en cajas de alto impacto.

En cuanto a la especificación de los equipos se debe

tomar en cuenta los siguientes puntos para una aplicación particular.

1. Las capacidades nominales en KVA o MVA
2. Números de polos (1, 2 ó 3) generalmente.
3. Frecuencia a la que se ha diseñado
4. Tensión nominal
5. Impedancia interna
6. Nivel Básico de aislamiento
7. Temperaturas permitidas
8. Accesorios

1.8. APLICACION DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION

Empezando por los fusibles tenemos:

Los fusibles limitadores de corriente tienen su mayor aplicación para protección de transformadores de potencial y protección de cargas pequeñas (hasta 3 MVA) ; en circuitos con alta capacidad de cortocircuito - como sucede generalmente en subestaciones.

Los fusibles tipo expulsión se usan básicamente para proteger contra sobrecorriente en exteriores de alimentadoras, bancos de capacitores; primarios de transformadores.

Los interruptores tienen mayor aplicación por su protección de sobrecarga (térmica, bimetal) para respaldo de protección a motores o en sobrecargas y una protección de sobrecorriente para cortocircuitos mediante el elemento instantáneo (magnético); esto es para el caso de interruptores termomagnéticos.

Los interruptores electromagnéticos son de mayor capacidad de los anteriores que operan con sensores de corrientes y relés, son menos empleados que los termomagnéticos por su costo y además los termomagnéticos se usan en la industria principalmente en la protección de motores de pequeña capacidad que son los más comunes, además de que estos interruptores (termomagnéticos) han reemplazado a los fusibles en circuitos de alumbrado de las industrias.

Los reconectadores tienen su aplicación principal en subestaciones como dispositivo de protección en los alimentadores primarios de sistemas radiales. En los sistemas de lazo se logra gracias a los reconectado-

res controlados electronicamente; estos dispositivos de protección son muy costosos por lo que su empleo lo hacen por lo general las empresas de generación - de electricidad ya que el costo del dispositivo justifica respecto a las pérdidas debido a la salida de servicio de las alimentadoras a que dan servicio.

1.9. PRUEBAS Y MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION

Como no se pueden predecir cuando va a ocurrir una - anormalidad eléctrica los elementos de protección - tienen que estar siempre listos para funcionar durante el suministro de energía eléctrica por lo que es necesario hacer un mantenimiento adecuado a estos - elementos de protección. No hay que confundir mantenimiento con reparación. La definición de mantenimiento es mantener un objeto; máquina o sistema en - buen funcionamiento; para esto se necesita inspeccionar estos elementos y encontrar sus desperfectos antes de que les toque operar cuya consecuencia sería la falla de estos elementos de protección.

Los pasos más importantes en el mantenimiento de los dispositivos de protección son:

1. Limpieza: Consiste en eliminar todo cuanto impi-

da a una buena conducción eléctrica, tales como polvo, basura, humedad, agua, herrumbres, que a la vez disminuyen la eficiencia del sistema - eléctrico.

2, Ajuste de Uniones: Las conexiones tienden a - aflojarse por calentamientos debido a sobrecorrientes o por deterioro de las uniones debido a los agentes mencionados en el primer paso y luego por la conducción defectuosa de la corriente empieza la destrucción de las partes del sistema; otra causa por las que las uniones tienden a desconectarse (o aflojarse) es porque un sistema eléctrico de corriente alterna está sujeto a vibración constante.

3. Lubricación: Los interruptores de potencia de baja tensión de acción directa;y los relés que operan el circuito del interruptor tienen muchas partes móviles que requieren de lubricación a fin de que no se conviertan en inoperables - por permanecer mucho tiempo sin funcionamiento. Esta lubricación debe hacerse con cuidado, pues puede llegar a las partes conductoras y alterar el aislamiento de los aparatos; también se -

presta para recolectar polvo y demás contaminaciones con mayor facilidad.

4. Inspección: De tiempo en tiempo es necesario chequear todos los componentes que son accesibles en los elementos de protección, para asegurar su buen funcionamiento.

5. Pruebas: Para esto se requiere que los elementos de protección estén sujetos a condiciones eléctricas anormales por lo que se simula tales condiciones para comprobar su funcionamiento con las especificaciones dados por los fabricantes; esto no es aplicable para los fusibles.

Mantenimiento de Fusibles: El mantenimiento de los fusibles está limitado por su naturaleza a una inspección para asegurar que los fusibles instalados sean los adecuados; revisar si tienen señal de deterioro y que su caja fusible esté limpia y sus terminales - estén correctamente apretados.

Mantenimiento de Interruptores en Caja Moldeada:

El interruptor se mantendrá limpio y seco y las co

nexiones ya sea con las líneas o con la carga se revisarán periodicamente para que los terminales estén bien conectados. Si el interruptor está localizado en un ambiente de polvo o contaminaciones se deberá soplar y secar frecuentemente con aire a baja presión; evitando que las particulas contaminantes penetren en los alojamientos de la unidad al hacer la limpieza.

Chequeo del calentamiento excesivo; que puede ser por una conexión eléctrica pobre, unidad de disparo inadecuada, conexiones mecánicas impropias con los alojamientos del interruptor o con sus terminales. El calentamiento anormal se aprecia por la descoloración de los terminales; deterioro del material de la caja moldeada o, si hay desperfecto en el disparo, se detecta con la medición de la corriente de carga, si la corriente en cada polo es menor a la nominal del interruptor, todas las conexiones y contactos se revisarán y ajustarán según las recomendaciones de los fabricantes.

Otras causas por las que los interruptores operan inadecuadamente son:

1. Fricción excesiva o demasiada presión a la barra de disparo a tal punto que el bimetal no puede - ejercer suficiente presión para mover la barra - de disparo.

2. Defectos en el bimetal que altera las caracterís ticas de operación.

3. Circuito abierto en los terminales o dentro de - la bobina.

4. Presencia de cuerpos extraños que impiden el mo vimiento de las partes mecánicas tales como ba rra de disparo; armadura; seguro de disparo, ga tillo de disparo; el bimetal; el fuelle o los re sortes, etc.

Si el breaker tiene una unidad de disparo cambiable o si tiene fusibles incorporados, se tendrá que re visar luego de que ha operado; y la revisión debe - hacerse con el interruptor en posición abierto; los fusibles tienen un sistema tal que cuando uno de - ellos se funde abre todos los polos del interruptor, si esto no ocurre será porque los fusibles incorpo- rados están defectuosos; por tanto la unidad defec-

tuosa será reemplazada.

Si el interruptor de caja moldeada no dispara en condiciones de carga anormal o en el tiempo especificado por las normas eléctricas, además no existen problemas mecánicos; es porque el interruptor está descalibrado o su placa está marcada incorrectamente. Una calibración del interruptor en caja moldeada puede realizar solamente bajo control del fabricante.No es permitido cambiar la calibración de la unidad de disparo del interruptor excepto el ajuste de las corrientes de operación de la unidad instantánea que se realiza con dial accesible sin abrir la caja del interruptor.

Para asegurar una operación propia, se disparan electricamente los interruptores en forma periódica puesto que si no operan durante algún tiempo, los mecanismos internos se enduran y el interruptor no operará adecuadamente cuando esté sujeto a corriente anormales.

Para las pruebas de los interruptores de caja moldeada se consideran los siguientes puntos:

1. El voltaje nominal de placa tiene que ser aplicado en los terminales durante la prueba.

2. Los valores de corriente son altos por lo que es recomendable usar conexiones cortas y gran sección durante la prueba por lo que a veces se conectan - barras conductoras entre la unidad de prueba y el interruptor.

3. La conexión al interruptor tiene que ser bien sujetada.

4. La prueba del interruptor se hace polo por polo.

5. El dispositivo de disparo tiene que ser vuelta a su posición original antes de una nueva prueba.

Las pruebas recomendadas para un interruptor de caja moldeada son: 1. El tiempo y 2. La operación instántanea.

Se sugiere que las pruebas de corriente se haga al 300 % de la corriente nominal de la unidad de disparo y se tome la lectura del tiempo de disparo y com

parar con el tiempo dado por los fabricantes o con las curvas características; las pruebas se repetirán de tal manera que exista suficiente tiempo para el enfriamiento de la unidad de disparo, a fin de no alterar la característica por el efecto térmico.

El interruptor es relativamente preciso, a pesar de que sus características indican una banda ancha de operación.

Si las pruebas indican que el interruptor dispara - en un intervalo de $\pm$ 15 % fuera de los límites de - las curvas dadas y si esta tolerancia no afecta a la coordinación o a la estabilidad del sistema, se considera satisfactorio su funcionamiento.

Algunos interruptores en caja moldeada no tienen - ajuste para el instantáneo; los que tienen; permiten cambiar la operación de la unidad instantánea; generalmente viene colocado en su máximo valor, cuando no se especifica al comprador; por lo que es necesario revisar estos ajustes antes de conectarlo en el sistema; a fin de que opere adecuadamente cuando ocurre una anormalidad.

En muchos sistemas eléctricos, uno de los propósitos de hacer la primera prueba es para determinar el valor de operación óptima de la unidad instantánea, como también verificar que el interruptor dispare magneticamente; cuando se trata de hacer esta última - prueba es suficiente con que opere con la calibración mínima.

Las tolerancias estandar en el ajuste de la unidad - de disparo instantáneo son:

Posición mínima (baja) $\pm$ 25%

Posición máxima (alta) $\pm$ 10%

Mantenimiento de Interruptores de Potencia de Baja - Tensión:

En este tipo de interruptores hay que tener en cuenta sus cuatro características y sus combinaciones que son:

1. Retardo Largo: Del orden de segundos y minutos. Los interruptores normalizados tienen ajuste del 100% de la corriente nominal de la bobina de disparo, para protección de sobrecargas prolongadas.

2. Retardo Corto: El tiempo está medido en ciclos, se usa para protección de falla o de cortocircuito.

3. Instantáneo: No tiene retardo intensional y se emplea en la protección de cortocircuito.

4. Protección de falla a tierra: Es opcional para - los interruptores con dispositivos de disparo - electrónicicos.

Las causas del mal funcionamiento de los interruptores de potencia de baja tensión se los ubica generalmente en tres categorías:

1. Pérdida de aceite o aire debido a daños físicos por golpes, envejecimiento de las partes selladas (cerradas herméticamente) que causan operaciones incorrectas.

2. Orificios obstruídos con cuerpos extraños o contaminación del aceite que se forman por las condiciones atmosféricas.del medio ambiente o por envejecimiento del aceite.

3. Componentes atascados de los montajes que estan - sumergidos debido a la corroción atmosférica y/o a la no operación de sus elementos.

Existen otras condiciones que hace inhábil a un interruptor entre los más comunes tenemos:

1. Contactos o mecanismos atascados (el interruptor no puede abrirse ni manual ni automáticamente).

2. Calibración inadecuada: esto es dispara demasiado lento o demasiado rápido.

3. Regulación impropia del elemento de disparo

4. Alta resistencia de contacto.

5. Falla del elemento de disparo de la armadura al golpear la barra de disparo.

6. Contactos abiertos o daño en los elementos conectados en serie.

7. Resistencia alta o falla por arco debido a pérdidas o ajustes impropios entre el montaje primario de desconexión y la barra.

8. Resquebrajamiento o agrietamiento de la cámara de extinción.

9. Piezas desgastadas.

10. Fuerza excesiva al operar el interruptor.

11. Suciedades.

12. Aceite contaminado

Todas estas condiciones pueden ser por varias causas - incluyendo humedad, corroción, desuso, vibraciones,etc.

Procedimiento para el Mantenimiento y Pruebas:

1. El resquebrajamiento o agrietamiento de la cámara - de extinción se aprecia por inspección visual.

2. Endurecimiento de los contactos, contactos abiertos y excesiva fuerza para operar el interruptor se pue de determinar manualmente abriendo y cerrando el in terruptor.

3. La determinación de las corrientes de fuga requieren

ren una prueba de la resistencia de áislación.

4. La calibración inadecuada y la resistencia alta de los contactos se pueden determinar por pruebas - eléctricas.

Revisión Mecánica:

Se tomarán los siguientes pasos:

1. Plan de trabajo para el que ha estado programado.

2. Percatarse de que el circuito esté desenergizado para poder mover el interruptor hacia el lugar - de revisión.

3. Abrir el interruptor; y sacarlo del lugar conecta do; tomando precaución por su peso.

4. Abrir el lado posterior del interruptor; revisar que los resortes no esten rotos o desconectados y hacer limpieza de polvo o lodo.

5. Remover la cámara de extinción y revisar si existen partes agrietadas o resquebrajadas; reemplazar las partes defectuosas y limpiar.

6. Revisar y limpiar los contactos donde se producen arcos eléctricos de acuerdo a las normas dadas - por los fabricantes.

7. Con la cámara de extinción extraída cerrar el interruptor para revisar los contactos y su alineamiento, mover todas las partes expuestas del interruptor pero con sumo cuidado para evitar que el cuerpo humano sea alcanzado por los contactos o por algún mecanismo puesto que es un sistema con dispositivos con energía almacenada.

8. Abrir y cerrar el interruptor varias veces a fin de asegurar una operación confiable; esto es que no haya obstáculos en el mecanismo en el momento de la operación.

9. Lubricar y revisar tanto el lugar de alojamiento como el interruptor y asegurarse de que no haya - evidencias de obstáculos en estos lugares.

10. Lubricar según las instrucciones de los fabricantes todos los acoplamientos mecánicos que se usan para abrir y cerrar el interruptor.

11. Ajustar (atornillar) todos los tornillos o conexiones enclavadas que no hacen de pivot.

12. Extraer el polvo o lodo de la cámara de extinción usando un aspirador potente aunque también se puede limpiar con aire a baja presión.

13. Verificar que el movimiento propio de la barra de disparo disparará al interruptor.

14. Determinar que la armadura de disparo de los dispositivos de disparo de cada polo actue a la barra de disparo.

15. Verificar que el indicador de posición del interruptor indique la posición propia del interruptor.

16. Cualquier ajuste que se haga, será siempre luego de una consulta de los manuales del fabricante.

PRUEBAS ELECTRICAS

Debido a que el 90 % de los interruptores de potencia de baja tensión contienen una combinación de caracte-

rística de tiempo largo con la característica instantánea. Se han creado programas típicos para esas - unidades. Como los interruptores tienen un elemento serie por fase, hay que realizar las pruebas eléctricas en cada elemento o sea en cada fase. La operación de cualquiera de esos elementos disparará todos los polos del interruptor.

Para realizar las pruebas en estos interruptores de potencia de baja tensión con elementos de disparo - por sobrecorriente en serie; se tendrán en cuenta los siguientes puentos:

1. Se deberá aplicar al interruptor el voltaje nominal durante la prueba.

2. Los valores de corriente son grandes mientras que los de voltaje son pequeños por lo que es necesario hacer conexiones lo más corto posible y de gran sección entre el circuito probador y el interruptor; a veces se usan barras para estas conexiones.

3. La prueba del interruptor se hace polo por polo.

4. Los dispositivos de disparo tiene que regresar a su po

sición normal completamente antes de realizar una nueva prueba.

5. Las variaciones en las pruebas comparadas con los - datos por los fabricantes pueden ser causadas por que las corrientes de prueba no son sinusoidales - por la baja tensión y la alta corriente de prueba.

Las pruebas recomendadas para los interruptores de baja tensión de potencia son:

a. Tiempo (retardo largo y corto si el interruptor tiene las dos unidades de disparo).

b. El valor de operación instantáneo.

Los valores recomendados de las corrientes de prueba - para los retardos largos son tres veces el valor regulado de la unidad de disparo. Para el tiempo corto es una o uno y medio veces el valor regulado de la unidad de tiempo corto. Verificar el valor de operación de la unidad instantánea.

Si el interruptor no opera dentro de las tolerancias - especificadas por los fabricantes en las curvas características de tiempo-corriente, entonces se harán ajus

tes según las recomendaciones dadas por los fabricantes.

Pruebas para los dispositivos de disparo estáticos - en los interruptores de potencia de baja tensión. Como la prueba se hace en los interruptores polo por polo se tendrá que chequear los tres polos; para lo cual se puede utilizar una fuente de baja tensión y corriente alta conectando en los terminales primarios del interruptor o a su vez se puede emplear una fuente de corriente pequeña conectando a los terminales del dispositivo de disparo estático los cuales son normalmente conectados al secundario de un transformador de corriente; los valores de prueba son iguales a los que no tienen dispositivos de disparo estáticos.

Cuando se hacen pruebas del interruptor que tiene - protección de falla a tierra; esta protección se sacará o cortocircuitará para las pruebas de fase puesto que puede operar la protección a tierra primero - antes que la fase.

Algunos dispositivos de disparo estáticos emplean un transformador de corriente independiente para energizar el circuito de disparo; en tal caso para las -

pruebas se recomienda conectar este sensor a una fuente separada con lo cual se eliminará el problema de saturación de los transformadores que alimentan al circuito.

1.10. CONSIDERACIONES SOBRE LOS TIEMPOS DE DESCONEXION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

Los tiempos de funcionamiento de dispositivos de protección han de ser lo más cortos posibles porque el mantenimiento de la estabilidad de un sistema en caso de cortocircuito es ante todo una cuestión del tiempo de desconexión.

De manera aproximada se puede decir que en una red de interconexión se mantiene el sincronismo si todos los cortocircuitos quedan eliminados en un tiempo inferior a 0,2 o 0,3 segundos.

Estos tiempos son mínimos; en algunos casos las duraciones del cortocircuito pueden ser superiores y sin que se pierda el sincronismo. Por otro lado en una red secundaria de distribución un cortocircuito puede durar varios segundos, sin peligro para la estabilidad de la red primaria; por lo que para el caso de una planta industrial sobre todo las que se hallan distan

tes a los centros de generación tienen menor efecto - sobre la estabilidad del sistema al ocurrir una falla y el tiempo de desconexión tiene interés principal en la reducción de los daños en las proximidades del cortocircuito y repercuciones de la tensión baja sobre - los demás usuarios.

CAPITULO II

FALLAS EN PLANTAS INDUSTRIALES

2.1. OBJETIVO DEL CALCULO DE LAS CORRIENTES DE FALLAS

El objetivo del cálculo de las corrientes de falla es obtener seguridad y una operación selectiva a fin de evitar daños en el circuito y los dispositivos que se protegen en un sistema eléctrico; también es necesario conocer el valor de la corriente de falla para dimensionar los elementos de protección que se utilizarán en dicho sistema; esto es determinar su capacidad y corriente de interrupción a más de los valores nominales que se especifican según los valores nominales del sistema. Con el cálculo de la corriente de falla se tendrá la corriente de falla permitida del sistema la cual se comparará con la corriente de interrupción del dispositivo con el que se va a proteger y determinar de ésta manera si el elemento de protección que se va a aplicar es el adecuado o no.

Las corrientes de fallas en los estudios de corto-

circuito para efectos de coordinación no son calculados con rigurosa exactitud; puesto que generalmente se asumen un número de factores pero al mismo tiempo también se deprecian otro número de factores; sin que afecte apreciablemente a los resultados finales.

Luego de obtener los resultados del estudio de cortocircuito se realiza la protección del sistema eléctrico; esta protección no solamente debe ser por seguridad bajo cualquier condición de servicio para asegurar la continuidad del mismo sino que también se debe realizar desde el punto de vista selectivo; ya que un sistema selectivo es aquel en el cual se aisla solamente la parte fallada; sin que cause interrupción al resto del sistema.

2.2. TIPOS DE FALLAS

Las fallas se clasifican generalmente por el tiempo de duración en "Permanentes" y "No Permanentes" (o momentáneas).

Son fallas "No permanentes" aquellas que se despejan por si mismas o que a su vez son despejadas -

por la interrupción momentánea del circuito; estos pueden ser debido a descargas atmosféricas; unión momentánea al oscilar los conductores; contacto momentáneo con ramas de los árboles; golpe de pico en un cable subterráneo, etc.

Si una falla que es inicialmente momentánea no se despeja rapidamente; ya sea por si mismo o mediante la operación de los dispositivos de protección; entonces las características de la falla cambia y se convierte en falla permanente.

Son "Fallas permanentes" aquellas que permanecen a pesar de haberse aclarado con los dispositivos de protección por varias veces (operación de abre-cierre de los reconectadores) el circuito. Estas fallas se deben generalmente al arranque de los conductores por la caída de árboles; arcos a tierra - (fallas de aislamientos); presencia de objetos extraños en las líneas; líneas a tierra por destrucción de postes y falla de los aparatos de protección.

2.3. CAUSAS DE FALLAS

Las fallas que causan perturbaciones e interrupcio

nes en los sistemas eléctricos pueden ser:

- De origen eléctrico: Se debe a que el aislamiento del sistema ha sufrido una alteración, que resulta incapaz de soportar la tensión.

  Esta alteración puede producirse ya sea por el deterioro que sufre el aislamiento por los años de servicio (años de vida) o por contacto con cuerpos extraños lo ha hecho que pierda sus características de aislamiento; tal como la contaminación ambiental.

- De origen mecánico: Estas fallas se producen por el rompimiento de los conductores o de los aisladores, este rompimiento puede presentarse por una tensión no adecuada para los conductores; por caídas de cuerpos extraños tal como la rama de un árbol sobre una línea aérea o un golpe de pico en un cable subterráneo; también se deben a caídas de postes de las líneas aéreas,etc,etc.

- De orígen atmosférico: Se originan por las descargas atmosféricas que alcanzan a los conductores de una línea produciendo en ellos sobretensiones de impulsos; la tempestad también por ser

el agua un elemento conductor de electricidad altera la superficie de los aisladores y las características dieléctricas del medio que separa a los conductores.

El hielo y la neblina también producen efectos - mecánicos y eléctricos ya sea por acercamiento - entre conductores como por alteración en la superficie de los aisladores. En nuestro medio sobre todo en el litoral estos dos últimos casos (hielo, neblina) son generalmente despreciables.

- De orígen Humano: Son los errores humanos que se comenten, se deben principalmente por falsas maniobras tales como la apertura en carga de un seccionador; montar un breaker en posición cerrado, etc.

2.4. ESTADISTICAS DE FALLAS

Según estudios realizados por la AIEE tenemos los siguientes porcentajes:

- Según las causas de las fallas:

Viento y árboles.....	46%
Descargas atmosféricas.....	19%
Fallas en el equipo de protección y alumbrado.....	11%
Errores humanos	9%
Lluvia	6%
Nieve	1.5%
Objetos extraños.....	1.5%
Otras causas desconocidad ...	6%

Según la localización de las fallas:

En el vano.....	77%
En los postes	23%

- Frecuencia de las fallas por longitud del circuito:

16.4 fallas/100 millas por año.

- Según la naturaleza de fallas:

De la naturaleza momentánea....	61%
De naturaleza permanente.....	39%

- La distancia entre conductores afecta principalmente al número de fallas por año causado por viento y árboles.

- Los equipos de protección fueron 81% efectivos en despejar fallas en zonas rurales; donde el 70% de los circuitos fueron de alambre desnudo. En las zonas urbanas y suburbanas fueron efectivos el 57% de los equipos con un 16% de los circuitos con conductores desnudos.

2.5. FUENTES DE LAS CORRIENTES DE FALLAS

Es fundamental en un estudio de cortocircuito conocer todas las fuentes de corriente que en el instante del cortocircuito alimentan a dicho cortocircuito; así como también las reactancias de tales fuentes.

Las fuentes principales de corrientes de cortocircuito son:

a. Generadores
b. Motores y condensadores síncronos
c. Motores de inducción.

a. Para el caso de los generadores: en el momento de producirse el corto; estos, se encuentran funcionando normalmente; es decir su primo-motor continua entregando la energía mecánica en su eje (del generador) a su velocidad nominal; su excitación también permanece energizada; por tanto el generador continua produciendo energía eléctrica y durante el cortocircuito circulará una gran corriente (del orden de los kiloamperios) hacía el corto ya que en estas condiciones; la corriente está limitada solamente por la impedancia que existe entre el generador y el punto donde se produjo el corto. Si el corto se produce en los terminales del generador; la corriente del cortocircuito(desde el generador) está limitada solo por su impedancia interna propia.

b. Para el caso de los Motores y Condensadores Síncronos: su diseño y construcción son exactamente como los de los generadores síncronos esto es tienen un devanado de campo o excitación en el rotor, alimentado por corriente directa; y en el devanado del estator fluye corriente alterna. La principal diferencia entre un generador y un motor síncrono está en la conversión de energía; ya que en un generador recibe energía mecánica en su eje y através

de su circuito electro-magnético lo convierte en energía eléctrica en sus terminales; mientras que el motor recibe energía eléctrica en sus terminales y a través de su circuito electromagnético la convierte en energía mecánica en su eje, es decir que el proceso de conversión de energía en las dos máquinas es inverso; más aún un generador puede funcionar como motor o viceversa sin causar daño a la máquina, el inconveniente radica en el efecto que produce en los sistemas eléctricos y en su primo-motor del generador.

Durante el cortocircuito en un sistema eléctrico; el motor sincrono actúa como un generador ya que entrega corriente de cortocircuito al sistema en lugar de recibirlo.

En el instante de producirse el cortocircuito; el voltaje del sistema se reduce a un valor muy bajo; consecuentemente el motor está practicamente desenergizado y su velocidad empieza a decrecer hasta detenerse completamente. El motor no puede detenerse instantáneamente puesto que la inercia del rotor del motor y su carga mecánica acoplada hacen que su velocidad decresca gradualmente con lo

cual se involucra un intervalo de tiempo.

Durante éste periodo de tiempo lo que ocurre en - realidad es que la energía cinética del rotor y la carga hace las veces de primo-motor en el eje del motor y como su exitación está presente;entonces el motor se convierte en generador y por lo tanto entrega corriente de cortocircuito al sistema hasta algunos ciclos después de ocurrido el cortocircuito; la magnitud de corriente de corto circuito que el motor entrega al sistema depende de la potencia del motor, del voltaje a que trabaja el motor y de la impedancia que existe entre el motor y el punto donde ocurre la falla; incluyendo la impedancia interna del motor.

c. Para el caso de los Motores de Inducción: La - inercia del rotor y su carga mecánica del motor - de inducción produce el mismo efecto que la inercia del motor síncrono; pero la diferencia con éste, está en que el motor de inducción no tiene devanado de campo D.C., en su lugar hay un flujo en el motor de inducción durante el funcionamiento normal; este flujo hace las veces del flujo - producido por el devanado de campo y la fuente D. C. del motor síncrono ya que el campo del motor -

de inducción es producido por "inducción" desde el devanado del estator al devanado del rotor.

El flujo del rotor permanece normal mientras este aplicado el voltaje al estator desde una fuente - externa; pero si la fuente externa varía bruscamente la magnitud del voltaje(como cuando ocurre un cortocircuito en el sistema); el flujo en el rotor no puede cambiar instantáneamente según la - teoría de los enlaces de flujo constantes y con el efecto de la inercia del rotor y la carga acoplada; el motor genera un voltaje en el devanado del estator; causando una corriente de cortocircuito que fluye hacia el corto hasta que el flujo del rotor decae a cero; la corriente es practicamente despreciable después de cuatro ciclos.

La duración del decaimiento del flujo hace que se produzca suficiente corriente de cortocircuito en el motor de inducción; para que afecte al tamaño y dimensionamiento de los elementos de protección así como también se determine la capacidad interruptiva para los dispositivos que desconectan - partes del sistema en uno o dos ciclos después de ocurrido el cortocircuito; por tanto la corriente de cortocircuito producido por el motor de induc

ción hay que considerar para ciertos cálculos;así como en el caso anterior la magnitud de la corriente de cortocircuito depende de la potencia, tensión del motor y de la impedancia que existe entre el motor y el punto donde ocurre la falla, incluyendo la reactancia interna del motor.

2.6. OPERACION BAJO CONDICIONES DE FALLAS

Este caso se da cuando los transformadores trabajan en paralelo como se aprecia en la figura 2.6.1.

La operación básica de esta red es mantener a los transformadores funcionando en paralelo mientras sea posible y entregar potencia a los alimentadores de las respectivas cargas mediante el servicio de tomas.

Para asegurar el flujo de potencia desde la barra - de la subestación hasta la barra de servicio se conectan los transformadores en paralelo mientras las tensiones en los alimentadores primarios se mantengan aproximadamente iguales en magnitud y ángulo.

Debido a las fluctuaciones de tensión en los alimentadores primarios puede causar flujo de potencia de

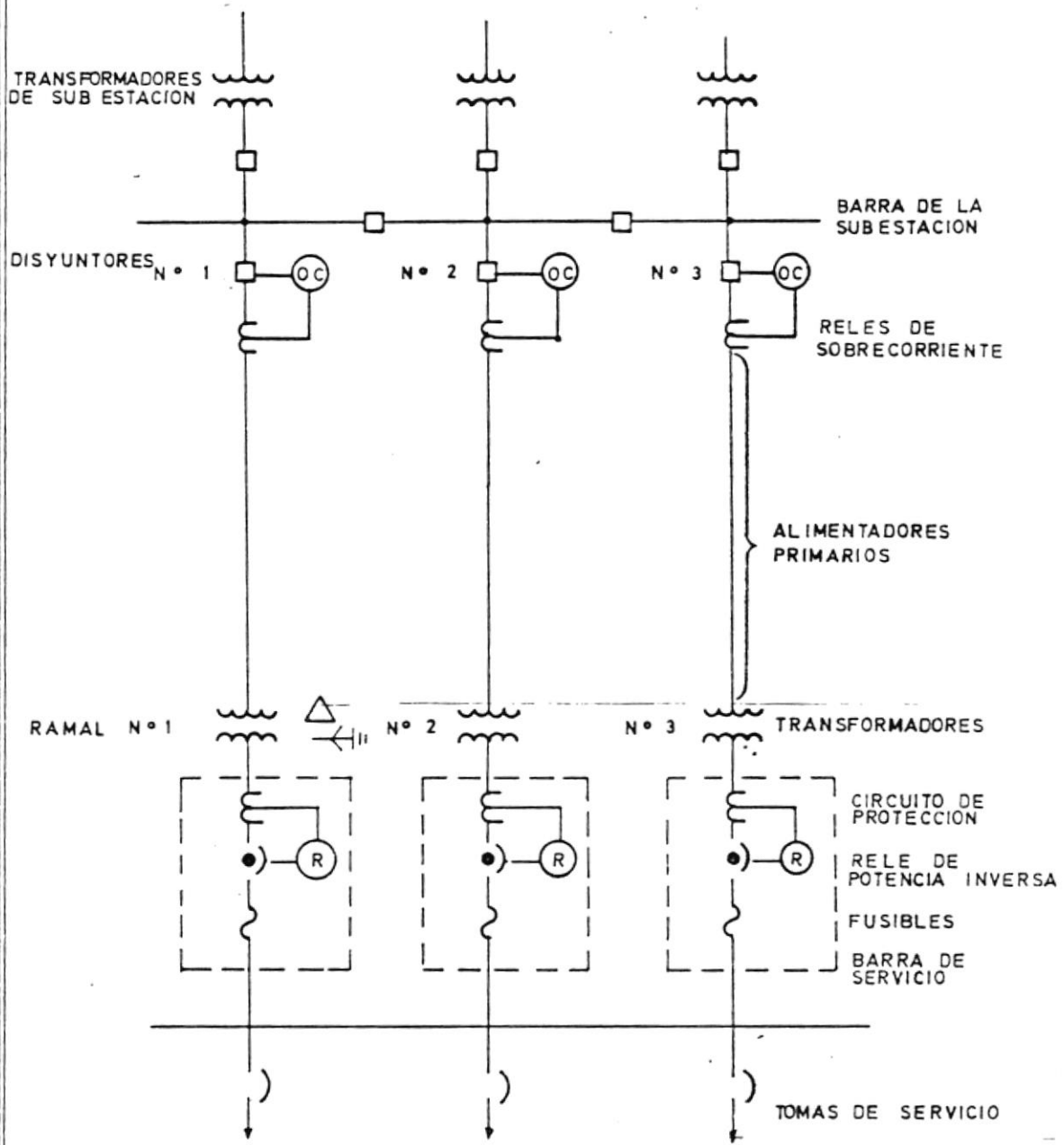


Fig # 2. 6. 1.

OPERACION BASICA DE LA RED

un alimentador primario a otro; através de los transformadores de los alimentadores secundarios y la barra de servicio; para evitar este problema se disponen relés de potencia inversa después de los transformadores de los alimentadores secundarios. El flujo de potencia de la barra de servicio a un alimentador primario puede ser por bajo voltaje en el alimentador ya sea en condiciones normales o en condiciones de falla. En caso de fallar el relé de potencia inversa por la elevada corriente de falla; los fusibles conectados a continuación del relé abrirán el circuito y desconectarán el transformador.

Según la figura Nº 2.6.1., hay cinco puntos diferentes donde pueden ocurrir una falla y estos son:

- En el alimentador primario
- En la barra de servicios
- En las tomas de servicio
- En el sistema de protección
- En los transformadores

FALLA EN EL SISTEMA PRIMARIO: Si falla un alimenta

dor primario por ejemplo en Nº 2 primero se despejará la falla con el disyuntor Nº 2 del alimentador primario, luego las unidades 1 y 3 entregan potencia y corriente de falla al alimentador 2 en sentido inverso a través del transformador del alimentador secundario 2 y la barra de servicio; pero en este instante actúa el relé de potencia inversa 2 de esta manera se desconecta la parte fallada del sistema.

Si falla el relé de potencia inversa; el fusible - dará la protección de respaldo y desconectará el alimentador fallado del sistema.

FALLA EN LA BARRA DE SERVICIOS: Según la operación de redes secundarias los relés de sobre corriente controlan a los disyuntores de los alimentadores - primarios en la subestación pero estos no alcanzan a detectar las fallas que ocurren después de los transformadores que están conectados a continuación de los alimentadores primarios (fallas secundarias); por tanto una falla en la barra de servicios no hará que opere los relés de sobrecorriente de los alimentadores primarios, ni los relés de potencia inversa; sino los fusibles serán los encargados de despejar la falla del sistema.

Nótese que en este caso actúan todos los fusibles con lo cual se pierde toda la alimentación de - energía eléctrica a un centro de carga, por lo - tanto se debe tener una consideración extrema para la protección de la barra de servicio, ya que si ocurre una falla en la barra de servicio se pier de toda la alimentación. Aún más su diseño debe - ser tal que se consiga la máxima seguridad y re ducir al mínimo posible la probabilidad de que ocu rran fallas en la barra de servicios; esto signi- fica que la barra de servicios será preferentemente de fa ses aisladas con adecuada aislación entre fases y entre fases y tierra; las conexiones de los transformadores de - la barra de servicio se harán con cables adecuados y las conexiones de la barra de servicio a las tomas de servicio se harán también dentro de cajas metálicas a prueba de pol vo y agua.

FALLAS EN LAS TOMAS DE SERVICIO: Para asegurar un servicio confiable de la barra de servicios ; todos los servicios se deberán conectar a través de dispo sitivos de protección para sobrecorrientes como se ha ilustrado en la figura Nº 2.6.1.

Para toda falla que ocurra entre el usuario y el servicio de tomas; el elemento protector de la to

ma de servicio que ha fallado debe operar antes que los fusibles de la barra de servicio empiece a fundirse.

Se debe tener en cuenta también que según la capacidad de energía disponible en un circuito; la corriente de cortocircuito permisible tiende a ser muy elevada por lo que es imprescindible que los elementos de protección tengan una capacidad de interrupción adecuada.

FALLA EN EL SISTEMA DE PROTECCION: Evitar las fallas en el sistema de protección es tan importante como la protección de la barra de servicio. Una de las características del sistema de protección es el adecuado aislamiento entre fases y tierra.

El fusible del sistema de protección operará principalmente para dar respaldo a los elementos de protección de los alimentadores primarios; esto conlleva a que ayude a prevenir una falla cuando ocurre - en el secundario puesto que el fusible del sistema de protección no es del tipo limitador de corriente, con esto también se enfatiza la importancia de realizar una coordinación entre los dispositivos de -

protección las tomas de servicio y los fusibles del sistema de protección, con lo cual el sistema de alimentación está menos expuesto a las interrupciones.

En muchos casos el sistema de protección se instala en un lugar seco tal como mezzanines, sótanos;protegidos del agua y humedad. También dentro de un cuarto de la construcción donde está el servicio de alimentación eléctrica o ya sea en cabinas metálicas, en un ambiente como estos, es posible y práctico cambiar de lugar el fusible del sistema de protección si se halla interiormente y reemplazarlo con un fusible limitador colocado externamente del sistema de protección; con lo cual se situaría entre los terminales del protector de servicio. Desde el punto de vista de protección; siempre es preferible conectar el fusible externamente.

Si a pesar de todas estas precauciones ocurre la falla en el sistema de protección, el sistema de protección que ha fallado puede desconectarse de la barra de servicio por la operación del mismo protector si la falla está en el lado del transformador de corriente; pero si la falla ocurre en el lado de la carga del transformador de corriente, se podrá

despejar con el fusible del sistema de protección, la operación del protector o la operación de ambos. Si se hace uso del fusible tipo limitador de corriente conectado exteriormente; la forma de desconectar el sistema de protección en la barra de servicio cambia.

FALLA EN LOS TRANSFORMADORES: Luego de desconectarse el protector que ha fallado de la barra de servicio; la falla aún puede continuar en el secundario del transformador, normalmente los relés de sobrecorriente del alimentador primario no detectan una falla en el lado secundario; entonces la falla puede continuar hasta que llegue al devanado primario del transformador entonces será cerrado por - los relés de sobrecorriente del alimentador primario, esto es de acuerdo a la filosofía de la operación convencional de redes secundarias, bajo la cual el transformador está expuesto a que se queme a fin de mantener la continuidad de servicio en la barra del secundario (o barra de servicio).

2.7. LIMITACIONES EN LAS CORRIENTES DE FALLA

La corriente de cortocircuito asimétrica fluirá por el circuito hacía la falla durante algunos ciclos -

dependiendo de la relación de X/R(reactancia/resistencia) del sistema.

La corriente de falla asimétrica decaerá posteriormente al valor simétrico estable; como la corriente asimétrica es siempre mayor que la corriente simétrica , se tiene que la mayor cantidad de energía destructible fluye por los sistemas eléctricos durante los primeros ciclos después de haber iniciado la falla. La cantidad de energía destructiva es proporcional al cuadrado de la corriente y es ésta la razón más importante para limitar la corriente de falla hasta un mínimo posible.

Actualmente se diseñan y construyen fusibles capaces de limitar estas corrientes permisibles al sistema y se puede entonces utilizar elementos en los circuitos que soportan corrientes de falla con magnitud menor a las corrientes de falla permisibles en el sistema.

En la figura 2.7.1, se indica tanto la corriente permitida en el sistema como la corriente limitada cuando despeja la falla un fusible que ha sido diseñado para que limite la corriente. El área bajo la curva de corriente indica la cantidad de energía de corto circuito que se disipa en el circuito. Se sabe ade

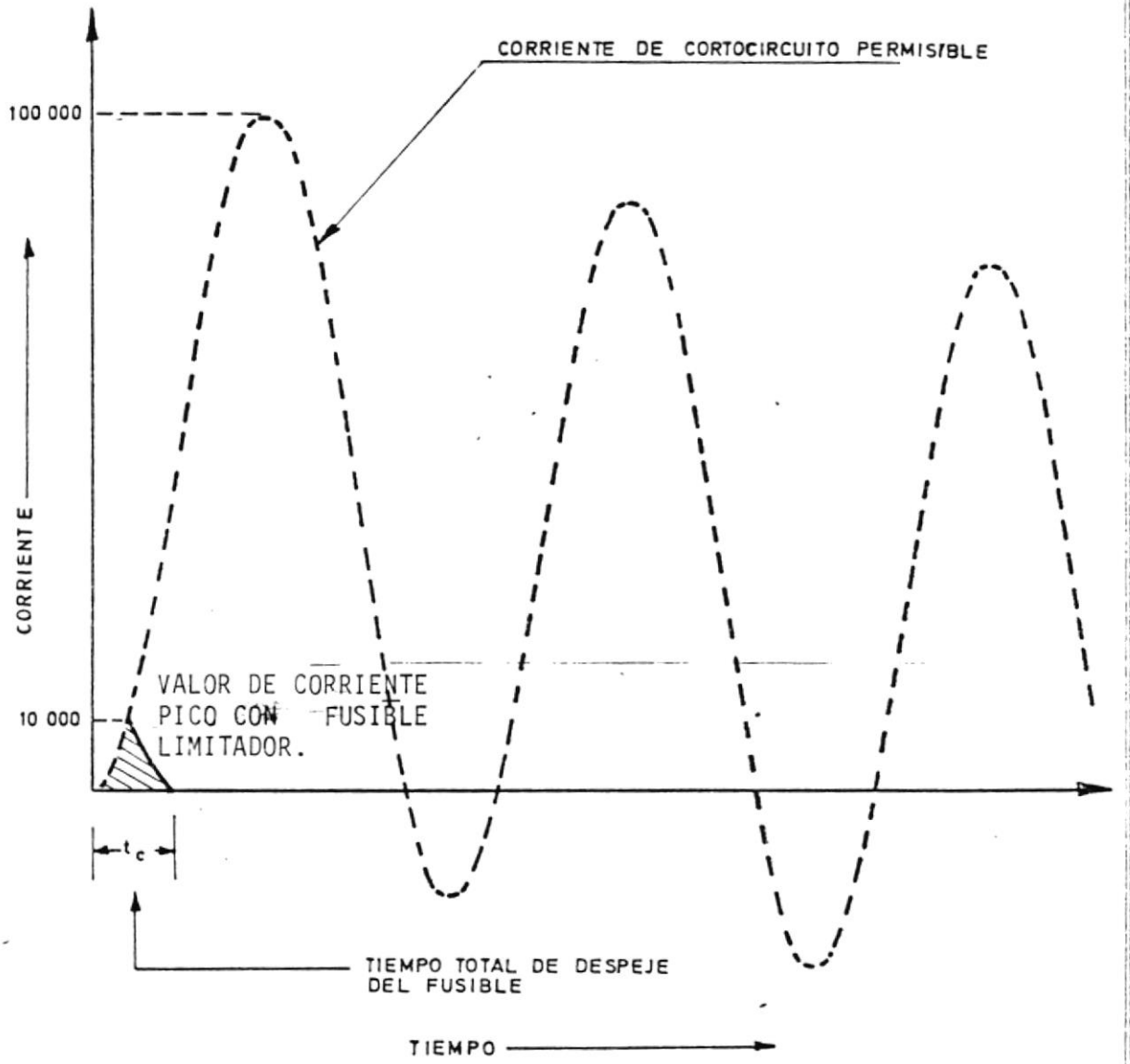


Fig # 2. 7. 1.

EFECTO DE LOS FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE

más que la fuerza magnética y la energía térmica son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente; pero la fuerza magnética varía con el cuadrado - del valor pico de corriente, mientras que la energía térmica varía con el cuadrado del valor RMS de la corriente; por tanto es necesario considerar que una instalación esté segura contra los cortocircuitos (o fallas) esto implica que la resistencia térmica y mecánica de los elementos del sistema puedan soportar los máximos esfuerzos que se presentan en dicho sistema.

Desde el punto de vista económico se estudia la conveniencia entre preparar al sistema eléctrico para - que resista todos los esfuerzos que se presenten; o disminuir la potencia de cortocircuitos para reducir sus efectos; este último caso es de fundamental importancia como de gran aplicación cuando la generación del sistema es creciente.

Existen otros métodos más antiguos para limitar la corriente pero que tiene muchos inconvenientes como son:

- Elección de una tensión lo más elevada posible ya que sabemos que la corriente de cortocircuito es

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V}$$

donde I_{cc} = Corriente del Cortocircuito

P_{cc} = Potencia de Cortocircuito

V = Tensión nominal de línea a línea del sistema.

Según la expresión tenemos para una misma capacidad de cortocircuito a mayor tensión obtenemos menor corriente de cortocircuito; pero este trae consigo - problemas de aislamiento; riesgos de trabajo; más aún en sistemas ya existentes resulta imposible elevar la tensión del servicio.

- Otro método es elevando la impedancia del cortocircuito: Esta elevación puede ser añadiendo ya sea resistencia o reactancia en el sistema.

Si se añade la resistencia tiene el inconveniente de incrementar las pérdidas por efecto Joule y disminuye la eficiencia del sistema; a más de que la resistencia es muy pequeña comparada con la reactancia - del sistema por lo que tendrá muy poca influencia sobre el valor de las corrientes de cortocircuito.

Si se añade reactancia al sistema se obtiene más eficacia que el método anterior; para esto se intercala bobinas de inducción con núcleo de aire en el sistema;el núcleo de aire es con el fin de que la reactancia sea siempre proporcional a la corriente que atravieza a la bobina y evitar los problemas de saturación para toda corriente por elevada que esta sea. Estas bobinas se los conocen comunmente como bobinas o reactancias limitadores o bobinas de choque.

Las bobinas de choque tienen inconvenientes cuando se usa en baja tensión por las grandes corrientes en servicio normal y por lo tanto las pérdidas por efecto - Joul son demasiado elevadas.

Las funciones principales que desempeñan las bobinas - limitadores en un sistema eléctrico son:

- Limitar la corriente de falla; evitando esfuerzos mecánicos y sobrecalentamientos excesivos de los elementos.

- Disminuir la magnitud de las perturbaciones de la tensión producidas por falla.

- Mejorar las condiciones de funcionamiento impuestos

a los diferentes elementos del sistema y a un costo relativamente bajo.

2.8. DESPEJE TEMPORAL DE FALLAS

El despeje temporal de fallas se hace con el fín de minimizar los efectos de las corrientes de fallas que pueden ocurrir en un sistema eléctrico.

El despeje temporal de fallas se hacen mediante el uso de los dispositivos automáticos de protección denominados reconectadores; los cuales abren y cierran un circuito de potencia automáticamente, su diseño es de tal forma que acciona cuando ocurren fallas temporales y permanentes ya descritas anteriormente.

Refiriéndonos a la figura Nº 2.8.1, tenemos que el disyuntor Nº 1 con su relé de reconexión (reconectador) proteje contra todo tipo de falla temporal que ocurra dentro de su zona de protección (marcada con línea punteada) ya sea que ocurra en el alimentador; en una de sus ramas o subramas como se indica en la figura. La zona de protección se extiende hasta el punto donde la corriente mínima de falla permitida (calculada en el circuito) es igual al valor de la corriente mínima que hace actuar al relé del reconectador para su operación y que más comunmente se lo conoce como valor(o

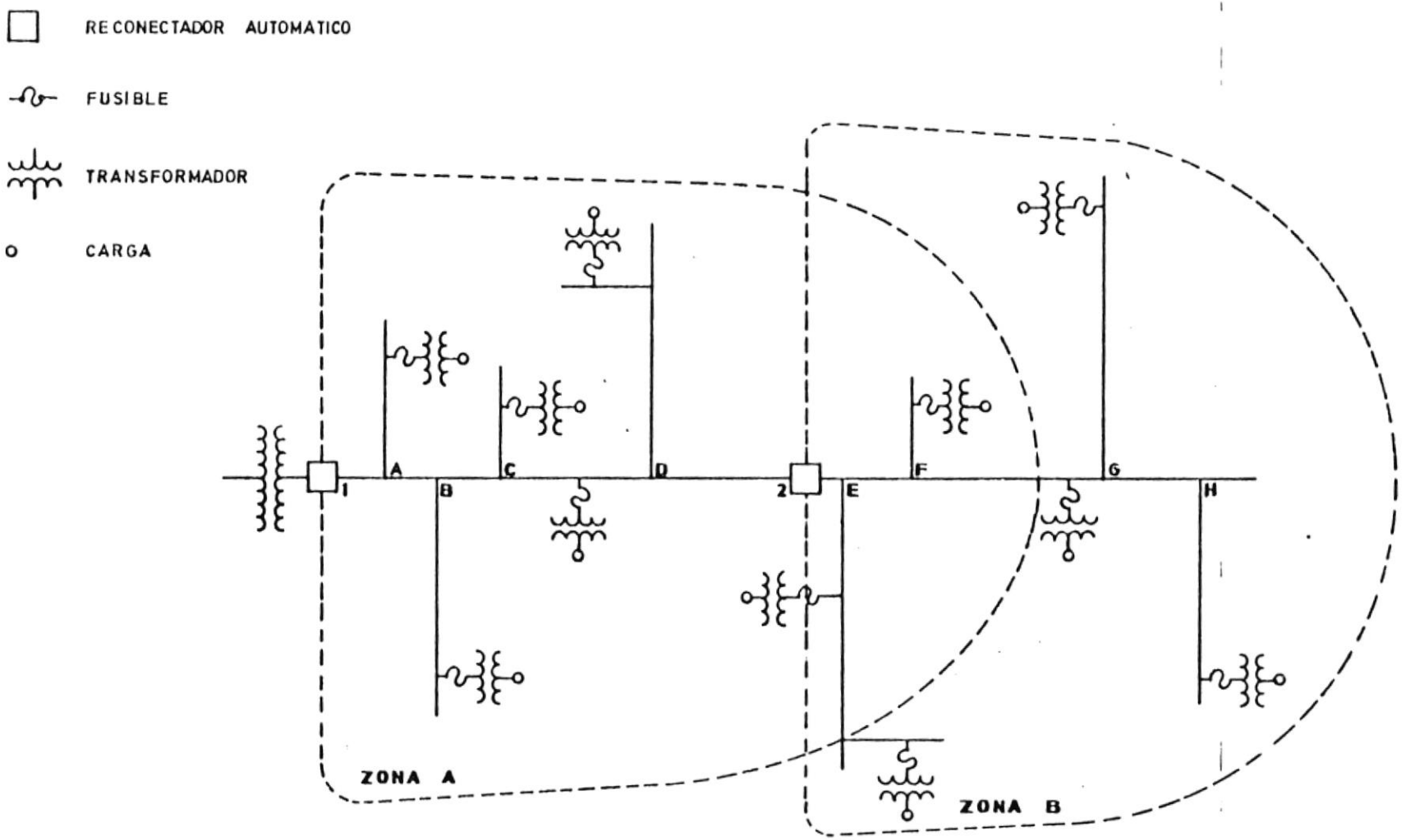


Fig # 2. 8. 1.

CIRCUITO DE PROTECCION PARA FALLAS TEMPORALES Y PERMANENTES

corriente)mínima de "Pick-Up".

Para reconectadores estandares; este valor de corriente es igual al doble del valor de corriente continua nominal del reconectador más su tolerancia especificada por el fabricante.

El reconectador Nº 2, tiene la finalidad de proteger fallas temporales hasta los extremos del alimentador e incluyendo una pequeña zona del reconectador Nº 1 (denominado zona de superposición); como el reconectador Nº 2, está más alejado de la fuente; su valor de corriente mínima de "Pick-UP" es menor al valor de Pick-UP del reconectador Nº 1, por este efecto - asumimos que una falla en el alimentador, en cualquier rama o subrama a la derecha del reconectador - Nº 2, producirá corriente suficiente para que opere el reconectador Nº 2; su zona de protección también está marcada con línea punteada; de esta manera se proteje el circuito contra toda falla temporal puesto que el circuito está dentro de la zona Nº 1 o de la Nº 2.

2.9. DESPEJE PERMANENTE DE FALLAS

Si el reconectador actúa durante una falla permanente,

en el momento de la reconexión detectará nuevamente la falla y desconectará la parte del sistema que ha fallado; las veces de desconexión del circuito dependerá del ajuste del reconectador y generalmente no excede de cuatro veces. El reconectador está diseñado de tal manera que en su última operación queda abierto permanentemente hasta que un operador lo cierre manualmente después que se ha despejado la falla.

Con el método de despeje permanente lo que se intenta es dar tiempo para que una falla temporal o transiente sea despejada en forma temporal y poder mantener la continuidad de servicio y en caso de que la falla sea permanente o que siendo inicialmente - momentánea se convierta luego en permanente sea despejado del sistema con una desconexión también permanente.

Se debe tomar en cuenta que en el tipo de fallas - permanentes; lo que se quiere es que la línea fallada se desconecte automáticamente del resto del circuito para que el suministro de energía se vea afectado en lo mínimo. Esta aislación de fallas permanentes pueden realizarse con fusibles que son más económicos inclusive que los dispositivos de seccionalización; puesto que el despeje de fallas perma

nentes con el uso de reconectadores automáticos incluyen grandes costos de inversión.

2.10. EFECTO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Las corrientes de cortocircuito provocan:

- Esfuerzos electrodinámicos: Tanto en las barras, apoyos, aisladores y demás dispositivos del circuito por los que atravieza la corriente de cortocircuito. El conocimiento de estos efectos es esencial para el diseño de los dispositivos antedichos; así como el dimensionamiento y selección de los mismos están en función de su resistencia física a los diferentes esfuerzos.

- Esfuerzos Térmicos: Estos esfuerzos térmicos adicionales a los de condiciones normales que también dependen del cuadrado de la corriente y de la duración del cortocircuiyo. El conocimiento de los esfuerzos térmicos también es fundamental para determinar si el calentamiento de las diferentes partes de la instalación está dentro de los límites permitidos.

Para determinar el calentamiento en forma aproximada, se considera el valor de la corriente estable de cor

tocircuito y el tiempo transcurrido desde el inicio del corto hasta la desconexión de los disyuntores correspondientes.

Para realizar cálculos más exactos se debe tener en cuenta la magnitud de las corrientes transientes y subtransientes con sus respectivos tiempos, también se debe considerar la disipación del calor al ambiente durante el corto; el calor específico del elemento afectado no permanece constante debido al cambio brusco de temperatura del material.

La concentración de calor en el material afectado - por el cortocircuito se debe a que el tiempo de duración del cortocircuito es muy pequeño comparado con el tiempo de disipación del calor; con lo cual puede ocurrir que el conductor adquiera temperaturas admisibles. El calentamiento puede causar desde una disminución del poder dieléctricos del material aislante del conductor hasta su fundición inclusive.

El efecto más común del calentamiento es que el aislante al ir perdiendo paulatinamente su característica dieléctrica se producen pequeñas averías en el mismo hasta que después de haber soportado varios - cortocircuitos estas averías llegan a ser considera-

bles a tal punto que se pueden producir arcos eléctri
cos con solo pequeñas sobretensiones del sistema.

CAPITULO III

FUSIBLES

3.1. PROTECCION CON FUSIBLES

Este elemento de protección tiene mucha aplicación - tanto en alta como en baja tensión. Modernamente se lo emplea para desconectar la parte de un sistema que ha fallado; de esta manera mantenemos la continuidad de protección se tiene la seguridad de reconectar la parte del sistema que ha fallado, luego de que la falla desaparece puesto que su reconexión tiene que hacerse manualmente.

Si miramos desde el punto de vista económico; es el método menos costoso y desde el punto de vista técnico es el elemento de protección más sencillo de conectar en el sistema eléctrico por consiguiente también el más sencillo para su mantenimiento y más aún es el más sencillo de coordinar una vez conocidas - sus características como se describirán posteriormente. Los fusibles que desempeñan esta función se localizan generalmente en ramas o subramas de menor im

portancia relativa para el sistema.

En la figura Nº 3.1.1., se muestra la conexión para que los fusibles que desconecten fallas permanentes los hagan en la forma más efectiva. Los fusibles 1, 2, 3, etc., operarán independientemente cuando ocurra una falla permanente en sus respectivas ramas o subramas.

Cuando se instalen los fusibles y portafusibles en el sistema eléctrico; deberán tener sus valores adecuados como son tensión y corriente nominal. Así como su capacidad de interrupción debe ser algo mayor que la capacidad de interrupción permitida del sistema, en el punto que se instala el fusible.

3.2. TIPOS DE FUSIBLES Y COMPARACION

Los fusibles son diseñados y construídos de diferentes tipos según las necesidades que el sistema exija; así tenemos que prácticamente se los puede utilizar - para cualquier necesidad muchas veces emergentes que se presentan en los sistemas eléctricos. Otros sirven para aplicaciones específicas en los que se hace uso de sus características; pero hay otros que se los diseña con características especiales y que solo se

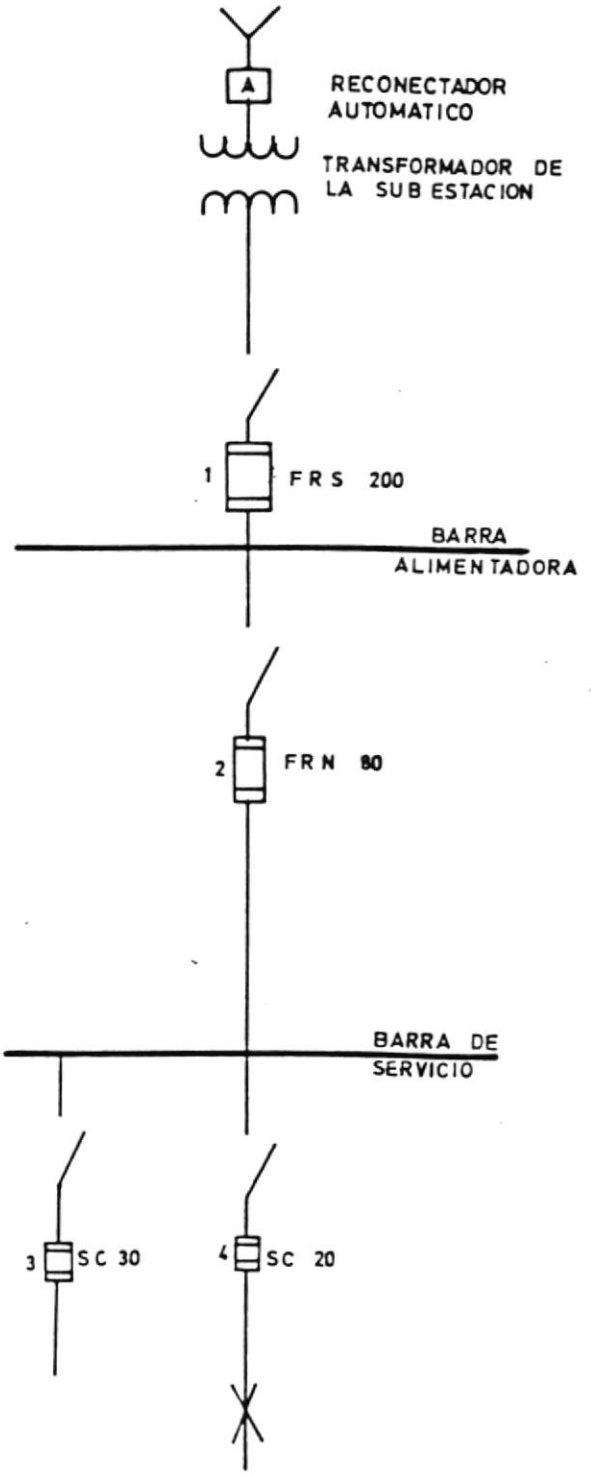


Fig # 3. 1. 1.

PROTECCION CON FUSIBLE

puede aplicar en condiciones muy determinadas; este último caso tiene por finalidad dar una protección adecuada y mantener al mismo tiempo la selectividad del sistema.

Así tenemos los fusibles de cartucho para baja tensión que se los denomina como tipo H. Su clasificación se realiza según su capacidad de interrupción hasta 10.000 amperios. Los fusibles de cartucho(según los laboratorios Underwriter) que tienen capacidad de interrupción entre 10.000 y 200.000 amperios eficaces de corriente simétrica se los clasifica como J,L,G, o K, por tanto son de alta capacidad de interrupción o limitadores de corriente.

Los fusibles J y L tienen capacidades de interrupción de 100.000 a 200.000 amperios eficaces de corriente simétrica y este valor debe marcarse en cada uno de los fusibles sean J o L. Estos fusibles además tienen dimensiones diferentes a los fusibles tipo H para la misma tensión nominal y el mismo calibre; para evitar equivocaciones los fusibles J y L tienen porta fusibles especiales en los cuales se pueden poner solamente fusibles que sean limitadores de corriente.

Los fusibles de tipo J hasta 60 amperios son de casquillo; los de 61 a 600 amperios son de tipo cuchilla y en sus cuchillas poseen ranuras que permiten conexiones roscadas o de contacto de cuchilla con los portafusibles.

Los fusibles tipo L se dividen en varias clases según su capacidad en amperios; el número de agujeros de montaje varía con el tamaño del fusible y al mismo tiempo permite su roscado al porta fusible. Sus características son semejantes a los del tipo J.

Los fusibles de tipo G tiene tensión de 300 voltios que se los emplea en circuitos de más de 10.000 amperios eficaces, estos fusibles son capaces de soportar 100.000 amperios eficaces de corriente simétrica según los laboratorios Underwriter.

Los fusibles de tipo K tiene capacidad de interrupción entre los 50.000 y 200.000 amperios eficaces.

Al comienzo se los dividió en tres grupos K1; K5 y K9 que indican los valores de I^2t (energía) y la corriente pico; los fusibles K1 limitan más la corriente que los fusibles K5 y K9. Actualmente los fusibles K aprobados por los laboratorios Underwriter tienen

iguales dimensiones que los fusibles H. de 0 a 600 amperios y no llevan la denominación de limitadores de corriente a pesar de que los fusibles K1 son muy similares a los fusibles J para evitar este posible intercambio se fabrican portafusibles de clase K con rechazo de fusibles tipo H.

También se construyen fusibles de cartucho de tipo K con elemento doble; esta variante es una combinación de un elemento térmico para protección contra sobrecargas hasta del 800% de su carga nominal con un elemento de fusión para protección de cortocircuitos.

3.3. SIMBOLOS: MARCA Y CLASE DE FUSIBLES

Respecto a la simbología de los fusibles no se ha podido aún establecer un estandar puesto que esto viene dado por los fabricantes; tal como se da en la tabla 3.3.1. En esta tabla se aprecia la abreviatura de los símbolos del fusible; el voltaje a que trabajan la marca comercial que lo fabrica con sus características respecto al tiempo; la clasificación a que pertenecen; se especifican sus capacidades de interrupción y si son registrados por los laboratorios Underwriters.

TABLA 3.3.1.

SIMBOLOS, MARCAS Y CLASES DE LOS FUSIBLES

SIMBOLOGIA DEL FUSIBLE	MARCA COMERCIAL		CLASIF.POR LAB. UNDERWRITERS	REVISADO	CAP.INT.(A) SIM. RMS
KRP-C(600V)	HI-CAP(r)	Fusible con retardo de tiempo	L	SI	200.000
KTU (600V)	LIMITRON(r)	Fusible de acción rápida	L	SI	200.000
KTX (600V)	LIMITRON (r)	Fusible de acción rápida	L	SI	200.000
KTN (250V)	LIMITRON (r)	Fusible de acción rápida	K-1	SI	200.000
KTS (600V)	LIMITRON (r)	Fusible de acción rápida	K-1	SI	200.000
LPN (250-)	LOW-PEAR	Fusible de doble elemento	K-5	SI	200.000
LPS (600V)	LOW-PEAR	Fusible de doble elemento	K-5	SI	200.000
FRN (250V)	FUSETRON	Fusible de doble elemento	K-5	SI	200.000
FRS (600V)	FUSETRON	Fusible de doble elemento	K-5	SI	200.000
NOL (250V)	BUSS	Fusible de un tiempo	H	SI	10.000
LOS (600V)	BUSS	Fusible de un tiempo	H	SI	10.000
REN (250V)	SUPER-LAG	Fusible renovable	H	SI	10.000
RES (600V)	SUPER-LAG	Fusible renovable	H	SI	10.000
SC (300V)	BUSS	Fusible tipo SC	G	SI	100.000
JKS (600V)	LIMITRON	Fusible de acción rápida	J	SI	200.000
JHC (600V)	HI-CAP	Fusible con retardo de tiempo	J	NO	200.000
W (125V)	BUSS	Fusible tipo tapón	BASE DE EDISON	SI	10.000
T (125V)	FUSETRON	Fusible con doble elemento tipo tapón.	BASE DE EDISON	SI	10.000
S (125V)	FUSTAT	Fusible con doble elemento	S	SI	10.000

3.4. FUSIBLES PARA BAJA Y ALTA TENSION

Para Baja Tensión: Según los reglamentos; para baja tensión se emplearán fusibles hasta de 400 kilovóltio-amperios para proteger las instalaciones contra sobre corriente; para instalaciones de mayor capacidad se instalarán interruptores automáticos de baja tensión. Generalmente los fusibles utilizados son construídos de plata que llevan terminales de latón o cobre para sujetarse en sus cajas portafusibles; la longitud de las tiras fusibles se los ha estandarizado.

Para fusibles de 10 a 100 amperios..... 80 mm.
Para fusibles de 125 a 250 amperios..... 100 mm.
Para fusibles de 300 a 400 amperios ..... 110 mm.
Para fusibles de 500 a 800 amperios ..... 120 mm.

Se debe tomar en cuenta que estos valores de placa de los fusibles son sus valores máximos de trabajo.

La separación entre las placas de fusible es la necesaria para que no se produzcan arcos entre ellas en el momento de la fusión; por eso cuando en los circuitos existan grandes corrientes permitidas; se colocan un sistema de cámaras aislantes entre fases que comunmente se los conoce como extinguidor de arco.

Según los reglamentos vigentes se recomienda que para corrientes menores de 500 amperios se usen fusibles - de cartucho; este tipo de fusible consiste en un tubo de fibra vulcanizado, papel u otro material similar - dentro del cual va montado el fusible y generalmente el fusible está rodeado de un material inerte; estos pueden ser con o sin retardo de tiempo.

Para pequeños amperajes se usan fusibles de tapón roscados; estos tienen más aplicación en los sistemas de iluminación o alumbrado ya que la corriente de estos casos de conexiones es mucho más estable.

Para protección de pequeños aparatos eléctricos se construyen fusibles de cartucho de vidrio. Los tipos tapón roscado también pueden ser o no de acción retardada; pero, los de cartucho de vidrio no tienen de acción retardada.

Para Alta Tensión: Los fusibles son aplicados principalmente cuando, las instalaciones son de reducida capacidad. Físicamente consta de un tubo de porcelana o baquelita en cuyos extremos están unos anillos de latón que portan láminas del mismo metal; las cuales se enchufan en contactos a presión. Uno o varios hilos fusibles pasan por el interior del tubo y se sujetan

por tornillos y sus correspondientes arandeles; a la armadura metálica de que va provisto cada anillo de los extremos del tubo.

Cuando ocurre un corto circuito los hilos se funden - formándose gases y se expanden con fuerzas al exterior del tubo; en presencia del aire se dilata el arco produciéndose una pequeña explosión y se extingue el arco.

El interior del tubo aislante está recubierto por un cilindro de amianto para que no haya contacto del tubo con los fusibles y a la vez sirve de protección - del tubo en el momento de la fusión.

Si los fusibles son de tubo abierto; este deberá colocarse en posición vertical y jamás en posición horizontal; a fin de que la ventilación de los gases sean óptimas.

Es necesario desconectar el fusible del sistema para recambiarla pero esto se debe realizar con un sistema convenientemente aislado para su operación, más aún la reposición del fusible es preferible realizarlo - desconectando primero el circuito por medio de los

seccionadores.

Con el fin de aumentar la capacidad de ruptura de los fusibles de alta tensión se han realizado una serie - de experimentos ya sea variando las dimensiones de los fusibles ó utilizando diferentes sustancias como medio extintor.

El método que ha dado los mejores resultados ha sido el uso de arena especial con la que se obtiene una gran capacidad de absorción de los gases y presenta - un efecto refractario a cualquier combinación química con el hilo fusible.

Los gases que se producen cuando se funden los hilos fusibles debido a un corto circuito, son absorbidos y condensados por el polvo extintor, con el cual se produce una desionización brusca del arco y desapareciendo al mismo tiempo.

La explosión no se presenta puesto que los gases del fusible fundido se introducen entre los espacios libres de la arena y en este caso no se produce sobre presión. Este tipo de fusible generalmente tiene indicadores incorporados que se les conoce como banderas los cuales sirven para apreciar desde lejos si el fusible se ha fundido.

Los fusibles de gran poder de éste tipo tiene capacidad de interrupción hasta más de 300 megavoltio-amperios.

Una combinación adecuada en serie entre los fusibles de alta tensión y seccionadores de gran capacidad reemplazan a los interruptores automáticos que son muchos más costosos; el inconveniente de la combinación está en que al operar un solo fusible que da al sistema con dos fases energizadas; con lo cual se producen daños considerables a los motores trifásicos, especialmente a los de gran capacidad; por tanto en las instalaciones industriales conectados por este tipo de servicio se les sugiere que tengan un sistema de protección contra falla de fase para prevenir daños en sus aparatos.

Modernamente se evita este inconveniente con una variación en el diseño de los seccionadores; los cuales tiene un dispositivo de disparo que el interrumpe las tres fases (así como un interruptor tripolar) mediante acción mecánica de percusión de una pieza colocada en la parte superior del fusible y que al fundirse este; se eleva la pieza con fuerza y choca con una palanca que libera al árbol de mando de las tres cuchillas y las desconecta.

Las predicciones que se deben considerar para fusibles

de alta tensión son: Se utilizarán solo para capacidades hasta de 200 kilovoltios-amperios o tensión máxima de 15 kv., para valores mayores se utilizarán interruptores automáticos de alta tensión.

3.5. NORMALIZACION DE LAS TIRA-FUSIBLES

Con el fin de tener uniformidad en el uso de los fusibles se han establecido ciertos acuerdos entre los fabricantes, así tenemos el fusible tipo "N"; en este tipo se especifica que la tira-fusible será capaz de soportar el 100 % del amperaje nominal del circuito - en que esta conectado y se fundirá cuando la corriente sea un 230 % de su valor nominal en un tiempo de cinco minutos.

Este método de especificar una tira-fusible no fué - completamente satisfactorio; ya que se expecificaba - un solo punto de sus caracteristicas tiempo vs.corriente; por lo que los fabricantes solo coordinaban su elemento en un solo punto específico; pero no necesariamente en el resto de la característica. Para evitar estos inconvenientes, los fabricantes de fusibles han estandarizado el fusible en dos tipos que son fusibles tipo K y tipo T; más comunmente se los conoce como rápidos y lentos, respectivamente.

Los fusibles sean lentos o rápidos tienen la ventaja de ser intercambiables con los de otros fabricantes; puesto ya que sus características mecánicas son las mismas; en cuanto a sus características eléctricas - tiene igual valor en tres puntos de sus caracterísi cas tiempo vs. corriente; estos puntos son:

a. En 300 segundos para fusibles hasta de 100 amperios
   600 segundos para fusibles de 140 y 200 amperios.

b. En 10 segundos.

c. En 0.1 segundos.

El tiempo mínimo de fundición de la característica de los fusibles "K" o "T" no será menor que los valores mínimos indicados; por tanto las características míni mas de fundición de los fusibles más sus tolerancias dadas por sus fabricantes serán siempre menores que los valores que se indican en las tablas; puesto que los valores dados en las tablas son valores máximos.

Con el propósito de realizar una operación selectiva de los fusibles tipo "K" y tipo "T" cuando se conec- tan en series se los ha estandarizados como:

"Fusibles preferidos" aquellos que tienen 6, 10,15, 25, 40, 65, 100, 140 y 200 amperios de valores nominales y como fusibles "no-preferidos" aquellos fusibles de los siguientes valores intermedios: 8,12,20, 30,50, y 80 amperios.

Las normas establecen que cualquier fusible preferido proteje su inmediato superior preferido y cualquier fusible no preferido proteje también a su mediato superior no preferido.

En ciertos casos también se pueden obtener una operación selectiva entre un fusible preferido y un no preferido que tengan valores nominales inmediatos (superior o inferior).

Los fusibles menores de 6 amperios se han estandarizado en 1, 2 y 3 amperios y su coordinación no es garantizada por lo que su coordinación de cualquiera de ellos se lo realiza solo con los de 6 amperios.

El tiempo mínimo de fundición en las curvas características de tiempo vs. corriente de los fusibles están determinados por los resultados obtenidos por los fabricantes al sacar un promedio de sus pruebas de fabrica-

ción y también está determinado por las normas NEMA.

El tiempo total de aclaramiento de las características para los fusibles incluyen el tiempo mínimo de fundición; más la tolerancia dada por el fabricante; más el tiempo máximo de arco; el tiempo máximo de arco también esta dado de acuerdo con las normas NEMA. Cuando se usa los factores de arco en lugar de las pruebas de la razón de voltajes; esta información constará escrita en las curvas características

3.6. FUSIBLES DE POTENCIA

Un fusible de potencia es un fusible que consta de un conjunto de soporte de fusible y una unidad fusible propiamente dicha o fusible con tenedor; el cual puede o no puede incluir la unidad de relleno del fusible. Estos fusibles se identifican por las siguientes características:

a. Poder de resistencia dieléctrica (BIL) a niveles de estaciones, subestaciones y transmisiones de potencia.

b. Para aplicaciones primarias en estaciones y subestaciones.

c. Su construcción mecánica está adaptado principalmente para montaje de estaciones y subestaciones.

d. Los voltajes de operación están limitados solo a voltajes de subestaciones y sistemas de transmisión.

Los fusibles de potencia que conforman las normas - NEMA de alta tensión tiene marcados una "E" luego - del valor nominal del fusible; por ejemplo si el fusible es de 20 amperios de valor nominal y además - es un fusible de potencia entonces será 20E.

Los fusibles de potencia tienen los siguientes valores nominales consecutivos. 0.5E; 1E; 2E; 3E; 5E;7E; 10E; 20E; 25E; 30E; 40E; 50E; 65E; 80E; 100E; 125E; 150E; 200E; 250E; 300E; y 400E amperios.

Las normas establecen que los fusibles de potencia hasta 100E amperios (inclusive) se fundiran en 300 segundos con un rango de corriente del 200 al 240% de sus valores R.M.S. nominal; para fusibles de potencia de motores de 100E amperios se fundirán en 600 segundos con un valor de corriente RMS del 220 al 264% del valor nominal. Para corrientes mayores

de los especificados; las características de tiempo vs. corriente variarán según el diseño de los fabricantes; sin embargo para un tiempo de fundición dado; la máxima corriente RMS de estado estable no excederá el mínimo establecido que es no mayor de un 20 %.

Los voltajes de diseño y sus respectivos voltajes - máximos permitidos para los fusibles de potencia tenemos (según la tabla 3.6.1):

VOLTAJE NOMINAL (KV)	VOLTAJE MAXIMO DE DISEÑO (KV)
0.60	0.625
2.50	2.75
5.00	5.50
7.50	8.25
15.00	15.50
23.00	25.80
34.50	38.00
46.00	48.30
69.00	72.00
92	No se asignado un máximo
115.00	121.00
138.00	145.00
161.00	169.00

TABLA 3.6.1.

TENSION NOMINAL Y TENSION MAXIMA DE DISEÑO DE LOS FUSIBLES

3.7. FUSIBLES DE POTENCIA TIPO EXPULSION

Los fusibles tipo expulsión son generalmente de dos clases:

Los fusibles de potencia tipo expulsión construídos con tubos de fibra que son diseñados en forma parecida a los de tubo de fibra que se utilizan en portafusibles en distribución y hasta su operación se los realiza de la misma manera.

Los fusibles de potencia tipo expulsión construídos con ácidos bóricos difieren de los con tubos de fibra en que el elemento fusible se encuentra en el centro de una cavidad cilíndrica hecha de ácido bórico seco y comprimido en lugar de fibra. El fusible esta sometido a tensión con un resorte de manera que está listo para la operación de fusible. Cuando el fusible se rompe; el resorte separa el un extremo a través de la cámara de ácido bórico formando una trayectoria de arco entre la parte fija y la parte que va apartando del fusible.

El calor producido por el arco eléctrico descompone parte del ácido bórico comprimido; se produce vapores de agua con lo cual se genera oxido de boro.La

extinción del arco se produce por la acción desionizante del vapor y la turbulencia de grandes cantidades de partículas de oxido de boro lo cuales son - causantes de la rapidez de la desionización sea mayor que la rapidez de la ionización del arco. Los gases - inorgánicos expulsados por el portafusible tienen una alta - resistencia dieléctrica que impide que se produzca la combustión(o llama) a su alrededor.

Los fusibles con ácido bórico son inherentemente rápidos que interrumpen magnitudes de corrientes de corto circuito aproximadamente en medio ciclo medido desde el instante de ocurrido la falla. Durante este medio siglo la corriente de cortocircuito puede ser mucho mayor que la corriente de cortocircuito calculada en ese punto; esto se debe a la componente continua transiente.

3.8. FUSIBLES DE POTENCIA LIMITADORES DE CORRIENTE

El objetivo de su diseño es como su palabra lo dice limitar el flujo de la corriente de una falla e interrumpir rapidamente el circuito. La acción de limitar la corriente del fusible se lo realiza insertando una resistencia alta en el circuito durante la operación del fusible. El fusible consta de un número de alambres de plata (generalmente), colocados en

paralelo en los extremos de las ranuras de un núcleo cilíndrico que tiene alta resistencia al calor. El núcleo cilíndrico con un solo alambre de plata en cada ranura se introduce en el tubo y el espacio entre la cara del núcleo y la pared del tubo es rellenado con arena o gránulos de quartzo. En condiciones de falla, la plata se evapora aumentando muchas veces su volumen original y las fuerzas desarrolladas durante esta expansión remueven a la plata desde la trayectoria del arco hacía los espacios que existen entre las partículas de arena[1].

El vapor de la plata se condensa debido a que las partículas de arena están relativamente frías. El arco está entonces limitado a los pequeños espacios que fueron ocupados por los alambres de plata. Al estar el arco en contacto con la arena, la mayoría de la energía del arco es disipada a través de la transferencia de calor a la arena con la inserción de las partículas de plata entre los espacios de la arena.

La transferencia de calor del arco a las partículas de arena hacen que la arena adquiera mayor resistencia dieléctrica para el paso del arco.

El valor límite del fusible y el valor nominal del fu

sible ya bien tabulados por los fabricantes.

En adición al elemento limitador de corriente, en algunos fusibles de potencia limitadores de corriente también tienen otros fusibles en serie que comunmente se le denominan "limpiador"; este elemento sirve como interruptor final de cualquier corriente de falla que interrumpe el elemento limitador de corriente cuando opera.

El Elemento "limpiador" es del tipo de baja temperatura y es separado con ayuda de un resorte para asegurar la separación del elemento fusible cuando opera con corrientes de falla de valor bajo; este elemento limpiador se encuentra dentro de una cavidad - cilíndrica llena de ácido bórico y su funcionamiento es exactamente con el mismo principio que el fusible con ácido bórico convencional.

3.9. NORMAS PARA LA MARCACION DE LAS PLACAS DE LOS FUSIBLES

Según las normas "Underwriter" para fusibles exigen - los siguientes requisitos:

a. En cuanto a las dimensiones los fusibles tienen que encontrarse dentro de las tolerancias específicadas

y además deben ser sometidas a las siguientes pruebas:

b. Deben ser capaces de soportar fuertes cortocircuitos de lo contrario estaría propenso a que ocurra un incendio; puesto que el fusible al no ser capaz de soportar el cortocircuito explotaría o despediría fuego.

c. La temperatura de trabajo en condiciones normales debe ser baja, de lo contrario puede ocurrir que el fusible opere sin que ocurra falla.

d. Tienen que ser capaces de soportar la corriente nominal a la que se le ha diseñado, ya que de lo contrario también ocurriría que el fusible se funda - en condiciones normales con su consecuencia de gastos y molestias inecesarios, al hacer la prueba - con el fusible no protegido, los fusibles deben - ser capaces de soportar un 10 % de sobrecarga. Si la instalación de los fusibles se los hacen dentro de una protección envolvente (y es como se hace más comunmente) tendrán que soportar una corriente menor; de ahí que se requiere que cuando no están protegidos los fusibles soporte un 10 % de sobrecarga, a fin de que cuando estén en funcionamiento

normal puedan trabajar con la intensidad de régimen con que son diseñados.

e. En caso de una sobrecarga tienen que fundirse rapidamente. Ya que de lo contrario causará graves daños a los elementos del sistema eléctrico afectado por la sobrecarga.

Las normas exigen que el fusible se funda para una sobrecarga del 35% haciendo la prueba con el fusible libre, esto quiere decir que si el fusible está instalado en una envoltura protectora tendrá que fundirse con un 25 % de sobrecarga.

Los fusibles de 0 a 60 amperios deberán soportar esta sobrecarga durante una hora y los fusibles mayores de 60 amperios deberán soportar dos horas.

3.10. CORRIENTE NOMINAL DEL FUSIBLE

Se entiende por corriente nominal de un fusible al valor máximo de la corriente que puede soportar el fusible en estado normal y sin que la temperatura de sus diversos elementos exceda los límites permitidos; se toma generalmente la mitad del valor de la corriente de fusión lenta como corriente nominal.

Como la energía esta en función del cuadrado de la corriente, entonces podemos decir que el calentamiento del fusible a corriente nominal es del orden de la cuarta parte del calentamiento que provoca la fusión del fusible. Por tanto un fusible no puede asegurarse una protección para una sobrecarga reducida (menor al doble de su corriente nominal) puesto que tardará demasiado en fundirse. En la práctica esa protección resulta todavía insuficiente, entre 2In y 3In e inclusive con 4In; en ciertos casos el tiempo de fusión puede ser mayor que el tiempo permitido en la instalación que va a proteger (I_n= corriente nominal).

Las reglas para el calibrado de los fusibles varían de un país a otro y de un fabricante a otro aunque - siempre dentro de ciertos límites, un valor promedio que se ha determinado para los fusibles de alta tensión en cuanto a la corriente límite de no fusión es del orden de 1,5 veces la nominal del fusible y la corriente límite de fusión en una hora, es de 2 a 2,1 veces la corriente nominal.

Hay un método que se conoce más universalmente y es que según las reglas de protección se exige que el circuito en el que se va aplicar deberá tener un va

lor de corriente nominal del 80% del valor de placa del fusible o visto de otro modo; se tiene que para un circuito con su corriente nominal; deberá elegirse un fusible que sea un 25 % mayor de corriente a fin de que no se vea afectado por la sobrecarga del circuito.

3.11. RELACION ENTRE LA CORRIENTE NOMINAL Y LA FUSION DEL FUSIBLE

Para poder seleccionar el fusible más adecuado, los fabricantes de fusibles acostumbran a dar las características de fusión del fusible o sea la característica del tiempo en función de la corriente. En la figura 3.11.1, se ilustra una característica para un fusible fabricado en serie; la característica en realidad es una sola que se le conoce como zona de dispersión; la formación de ésta zona se debe - principalmente a la temperatura inicial del fusible antes de que aparezca la sobrecorriente.

En esta figura se aprecia además el valor de corriente máximo en el cual el fusible opera en un tiempo infinito (If de la figura). Este valor de corriente de lo denomina "corriente límite de fusión lenta". Estrictamente hablando la corriente límite de fusión - lenta es la corriente de fusión del fusible en un

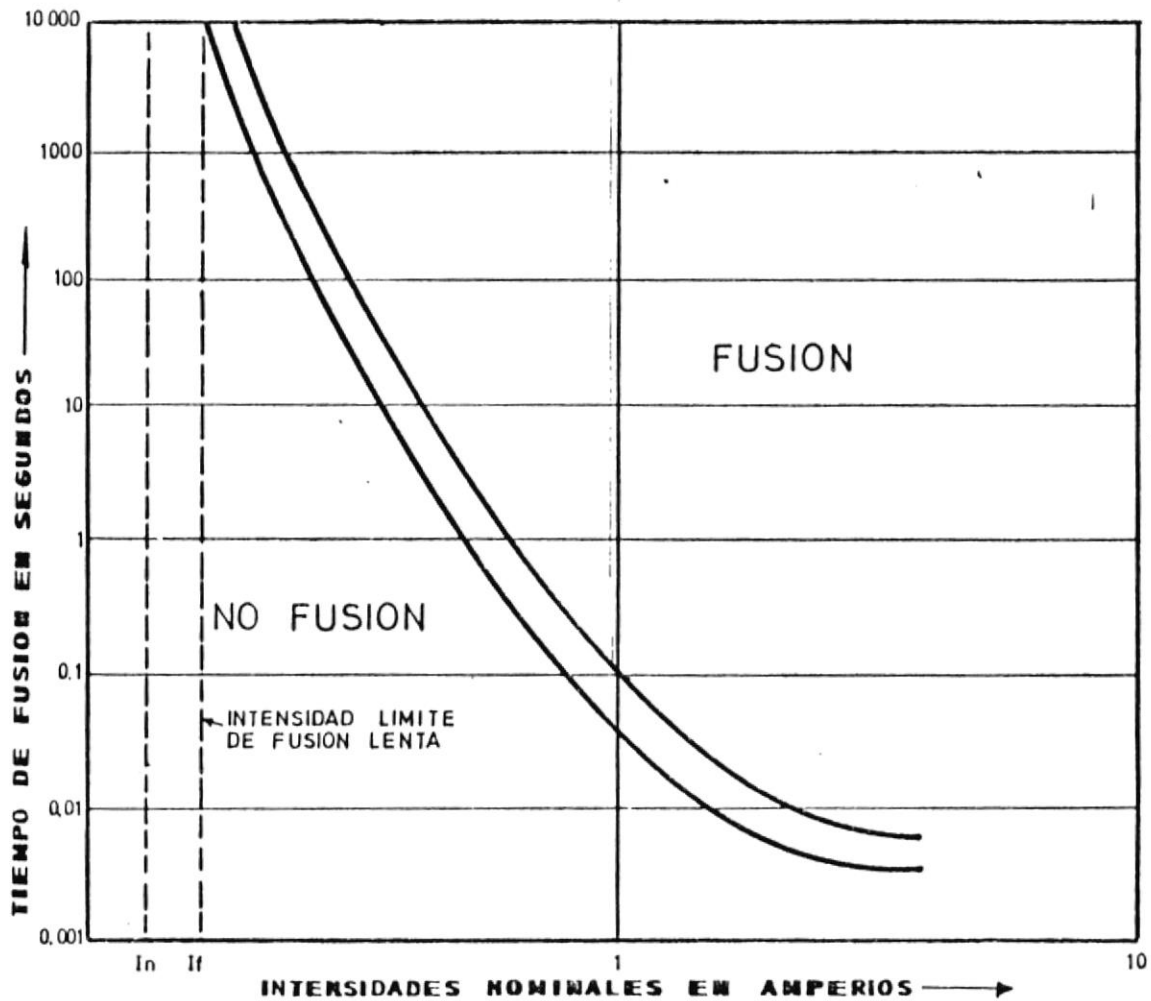


Fig 3. 11. 1.

CURVA DEL TIEMPO DE FUSION EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DE UN CORTA CIRCUITO FUSIBLE

tiempo inferior a un tiempo determinado y que está en el rango de 1 a 6 horas dependiendo de las dimensiones del fusible y por tanto dependiendo de la capacidad de corriente así tenemos la tabla 3.11.1.:

CAPACIDAD DE CORRIENTE EN AMPERIOS	TIEMPO LIMITE DE FUSION EN HORAS
0 a 63	1
63 a 125	2
125 a 250	4
Mayores de 250	6

TABLA 3.11.1. TIEMPO LIMITE DE FUSION DE FUSIBLE

Cuando el fusible está en servicio no es conveniente trabajar el fusible con corriente próximas a las corrientes límites ya que la temperatura del fusible se elevaría a una temperatura próxima a la de fusión con lo que los contactos de fusible se calentarían excesivamente y por oxidación corre el peligro de romperse el fusible.

3.12. TIEMPO DE FUSION DEL FUSIBLE

Se debe distinguir dos tiempos esenciales cuando la corriente que atravieza al fusible es suficiente pa

ra provocar su fusión; así tenemos:

a. Tiempo de fusión: Es el tiempo realmente necesario para que el fusible alcance su temperatura de fusión y por lo tanto el tiempo que requieren el fusible para fundirse físicamente es el tiempo desde que se inicia la falla hasta el tiempo que se inicia el arco.

b. Tiempo de Arco: Es el tiempo empleado desde el instante en que el fusible se rompe por haberse fundido con la corriente de corto hasta que se extingue el arco.

Durante este tiempo la corriente ya no fluye por un conductor metálico sino que lo hace a través del arco en el momento de extinguirse el arco, la corriente se hace 0.

Cabe notarse que el tiempo de aclaramiento de la falla usando la protección de fusibles será el tiempo - de fusión del fusible más el tiempo de arco.

3.13. PODER DE RUPTURA DE LOS FUSIBLES

Se denomina poder de ruptura de un fusible a su máximo valor de corriente de falla que puede cortar para

un voltaje dado. Para el caso de la corriente alterna su magnitud esta dada en valor eficaz de la onda fundamental del voltaje inmediatamente después de la extinción del arco en caso de producirse sobretensiones será después de la amortiguación.

Para el caso de corriente continua el poder de ruptura depende de la constante de tiempo; mientras que - para el caso de la corriente alterna el poder de ruptura depende del factor de potencia y su valor puede ser cualquiera; pero para el caso de corriente continua el valor de la constante de tiempo es menor que 0,01 segundos a no ser que se indique lo contrario.

3.14. FUSIBLES DE ALTO PODER DE RUPTURA

Estos fusibles se los conocen más comunmente como fusibles de ruptura rápida; su característica principal es que corta la corriente de corto circuito mucho antes de que este alcance a su máximo valor permitido; por tanto el valor de ruptura del fusible viene dado en el valor eficaz o valor pico de la corriente de cortocircuito a que hubiera llegado sino hubiera operado el fusible. Para aumentar la velocidad de corte de los fusibles se reparte toda la corriente que atravieza el fusible entre varios hilos de reducidas secciones y conectados en paralelo.

A veces es necesario tener una variedad de tiempos de operación de los fusibles rápidos por lo que los fabricantes han creado hasta tres tipos de fusibles de alto poder de ruptura, estos son:

Lentos: No se funden con 3In y se funden con 3,5In

Rápidos: No se funden con 1.6In y se funden con 1.8In.

Extrarápidos: No se funden con 1.3In y se funden con 1.6In. (I_n = Corriente nominal).

3.15. CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES

Debido a la capacidad térmica, los fusibles tienen una característica de tiempo inverso; esto es,si hay una sobre carga momentánea que produce una corriente mucho mayor que la corriente de fusión; el fusible no se fundirá si la duración de la sobrecarga no es suficiente para que el hilo del fusible se caliente hasta su punto de fusión. Cabe notarse por tanto que cuando mayor es la sobrecarga más corto es el tiempo necesario para la fundición del fusible.

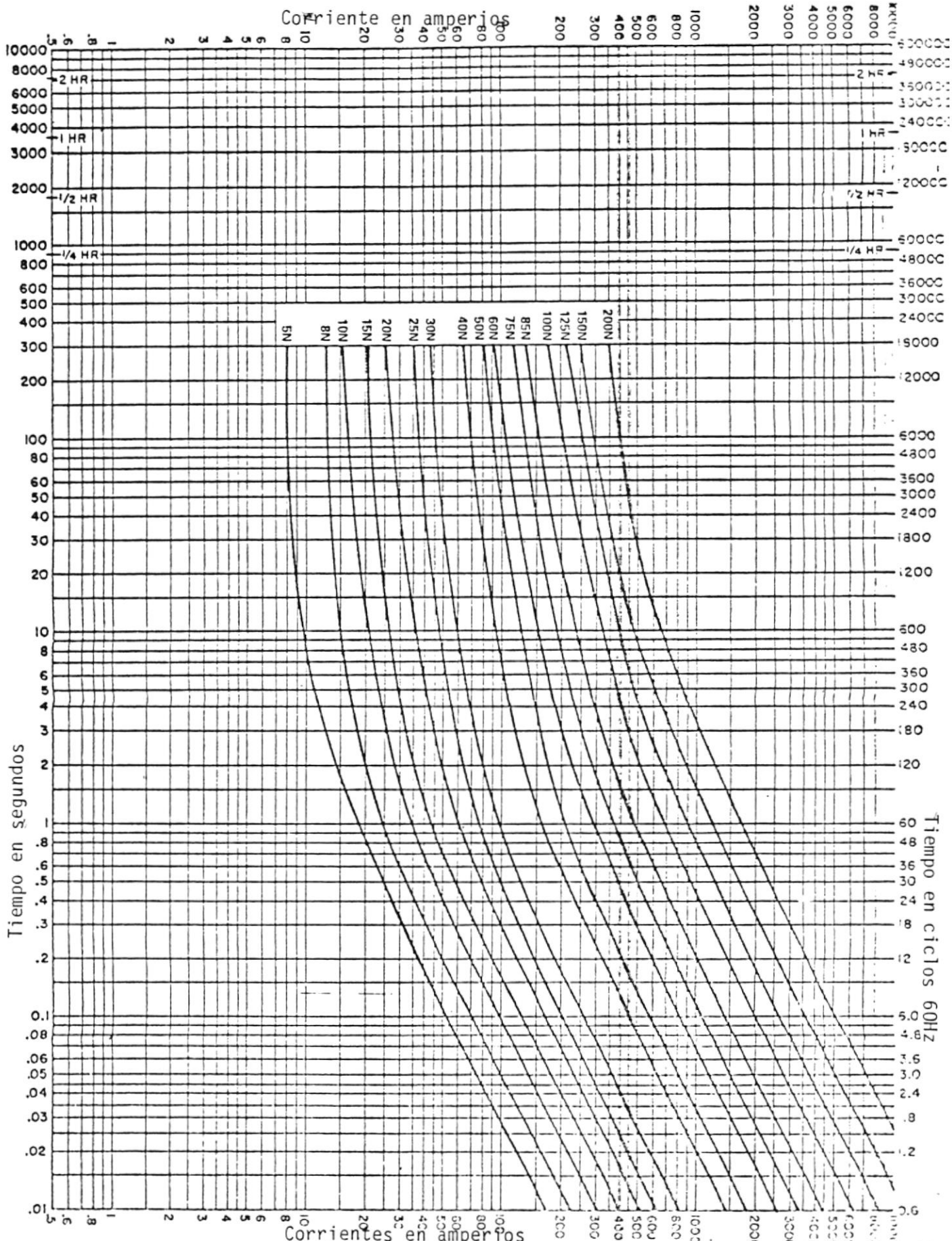
En las características de los fusibles se dan las dos curvas indispensables como son la curva del tiempo mínimo de fundición que es la curva que indica el instante en que el fusible empieza a fundirse perdiendo ya sus caracterí-ticas electro-mecánicas; y

la curva de tiempo máximo de aclaramiento que es la curva que indica el instante en que la corriente de cortocircuito es 0 al despejar la falla. En las gráficas que se muestran a continuación corresponden a los fusibles tipo K, T, N y H. (Figura 3.15.1).

Con sus características de tiempo mínimo de fundición y tiempo máximo de aclaramiento en hojas separadas; a veces los fabricantes dan estas dos características - juntos en una misma hoja; cuando vienen en estas formas generalmente se las distinguen por que la curva de tiempo mínimo de fundición es hecha con línea continua y más gruesa que la curva de tiempo máximo de aclaramiento; además esta última curva es de línea - punteada; a veces en ciertas características de los fusibles incluyen también las características de tiempo de arco como se muestra en la figura 3.15.2.

3.16. TABLAS DE COORDINACION CON FUSIBLES

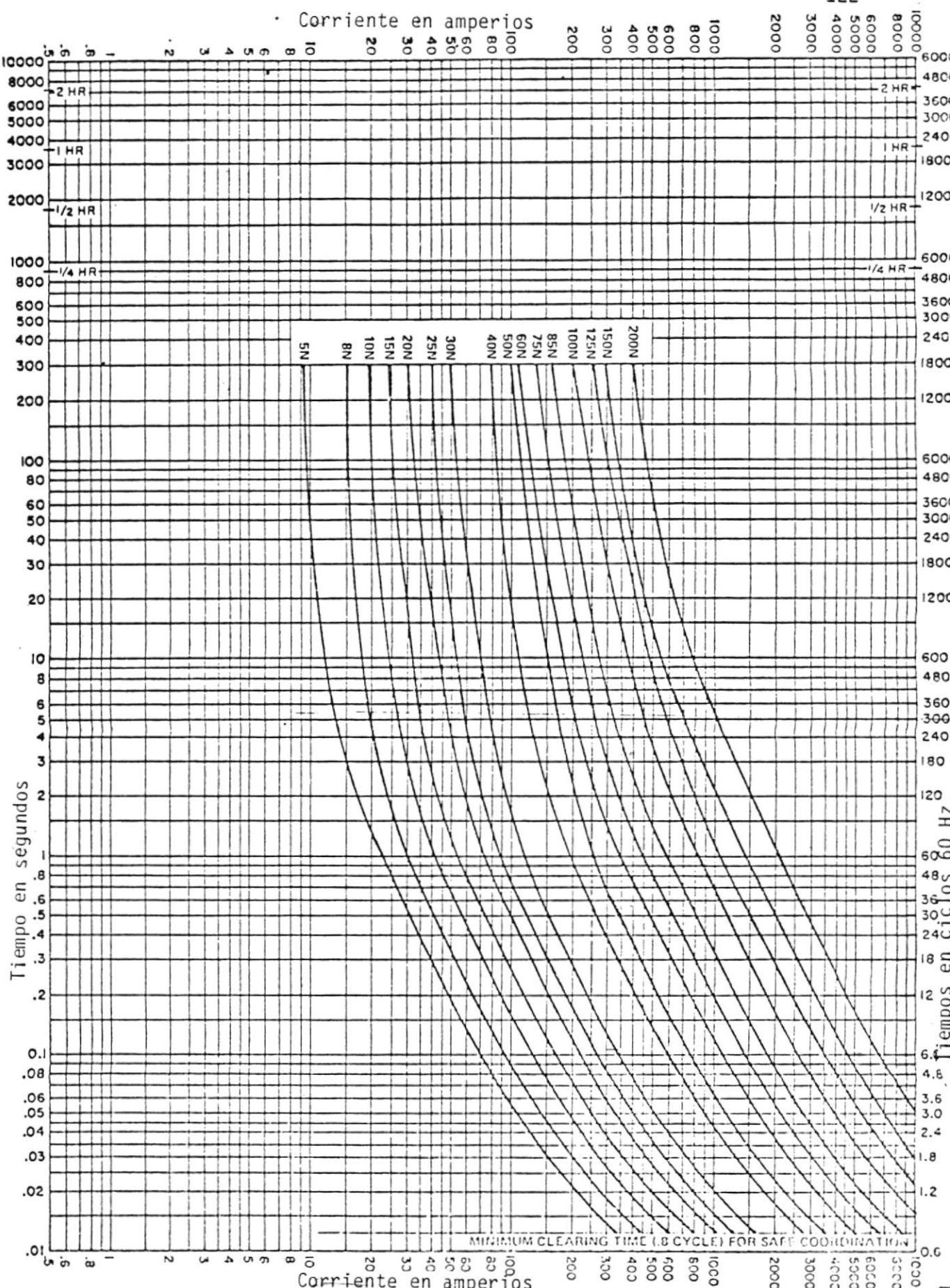
Si se quiere hacer una coordinación práctica es ventajoso el uso de las tablas de coordinación dadas por la EEI-NEMA. Para el uso de las tablas, los fusibles deberán trabajar dentro de su capacidad nominal de corriente y además su portafusible debe ser el adecuado. Así tenemos a continuación las tablas 1 a 5; con



MINIMUM MELTING TCC **Fig # 3. 15. 1. A1 CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO N (M.M.T.).**

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at 240 Volts ac, high pf, starting at no initial load, 25C
Minimum test points plotted so variations should be plus

TYPE N-TIN



MAXIMUM CLEARING TCC Fig # 3. 15 1. A2 CARACTERISTICAS DE FUSIBLE TIPO N (M.C.T.).

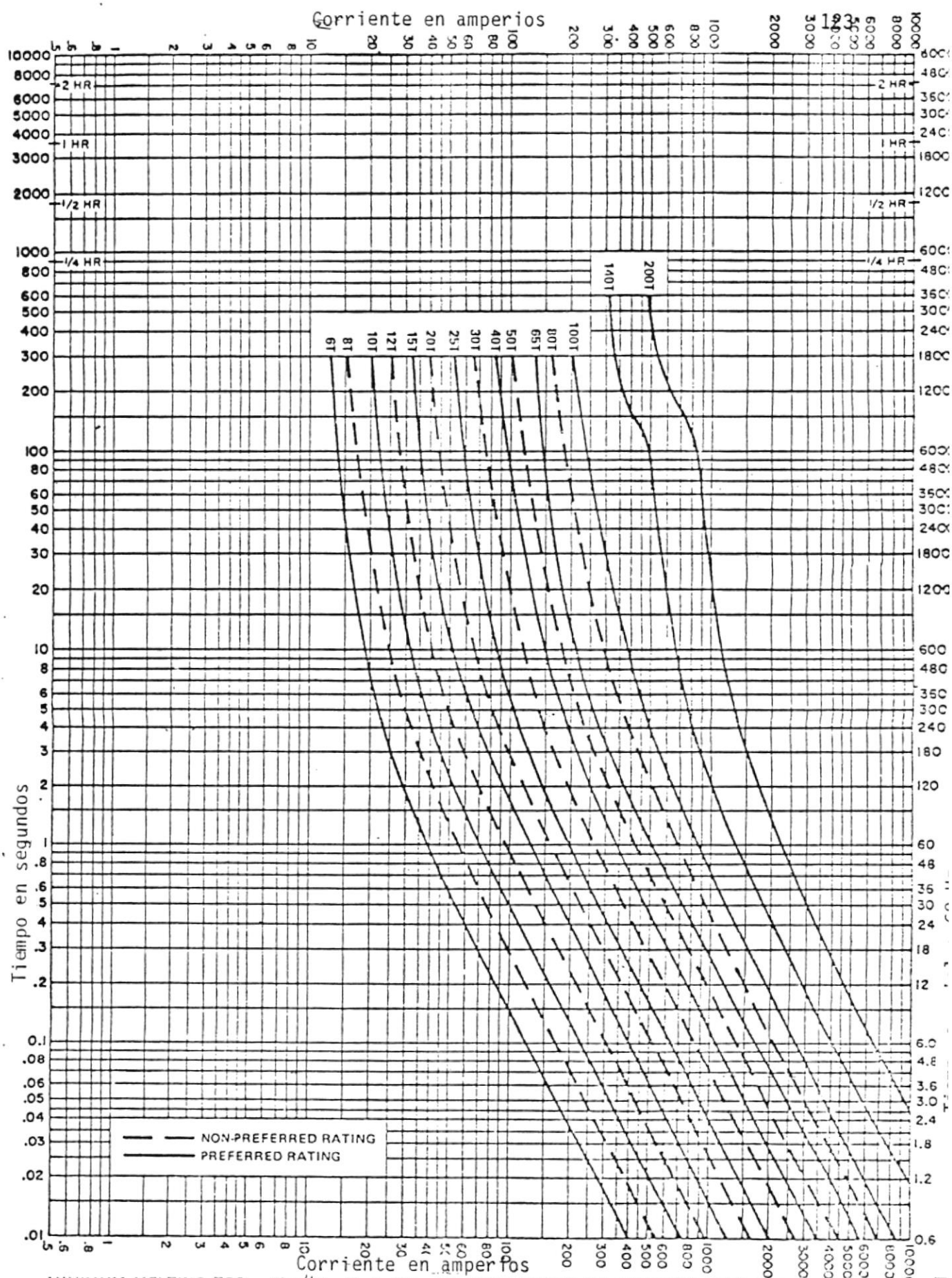
Curves of M E fuse links in M E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at rated cutout Volts ac, low pf, starting at no initial load, 25C
Maximum test points plotted so variations should be minus

TYPE N-TIN

FLCB

McGRAW-EDISON POWER SYSTEMS DIVISION February 1970

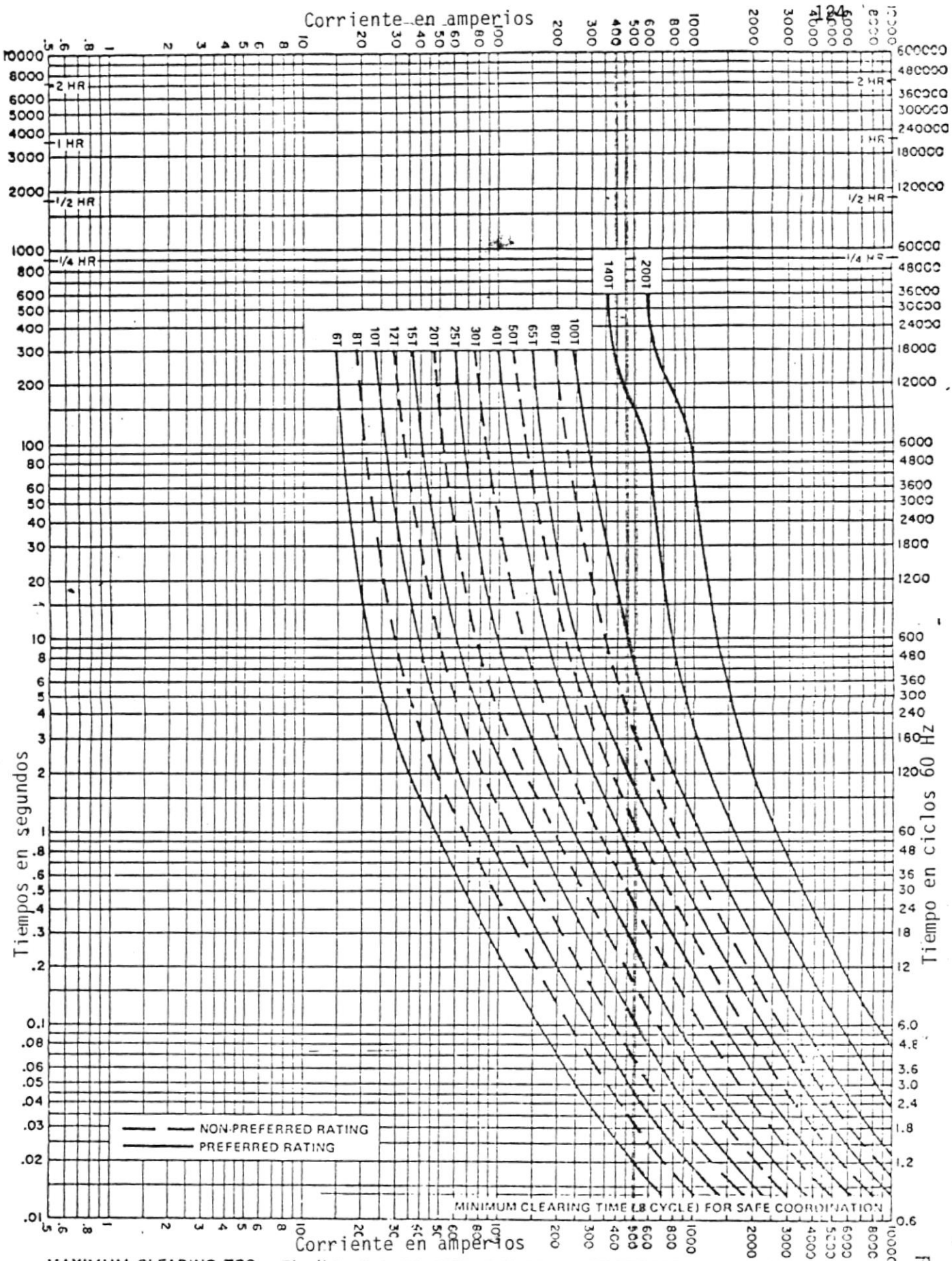
R240-91-2



MINIMUM MELTING TCC Fig #3. 15. 1. B1 CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO T (M & T)

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at 240 Volts ac, high pf, starting at no initial load, 25C
Minimum test points plotted to variations should be plus

EEI-NEMA TYPE T-TIN

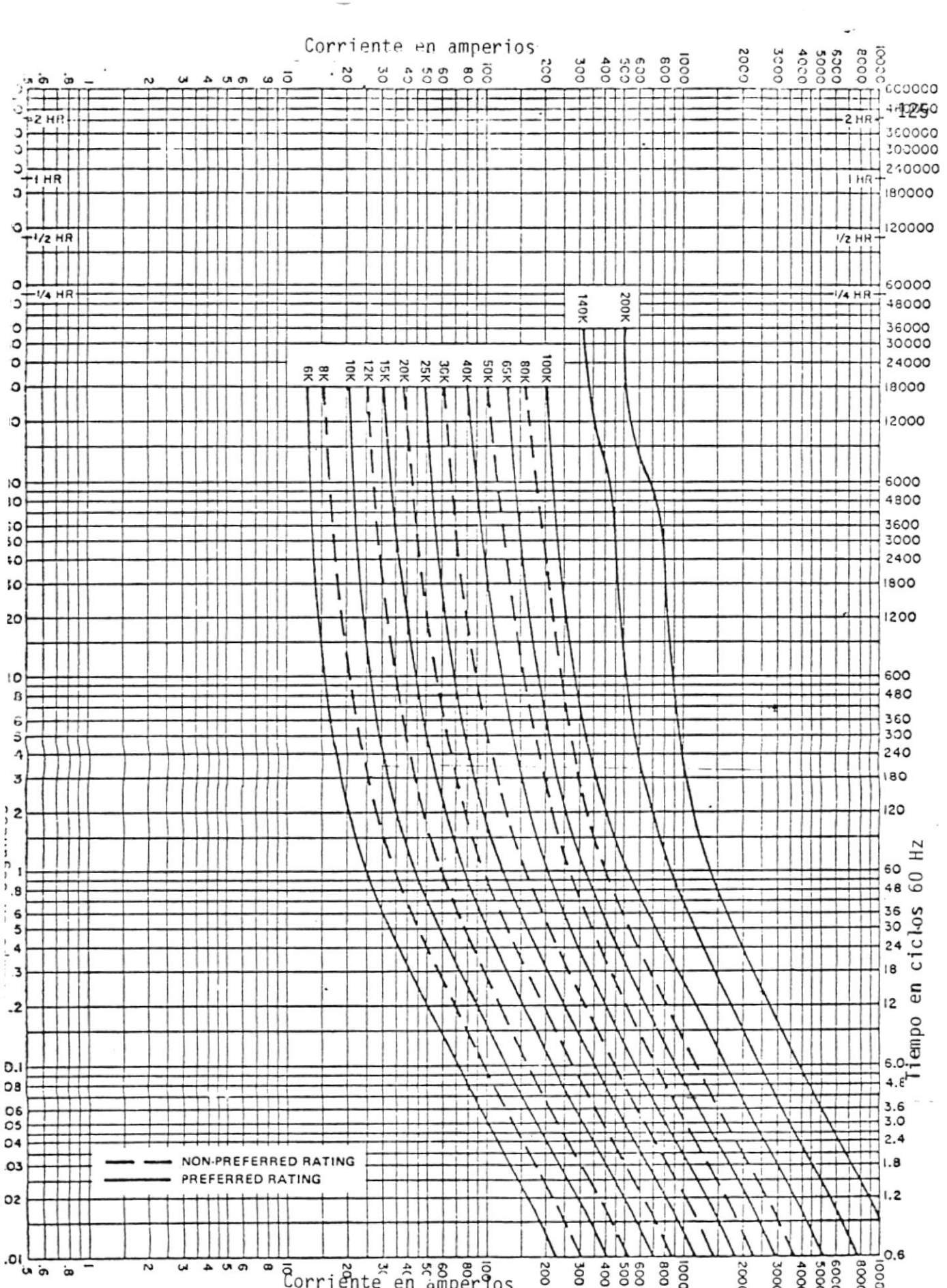


MAXIMUM CLEARING TCC Fig # 3. 15. 1. B2 CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO T (MC T)

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at rated-cutout Volts ac, low pf, starting at no initial load, 25C
Maximum test points plotted so variations should be minus

EEI-NEMA TYPE T-TIN

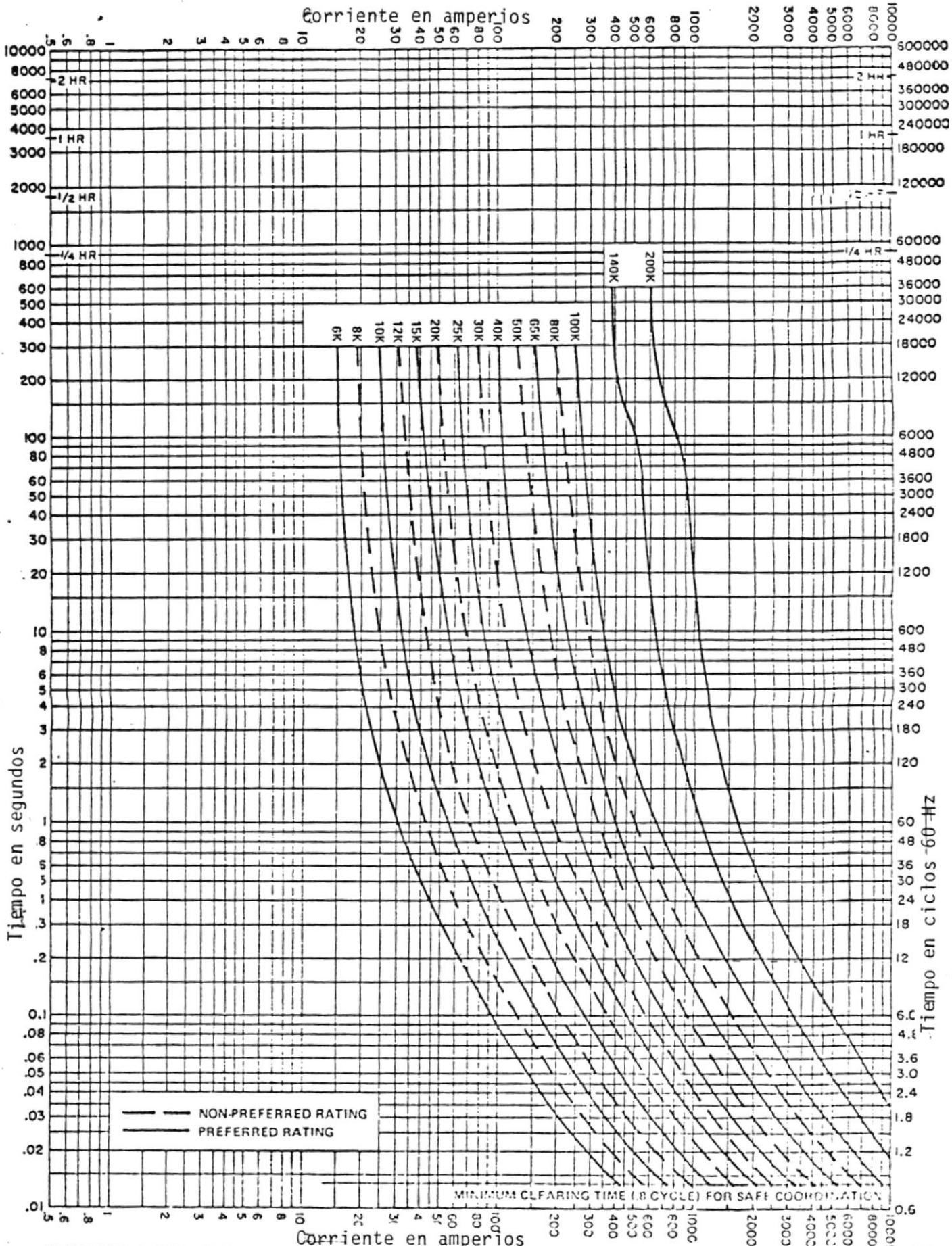
R240-91-2



MINIMUM MELTING TCC Fig #3 15.1.C1 CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO K (M.M.T.)

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at 240 Volts ac, high pf, starting at no initial load, 25C
Minimum test points plotted so variations should be plus

EEI-NEMA TYPE K-TIN



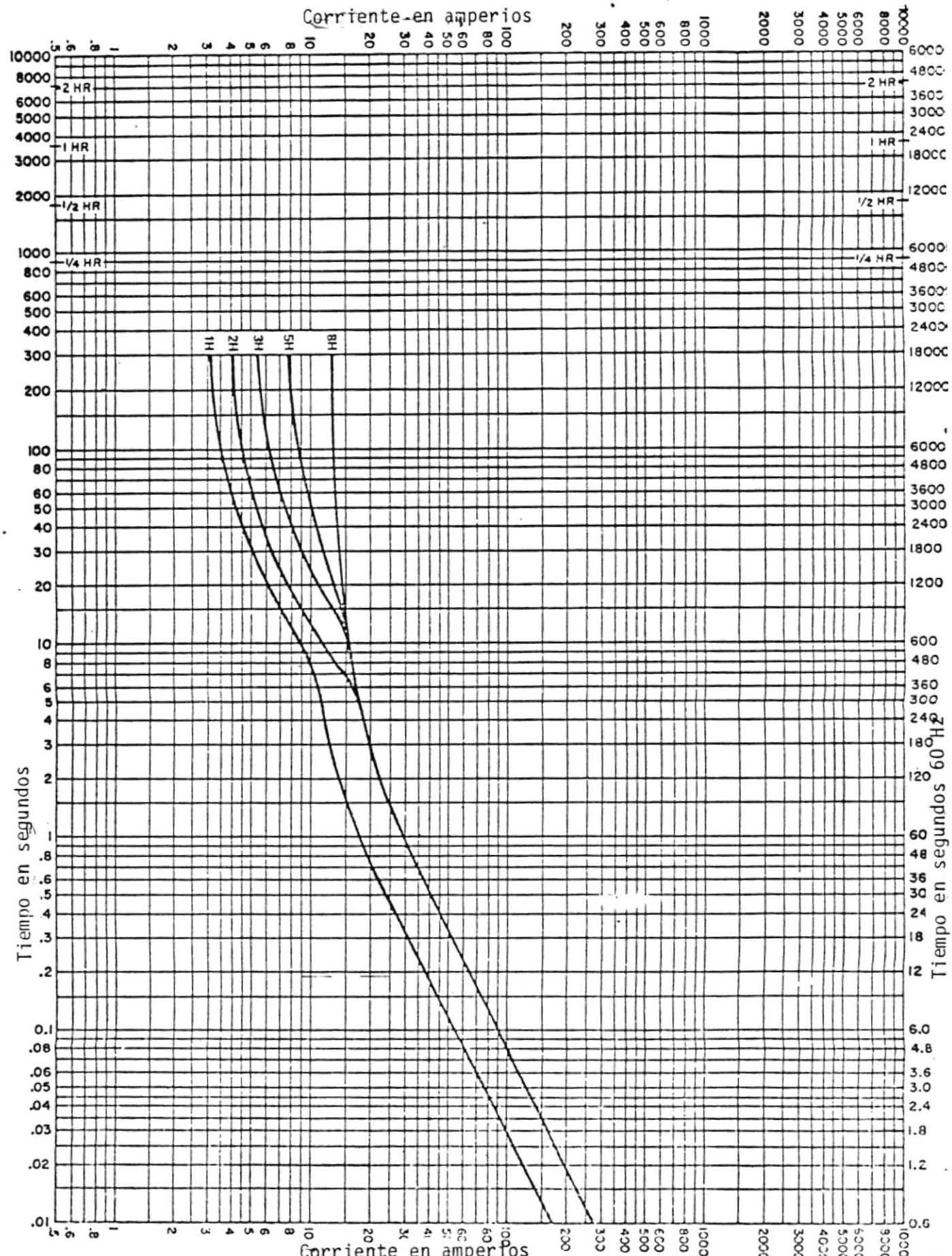
MAXIMUM CLEARING TCC **Fig #3. 15. 1. C2 CARACTERISTICA DE FUSIBLES TIPO K (M.C.T.)**

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at rated cutout Volts ac, low pf, starting at no initial load, 25C
Maximum test points plotted so variations should be minus

EEI-NEMA TYPE K-TIN

R240-91-1

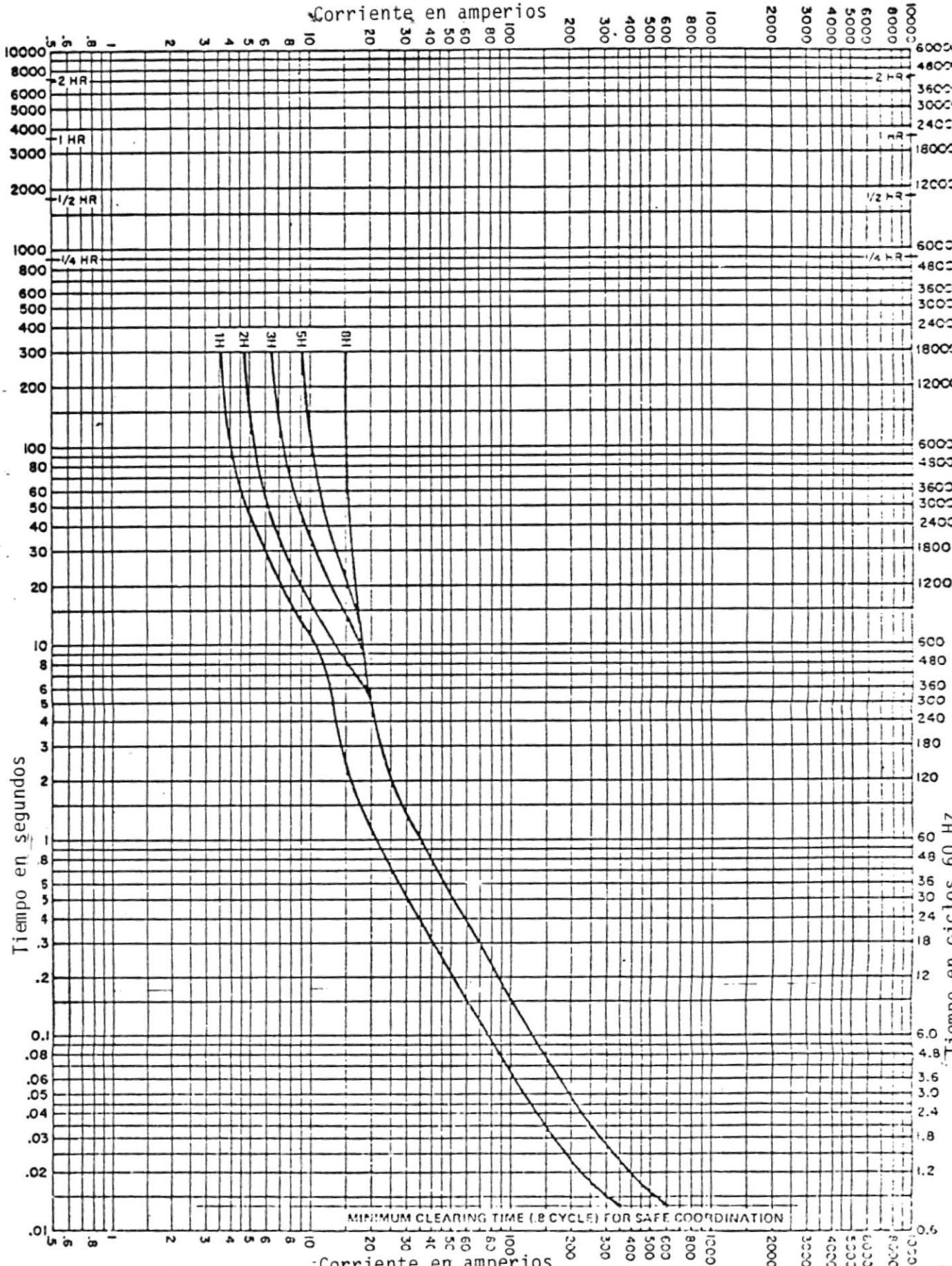
McGRAW EDISON POWER SYSTEMS DIVISION February 1970



MINIMUM MELTING TCC Fig#3. 15. 1. D1 CARACTERISTICAS DE FUSIBLES TIPO H (M.M.C.).

Curves of M-E fuse links in M-E cutouts • Basis for data: NEMA Standard SG2
Tests at 240 Volts ac, high pf, starting at no initial load, 25C
Minimum test points plotted so variations should be plus

HIGH SURGE TYPE H



MAXIMUM CLEARING TCC

Curves of M E fuse links in M E cutouts • Base for data: NEMA Standard SG2
Tests at 240 Volts ac, high pf, starting at no initial load, 25C
Minimum test points plotted so variations should be plus

Fig # 3. 15. 1. D2 CARACTERISTICA DE FUSIBLE TIPO H (M.C.T.)
HIGH SURGE TYPE H

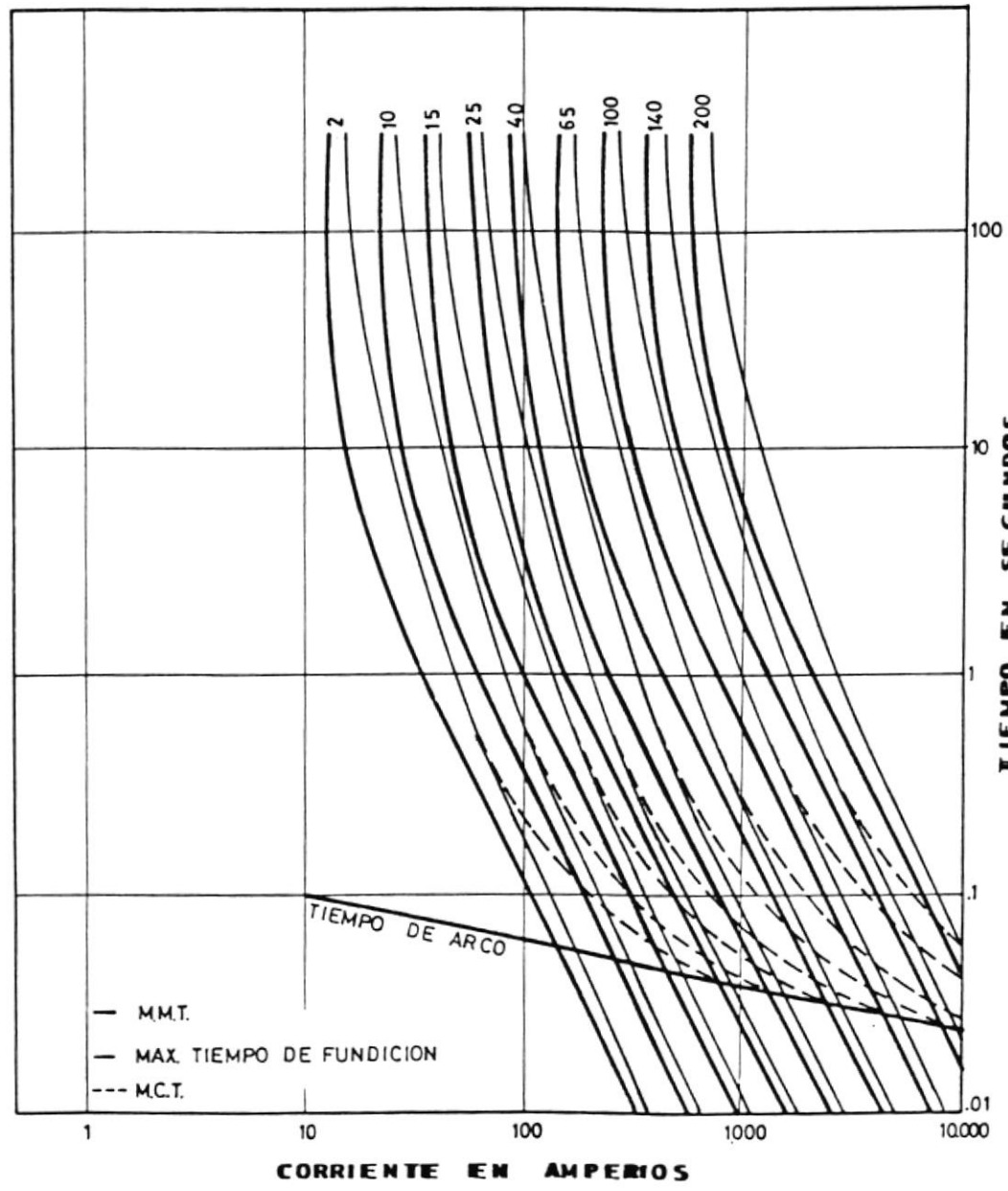


Fig # 3. 15. 2. A.

CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO "T"

CONSIDERANDO EL TIEMPO DE ARCO

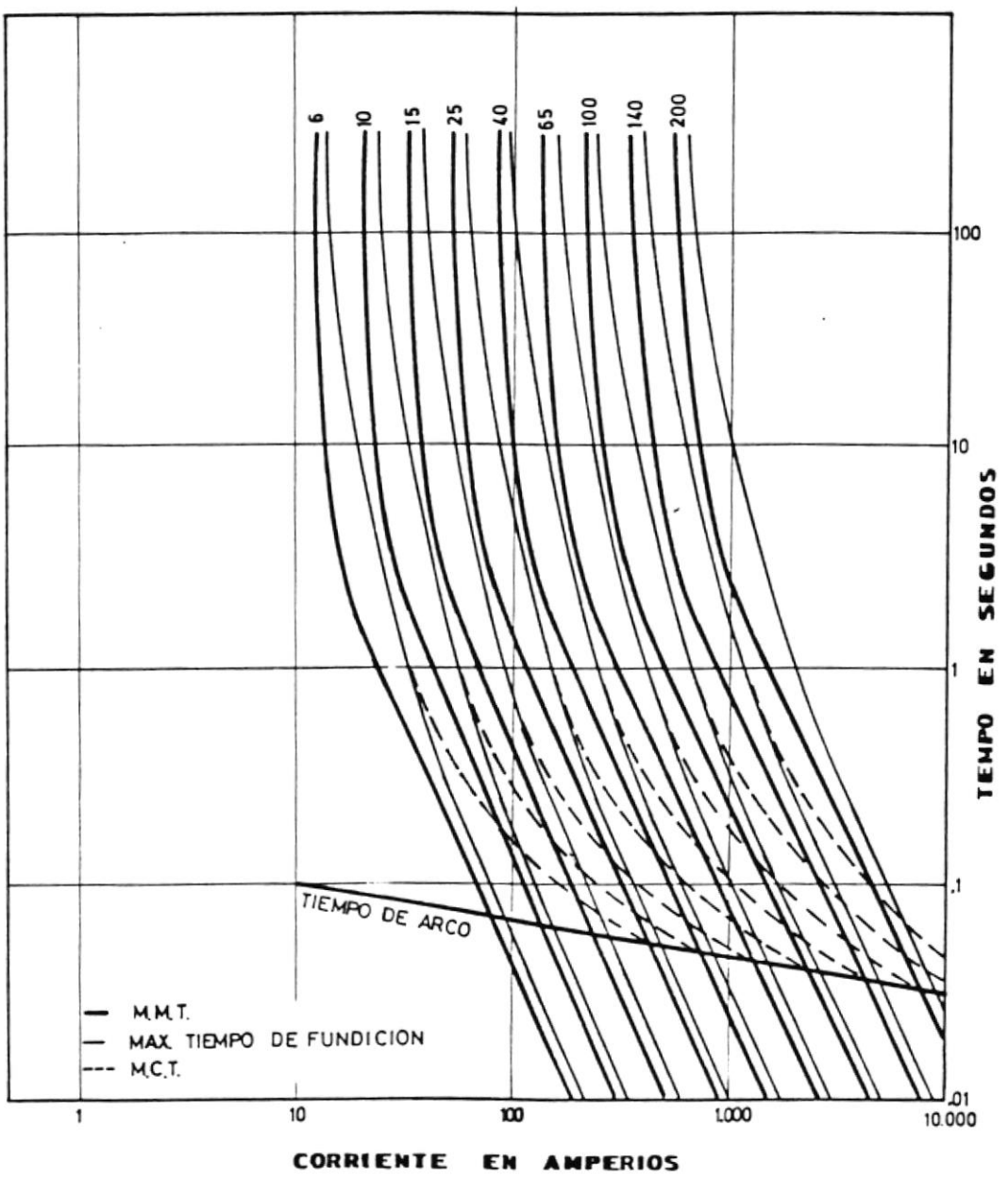


Fig # 3. 15. 2. B.

CARACTERISTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO "K" INCLUYENDO EL TIEMPO DE ARCO

TABLA 3.16.1.

COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO K

FUSIBLE PROTECTOR	FUSIBLE PROTEGIDO (AMPERIOS) NOMINALES												
	8K	10K	12K	14K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	140K	200K
	CORRIENTE DE FALLA MAXIMA AL CUAL "A2" PROTEGE A "A1"												
6K	190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8K		210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10K			300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12K				320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15K					430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20K						500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25K							660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30K								850	1700	2800	3900	5800	9200
40K									1100	2200	3900	5800	9200
50K										1450	3500	5800	9200
65K											2400	5800	9200
80K												4500	9200
100K												2000	9100
140K													4000

TABLA 3.16.2.

COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO T

FUSIBLE AMPERIOS	FUSIBLE PROTEGIDO												
	10K	12T	14T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	CORRIENTE DE FALLA MAXIMA AL CUAL "A2" PROTEGE A "A1".												
6T	350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8T		375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10T			530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12T				680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15T					730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20T						990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25T							1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200
30T								1500	3100	5000	6100	9700	15200
40T									1700	3800	6100	9700	15200
50T										1750	4400	9700	15200
65T											2200	9700	15200
80T												7200	15200
100T												4000	13800
140T													7500

TABLA 3.16.3.

COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO K Y TIPO H

FUSIBLE PROTECTOR	FUSIBLE PROTEGIDO													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	CORRIENTE DE FALLA MAXIMA AL CUAL "A2" PROTEGE A "A1"													
1H	125	280	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

TABLA 3.16.4.

COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO T Y TIPO H

FUSIBLE PROTECTOR	FUSIBLE PROTEGIDO													
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	CORRIENTE DE FALLA MAXIMA AL CUAL "A2" PROTEGE A "A1"													
1H	400	520	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
2H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
3H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
5H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200

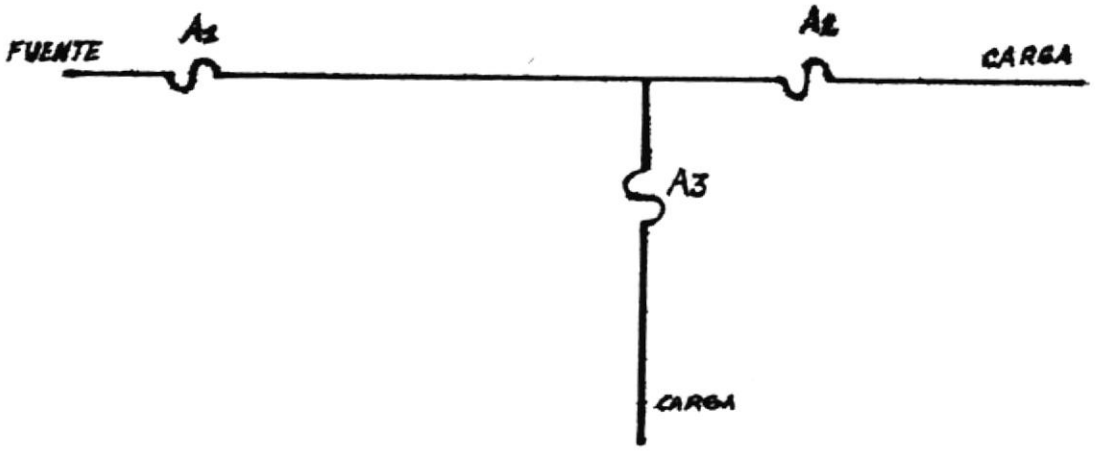
TABLA 3.16.5.

COORDINACION ENTRE FUSIBLES TIPO N

FUSIBLE PROTECTOR	FUSIBLE PROTEGIDO													
	8	10	14	20	25	30	40	50	60	75	85	100	150	200
	CORRIENTE DE FALLA MAXIMA AL CUAL "A2" PROTEGE A "A1"													
5	22	150	280	400	490	640	1250	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
8			175	350	490	640	1250	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
10				200	370	640	1250	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
15					200	450	1250	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
20						175	1250	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
25							900	1450	2000	2650	3500	4950	8900	10000
30								1300	2000	2650	3500	4950	8900	10000
40									1300	2500	3500	4950	8900	10000
50										1700	3200	4950	8900	10000
60											2000	4950	8900	10000
75												3700	8900	10000
85													8900	10000
100													6000	10000
150														3000

este método se aseguran que el fusible A1 sea protegido por el A2 Fig A y además asegura para máxima corriente de falla. En estas tablas se tienen la primera columna de la izquierda los fusibles que son protectores y en una fila superior horizontal están los fusibles a los que se les protege; en este caso los de la columna hacen de A2 y los de la fila hacen de A1, en el punto de intersección entre los A2 y A1 se halla el valor de la corriente de falla máxima en la cual (según la EEI-NEMA) pueden coordinar sus correspondientes fusibles. Las tablas son obtenidas en base a las curvas de tiempo máximo de aclaramiento de los fusibles y considerando también el 75 % del tiempo mínimo de fundición para las curvas de los fusibles protegidos.

FIGURA A



Como ejemplo tenemos el fusible 30T de la tabla Nº2, como fusible protector (como A2 sería en la figura A) que va a proteger al fusible de 50T (como A1 en la figura A); se cumplirá estos si la corriente de cortocircuito máxima en el punto A2 no es mayor a 1.500 amperios.

3.17. APLICACION DE LOS FUSIBLES

Los fusibles tienen mucha aplicación en los sistemas eléctricos, tal es así que utilización va desde los fusibles de potencia instalado en los centros de generación hasta los fusibles instalados a nivel de servicio. Para cada una de esas aplicaciones hay un número de requerimientos que el fusible tiene que cumplir para poder proteger los circuitos y sus aparatos conectados a él.

Para una aplicación determinada el fusible debe tener principalmente su voltaje y corriente nominal - adecuado para el circuito y su capacidad de interrupción debe ser mayor o igual a la capacidad de interrupción permitida en el circuito.

Sus características de tiempo-corriente deben ser tales que faciliten una buena coordinación con los otros dispositivos de protección existentes en el

sistema eléctrico que se está aplicando y de ésta manera dar una protección adecuada al circuito.

Sus características físicas deben ser tales que respondan al medio al que se los instalen; esto es en lugares cerrados como bóvedas, subterráneos, sótanos, en cabinas metálicas o a la interperie, etc., tal es así que cuando un fusible está sujeto a ser sumergido se tendrá que usar fusibles tipo sumergibles,para fusibles que están a la interperie pueden explotar - en el momento de su operación y producir llama que ioniza los gases ambientales para lo cual hay que - mantener las distancias adecuadas entre circuitos o aparatos adyacentes para evitar el rompimiento dieléctrico del aire y evitar daños a los dispositivos circulantes a los fusibles. Cuando se requiere que los fusibles sean limitadores de corriente; sus características deben ser tales que el fusible limite la magnitud y la duración de la corriente de falla a valores menores del máximo permitido en un circuito.

3.18. COORDINACION SELECTIVA DE LOS FUSIBLES

Se dice que existe coordinación selectiva entre dos fusibles en serie y bajo condiciones de cortocircuito, cuando la energía total de aclaramiento del fusi

ble que está en el lado de la carga es menor que la energía de fundición del fusible que está en el lado de generación; así como se aprecia en la figura 3.18.1.

En ésta figura se ha realizado la coordinación entre dos tipos de fusibles que son el fusible con retardo de tiempo KRP-C 1000 situado en el lado de generación y el fusible con doble elemento FRS 200.

En las curvas graficadas a lado derecho del respectivo fusible se aprecia el tiempo de fundición, el tiempo de aclaramiento total de cada fusible y la corriente de cortocircuito permitida; nótece que para que exista selectividad se requiere que el tiempo de aclaramiento total del fusible FRS200 tiene que ser menor que el tiempo de fundición del fusible KRP-C1000.

El área rayado bajo cada curva es la energía que se disipa en el respectivo fusible. Cabe destacarse también que la energía disipada del fusible KRP - C1000 que hace de respaldo para el fusible FRS200 - es menor que la energía de cortocircuito permitida puesto que los dos fusibles son limitadores de corriente según los laboratorios Underwriters.

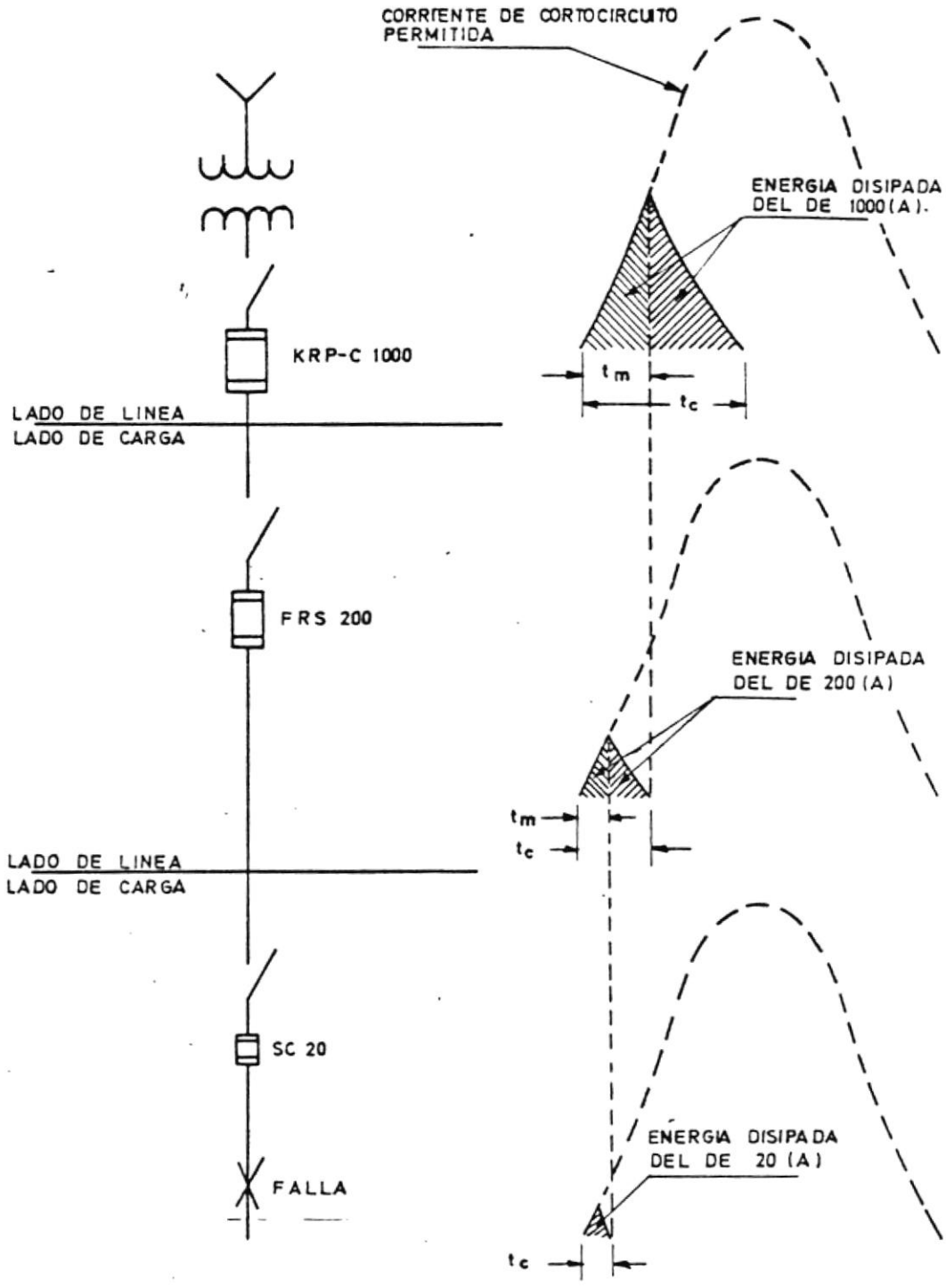


Fig # 3 18 1.

CONDICIONES PARA LA SELECTIVIDAD

(El area bajo las curvas es la energia disipada)

Con el fin de simplificar el trabajo de la coordinación selectiva de los fusibles;la BUSSMAN ha realizado pruebas de sobrecarga y cortocircuito para varias combinaciones de fusibles y los resultados obtenidos están tabulados en proporción; así la BUSSMAN ha obtenido la siguiente tabla-guía para la selectividad de fusibles en la cual se dá la relación mínima que debe existir entre el fusible situado en el lado de generación y el fusible situado en el lado de la carga.

NOTA: Las razones que se han determinado en ésta tabla se han obtenido asumiendo los peores casos; por tanto para algunos valores de corrientes de cortocircuito estas razones que deben ser un poco menores para permitir un tamaño adecuado del fusible; pero para esto hay que consultar previamente con las razones permitidas por el fabricante o con el uso de las curvas características de los fusibles.

ANALISIS GRAFICO PARA LA SELECTIVIDAD

Otra forma que se emplea a menudo para comprobar la selectividad en corrientes bajas de cortocircuito - es mediante el uso de las características de los fusibles dados según la Estandar NEMA., en papel do

ble Logaritmo en el cual se grafica la corriente Vs. el tiempo.

Las curvas graficadas en la figura 3.18.2, son curvas de tiempo promedio de fundición de los fusibles Vs. la corriente de cortocircuito; a un lado de las características está el circuito en el que se va a coordinar sus fusibles.

Según la figura 3.18.2, se tiene un motor de In=60 (A) y lo proteje con un fusible de 80(A); se trata de ver si hay selectividad o no con respecto al fusible de 225-(A).

Se ha establecido que para una falla en el control del motor la corriente de cortocircuito es de 1000 (A); según la característica del fusible de 80 amperios; este despejará la falla en 0.55 segundos - aproximadamente, mientras que el fusible de 225 amperios requiere aproximadamente de 25 segundos para despejar la misma corriente de falla con lo - cual se desmuestra que para esa corriente de falla permitida existe la selectividad entre los fusibles de 80 y 225 amperios; esto quiere decir que para - la falla en el control del motor o en el motor actuará el fusible más cercano del lado de la fuente de generación.

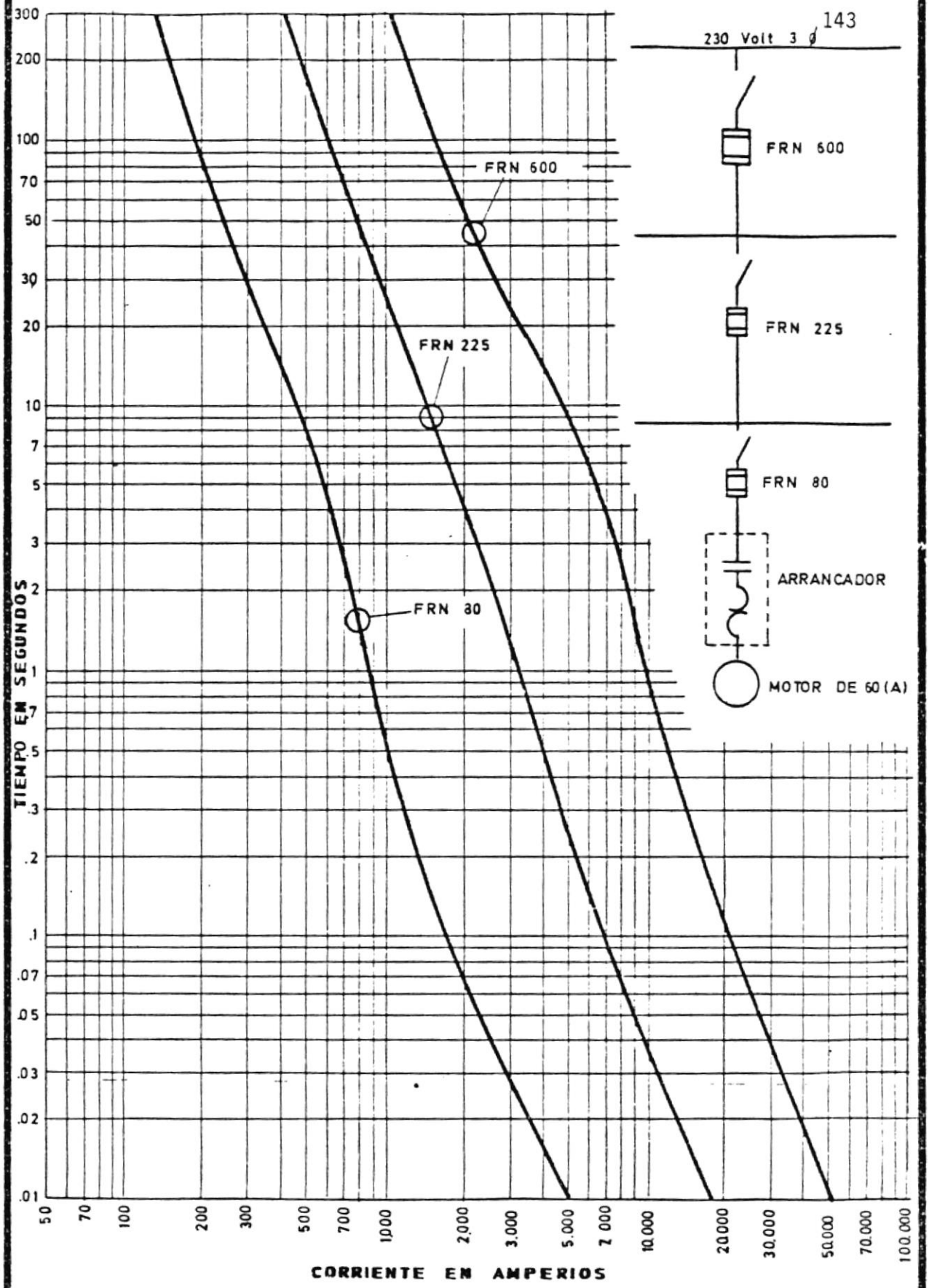


Fig # 3. 18. 2.

SELECTIVIDAD DE LOS FUSIBLES DESDE EL PUNTO DE VISTA GRAFICO

CAPITULO IV

INTERRUPTORES

4.1. PROTECCION CON INTERRUPTORES

Los interruptores son dispositivos que se utilizan en los circuitos eléctricos, ya sea para abrirlos o cerrarlos manualmente mediante un mecanismo incorporado; o para abrir automáticamente cuando circula por él una corriente determinada, sin causar daño tanto al circuito que está protegiendo, como también al mismo interruptor, por tanto es importante saber la capacidad de cortocircuito como la capacidad de interrupción del interruptor a fín de utilizar el interruptor adecuado.

La protección con interruptores tienen mucha aplicación en sistemas de distribución y en los centros de carga (Industrias, Instalaciones de edificiones, etc.) ya que existen en una gran variedad respecto al voltaje, capacidad y númedo de polos. Estos dispositivos son hoy más empleados que los fusibles,a pesar de ser más costosos, ya que son más flexibles a los sistemas eléctricos, y además una vez operado

el interruptor continúa prestando servicio ya sea que se haga manualmente como en el caso de los interruptores de potencia; o automáticamente como en el caso de los reconectadores de los cuales se tratará en el siguiente capítulo.

En este estudio solo nos referiremos a los Interruptores de potencia; ya que interruptores sencillos que sirven para abrir o cerrar circuítos o conmutar conexiones sólo manualmente no se tratarán, porque estrictamente hablando no proteje al sistema eléctrico en que están instalados.

4.2. OBJETIVO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES

Los interruptores de potencia conocidos también como disyuntores, son dispositivos cuyo objetivo es establecer o suprimir la continuidad de servicio eléctrico bajo carga, su diseño es de tal forma que se mantenga la continuidad de servicio luego de cada maniobra de cierre o de apertura. El objetivo principal del interruptor de potencia es conectar ó separar de un sistema eléctrico a las máquinas, aparatos y líneas, también sirve de protección ya que interrumpe automáticamente el circuito al fluir a través del interruptor una sobrecorriente. El tiempo de interrup

ción puede ser fijo o pueden disponer de un sistema incorporado tal, que permita regular el tiempo a voluntad.

Al comenzar a interrumpirse la corriente en los contactos que se separan se forma un arco eléctrico - que se extingue rápidamente y su rápidez de extinción depende del diseño y clase del interruptor.

El funcionamiento del interruptor puede ser manual, mediante electroimanes, mediante motores, mediante solenoides. La mayoría de los interruptores de gran capacidad se accionan también con la acción - de una palanca ; a veces esta palanca en lugar de actuar directamente está unidad al interruptor mediante un mecanismo articulado.

4.3. INTERRUPTORES DE BAJA Y ALTA TENSION

En los interruptores de baja tensión tenemos los interruptores de palanca que pueden ser trípolares, bipolares o unipolares, según la alimentación de - energía eléctrica, y estos pueden ser:

INTERRUPTORES DE PALANCA: Estos interruptores tienen que ser instalados con fusibles para proteger

el circuito contra sobrecorrientes, por tanto la capacidad de los interruptores de palanca están limitados por la capacidad de los fusibles para baja tensión, cuyo límite máximo es de 400 KVA.

Estos interruptores están diseñados de tal manera que interrumpan la corriente de plena carga, sin causar daño a sus contactos; a pesar de que existe un deterioro inevitable de los contactos por el arco eléctrico que se forma al interrumpirse la corriente, y por las sobretensiones de apertura el cual produce cebados en dichos contactos.

Para disminuir el grado de deterioro se han hecho ciertas modificaciones tales como en el material de las cuchillas que realizan el contacto en el interruptor, también la forma de las cuchillas, por otra parte las cuchillas del interruptor se unen por un puente de material aislante y resistente que inicialmente se lo hizo de fibra y posteriormente se utiliza también baquelita o madera baquelitizada.

INTERRUPTORES AUTOMATICOS: En los interruptores automáticos en lugar de las cuchillas están unas escobillas construídas con varias láminas de cobre que actúan por presión sobre los contactos y con el fin

de que no se desgasten los contactos tienen un sistema de contactos auxiliares entre los que se produce el arco de extinción, consta también de un relé para cada fase y actúan sobre el eje de mando y que produce el disparo del interruptor.

Algunos fabricantes diseñan sus interruptores añadiendo en serie con las bobinas de los relés magnéticos otros relés térmicos de tipo corriente y estos operan con sobre cargas que producen un aumento de temperatura. Estos interruptores pueden tener también, como accesorio un termostato colocado en el interior de la caja del transformador (para los relés)de tal manera que cuando la temperatura llega a un valor determinado, el termostato cierra el circuito de la bobina de disparo y el interruptor se desconecta.

Los interruptores automáticos se utilizan para cualquier potencia, ya sea para protección de sobrecarga como para protección de cortocircuitos. El accionamiento se hace con dispositivos térmicos, electromagnéticos.

INTERRUPTORES DE ALTA TENSION: Los interruptores que tienen una tensión nominal mayor o igual a 1.000 voltios. Estos interruptores pueden ser de aire o de

aceite. Los de aire son más utilizados por su operación en menor tiempo que los de aceite; menos peligro de producir incendio; requiere menos mantenimiento; en resumen es más sencillo su operación y manejo que los de aceite.

Cabe destacarse que los interruptores a nivel industrial que se los clasifica de alta tensión corresponden en realidad a interruptores de tensión media que comprenden de 1.5 a 34.5 Kv. Para tensiones de 1.5 a 15 Kv. y de capacidad de interrupción mayor que 500 MVA se emplean los interruptores de aire tipo magnético montados dentro de paneles o cabinas metálicas en forma predominante; aunque los interruptores de aceite en cabinas metálicas se utilizan cuando las condiciones atmosféricas son adversas. Estos interruptores se usan tanto en alimentadores de alumbrado, de fuerza para controlar a grandes industrias individuales.

Interruptores con capacidad de interrupción mayor que 500 MVA a tensiones entre 15 y 34.5 KV se usan Interruptores con aire comprimido, ó en aceite.

4.4. CARACTERISTICAS DE LOS INTERRUPTORES

Las curvas características de los interruptores para

baja tensión tienen la misma relación que la de los fusibles, es decir son construídas en base a la magnitud de la corriente y el tiempo y la relación entre estas variables, también es inversa. Antes de detallar estas características hay que hacer una pequeña clasificación de los interruptores de baja tensión, dada por las normas ANSI y estas son

INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA: Son aquellos interruptores que se construyen dentro de una caja cerrada y de material aislante, su cerramiento es tal que observándolo externamente aparenta ser una sola unidad integral.

INTERRUPTORES POTENCIA DE BAJA TENSION: Son todos - los demás interruptores de potencia que se usan con tensiones hasta de 1.000 voltios para corriente alterna o hasta 3.000 voltios para corriente contínua, pero sin incluir a los interruptores de caja moldeada en ambos casos.

A veces tanto a los interruptores de caja moldeada como a los interruptores de potencia de baja tensión se los denomina comúnmente Interruptores de aire , puesto que la extinción del arco ocurre en el aire.

Para el estudio de sus características hay que destacar que lo que se analiza principalmente son las características de los dispositivos de disparo del interruptor y que forman parte integral del mismo;generalmente son dispositivos de disparo de sobrecorriente que sensan condiciones de corriente anormales cuando éstas fluyen a través del interruptor y entonces, dependiendo del diseño hará que el interruptor opere un mecanismo para abrir sus contactos e interrumpir el circuito.

Las características del dispositivo básico de disparo por sobrecorriente que se utiliza en los interruptores de caja moldeada y en los interruptores de potencia para baja tensión son las características de tiempo prolongado y las características del instantáneo como se aprecia en la figura 4.4.1. Según la figura podemos observar que las características tienen dos tiempos y que están dados por los fabricantes;estos son: El tiempo total mínimo de despeje y que es el instante en que el interruptor inicia su operación para un valor de corriente dado. El otro tiempo es el tiempo total máximo de despeje y es el instante - en que el interruptor ha abierto el circuito, es decir que la corriente a partir de este instante se hace "cero" a través del interruptor.

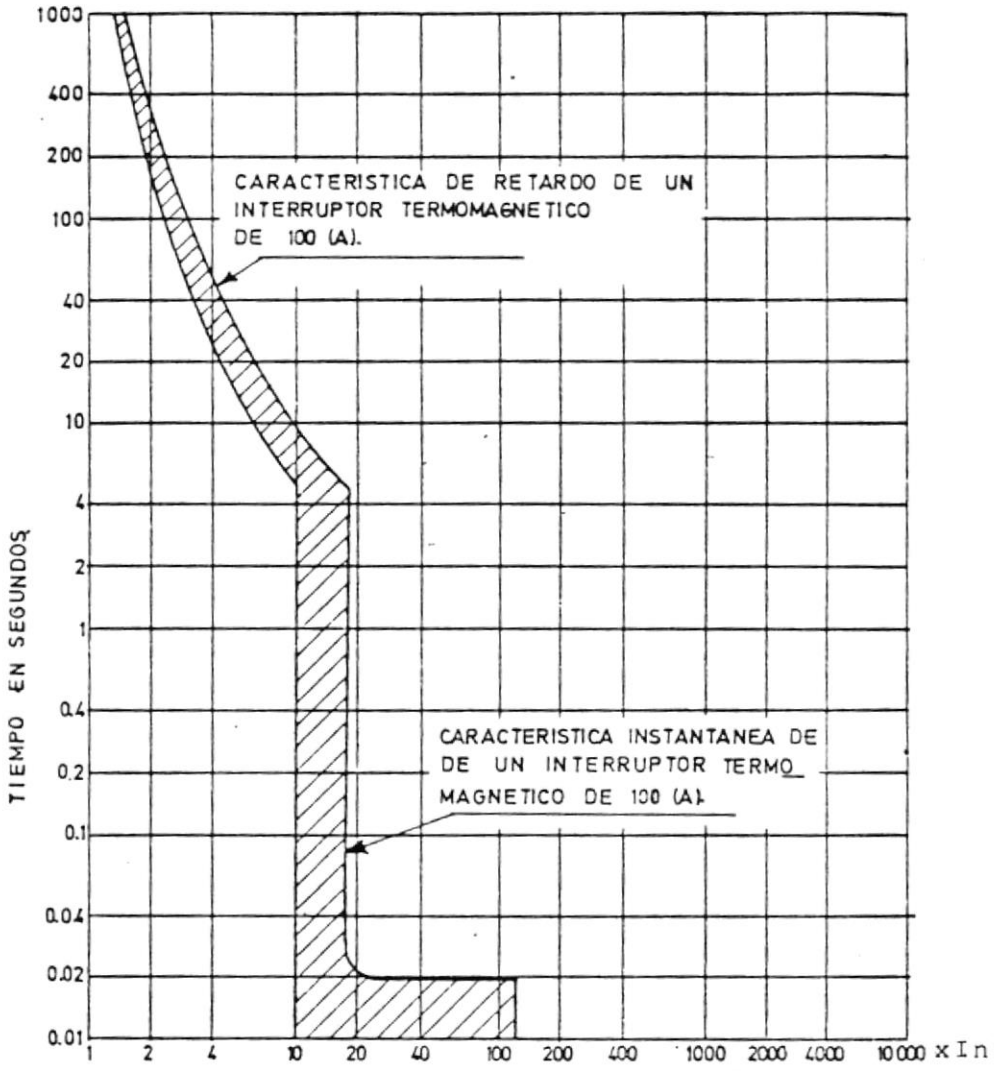


Fig. # 4. 4. 1.

CARACTERISTICA DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE CAJA MOLDEA_ DA DE 100 (A)

La combinación de estas dos características nos permi te obtener el disparo retardado para sobrecargas tra sientes, cortocircuitos de falla de bajo nivel y so brecargas permanentes. El disparo instantáneo actúa para corrientes de cortocircuito.

Algunos interruptores son diseñados con característi- cas de tiempo instantáneo solamente, y son utilizados principalmente en combinación con los arrancadores de motores en donde el interruptor dá la protección para cortocircuitos y los relés de sobrecarga del motor - dan la protección de sobrecarga. Una característica de este tipo de interruptores se aprecian en la figu- ra 4.4.2.

Otros interruptores son diseñados con características de tiempo corto de retardo en lugar de la caracterís- tica instantánea como se parecia en la figura 4.4.3., la finalidad del diseño de este tipo de interruptores es obtener mayor flexibilidad en la coordinación de los circuitos eléctricos y obtener sobre todo la se- lectividad entre interruptores conectados en serie.

Modernamente los interruptores se diseñan con las tres características, que son las características de tiempo largo, la característica de tiempo corto y la caracte- rística instantánea; con el fin de dar aún mayor flexi

In = CORRIENTE NOMINAL

I_2 = CORRIENTE DE OPERACION (o de pick - up)

$t_{(s)}$ = TIEMPO EN SEGUNDOS

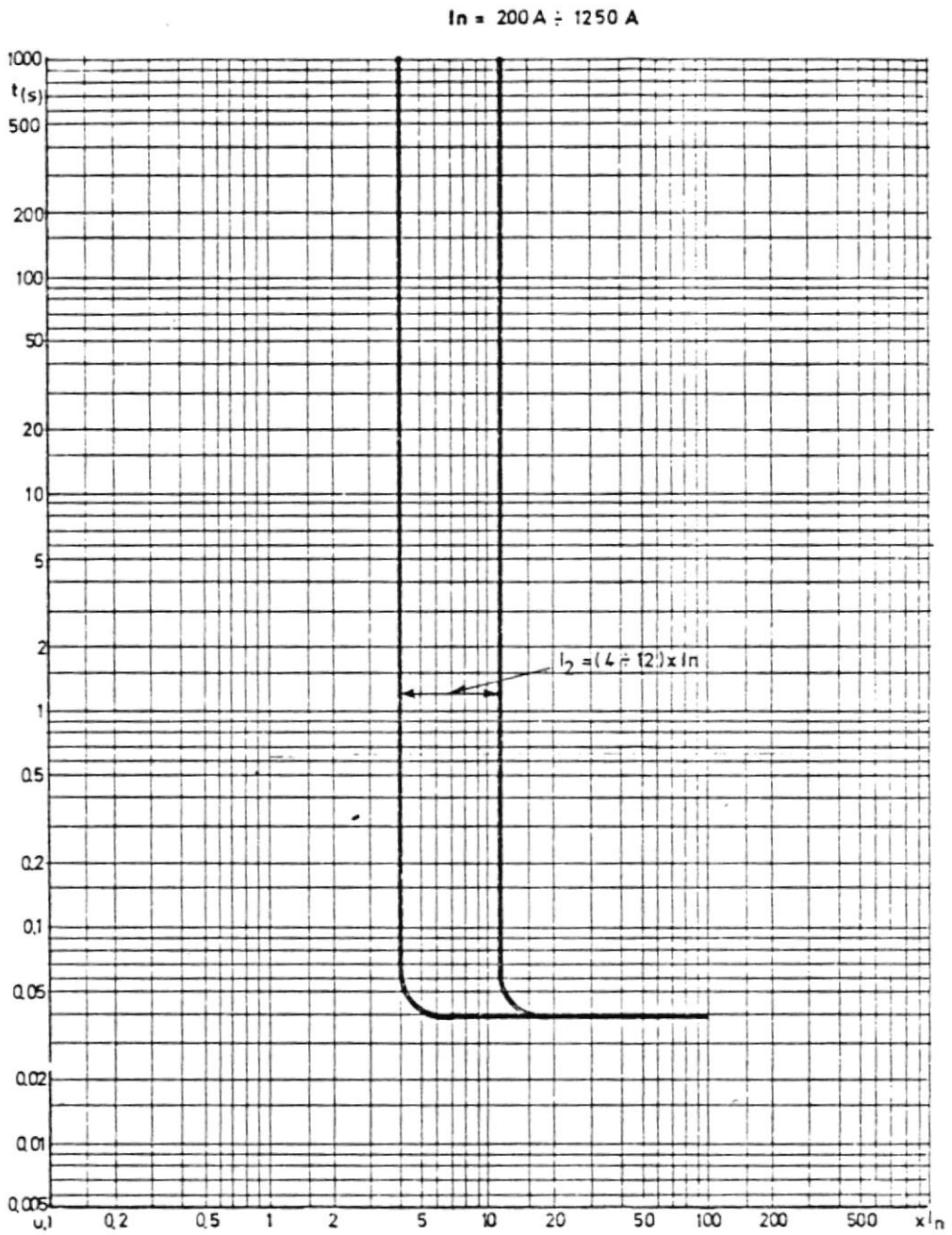


Fig # 4. 4. 2.

CARACTERISTICA INSTANTANEA DE UN INTERRUPTOR MAGNETICO

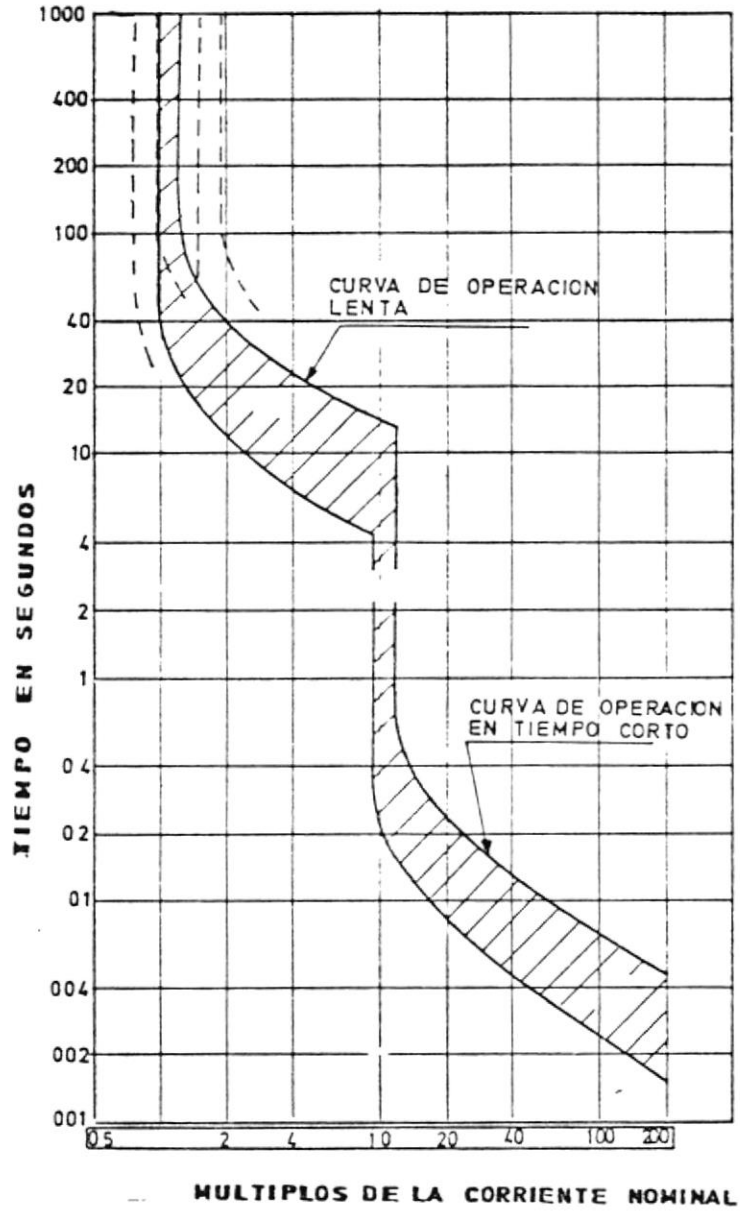


Fig. # 4. 4. 3.

CARACTERISTICA DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE OPERACION LENTA Y OPERACION EN TIEMPO CORTO.

bilidad a la protección del sistema eléctrico, más aún cada característica tiene un rango de ajuste para la corriente de actuación de los dispositivos de disparo, más conocida como corriente de "Pick-Up", con lo cual se consigue que los interruptores actúen con corrientes de operación variables, según las necesidades del sistema eléctrico.

Por otro lado tenemos también ajustes en el tiempo y de este modo se forman bandas de tres niveles de operación para cada característica que se los denomina banda máxima, intermedia y mínima, así como se aprecia en la figura 4.4.4.

Ultimamente el mayor adelanto realizado en cuanto a los interruptores es el uso de dispositivos de disparo de "Estado Sólido", es decir el uso de los semiconductores con los cuales se tiene la ventaja que las bandas de niveles de operación son más angostas, evitando con esto la superposición entre las características de un mismo interruptor. Los dispositivos de disparo de Estado Sólido operan usualmente con transformadores de corriente especiales que se denominan sensores de corriente. Estos sensores están conectados en los polos del Interruptor, los cuales dan una señal de tensión a los relés de estado sólidos y éstos a su vez, tienen -

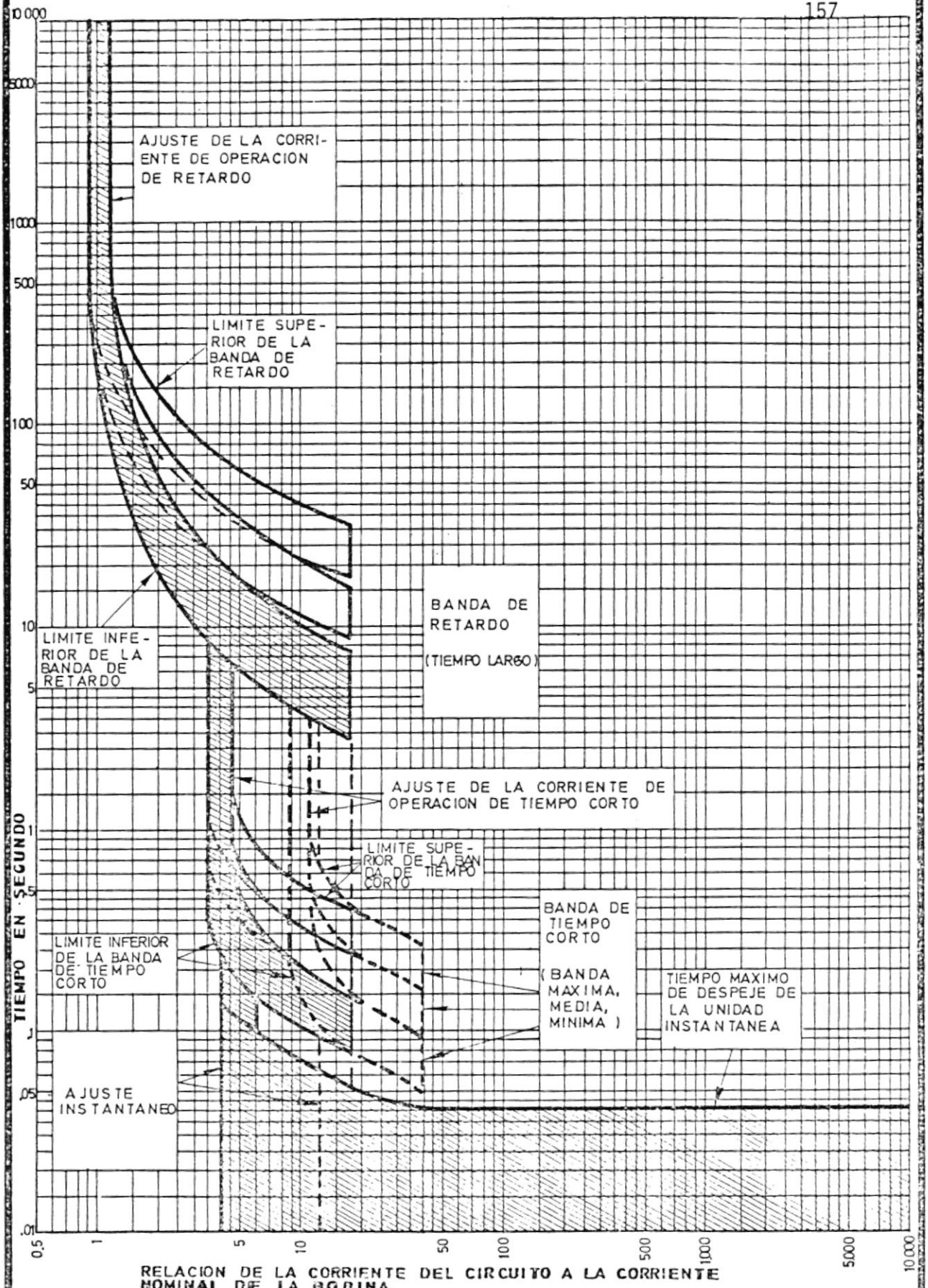


Fig # 4. 4. 4.

CARACTERISTICA DE UN INTERRUPTOR TERMO MAGNETICO CON CARACTERISTICAS DE RETARDO; TIEMPO CORTO E INSTANTANEA.

una señal de mando que es proporcional a la corriente que atravieza al interruptor y el disparo ocurre bajo una condición preseleccionada de tiempo y corriente.

Las características de disparo de los interruptores - de estado sólido son las mismas que la de los interruptores convencionales esto es, tienen características de tiempo largo, tiempo corto e instantáneo y sus combinaciones. También posee ajustes tanto para la corriente de operación como para el tiempo de disparo . Todo esto se aprecia en la figura 4.4.5.

4.5. VELOCIDAD DE ACTUACION DE LOS INTERRUPTORES

La rapidez con que un interruptor opera depende del - diseño de los elementos de disparo del Interruptor, y del diseño del mecanismo que cierra o abre el interruptor.

Con el diseño de los elementos de disparo se obtendrá la rapidez con que empieza a actuar el interruptor - cuando circula por él una corriente mayor a la de su corriente nominal; es decir si la corriente anormal - que atravieza por el interruptor corresponde a una sobrecarga entonces el tiempo que tarda el interruptor en iniciar su operación va a depender de la característica del dispositivo de disparo para tiempo de re

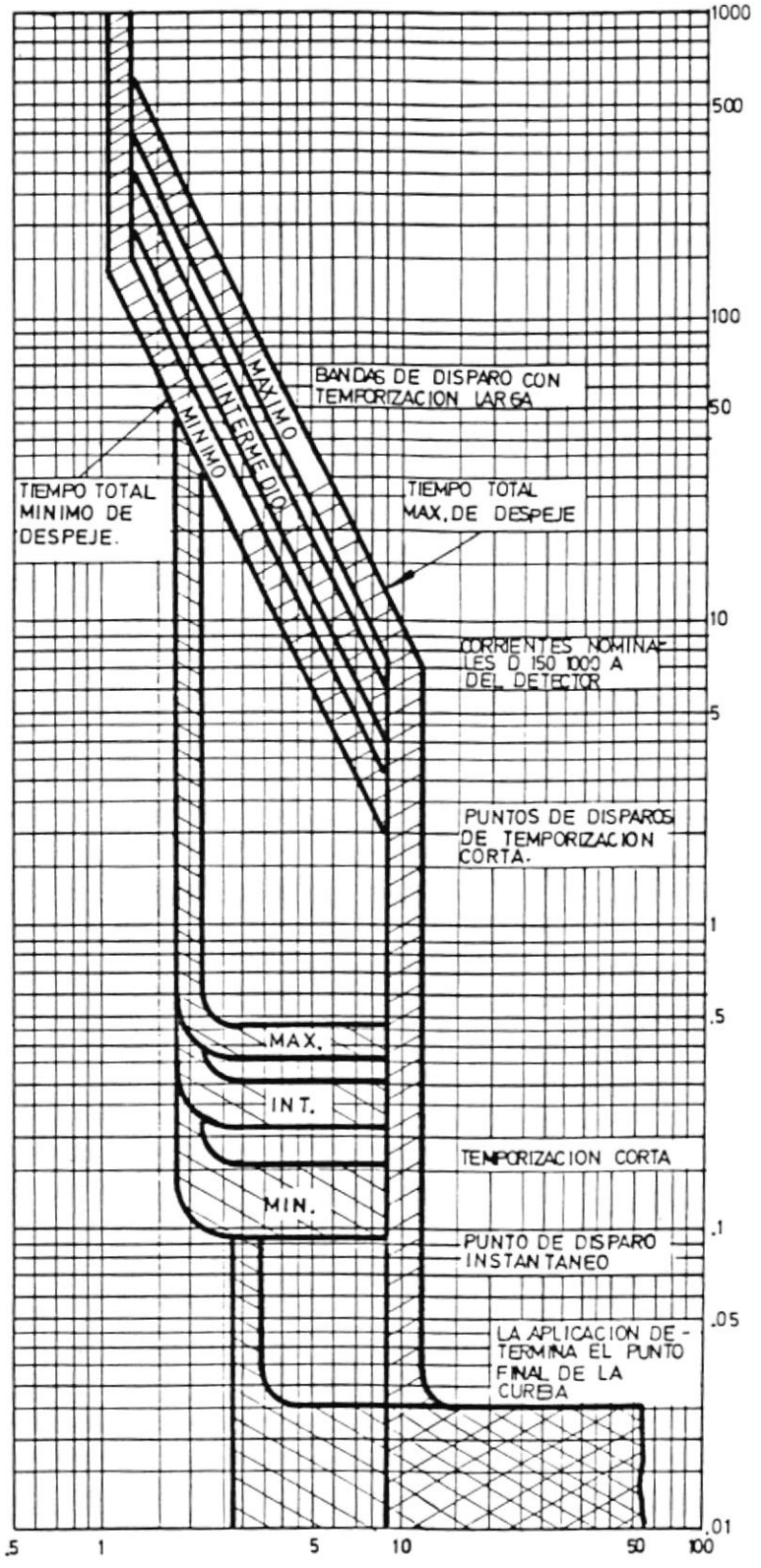


Fig # 4. 4. 5.

CARACTERISTICA DE UN INTERRUPTOR ELECTRONICO

tardo largo, pero si la corriente que fluye por el interruptor corresponde a una corriente de corto-circuito de gran magnitud, el tiempo que tarda el interruptor en iniciar su operación va a depender de la característica del dispositivo de disparo para tiempo de disparo corto o del dispositivo de disparo instantáneo.

Por otro lado tenemos que del diseño del mecanismo que abre el interruptor se va a obtener un tiempo de operación, este tiempo se conoce como tiempo - propio del interruptor, es decir es el tiempo necesario para que actue el dispositivo de desconexión e inicie la separación de los contactos.

A partir de este instante tenemos la conducción de la corriente que se realiza a través del arco eléctrico que se forma entre los contactos que empiezan a separarse. El tiempo de duración del arco eléctrico depende también del diseño del sistema de extinción. Con el fin de adquirir mayor rapidez dieléctrica para impedir la conducción de corriente - de arco y se los reduzca al mínimo posible se emplean diferentes métodos, como son:

El uso del vapor de aceite (para el caso de los interruptores de aceite o el uso de aire a presión - para el caso de los interruptores neumáticos).

En el primer caso, la rigidez dieléctrica se obtiene por la presión que se produce en la cámara de extinción ya que el aceite se vaporiza por la formación del arco y trata de aumentar su volumen; pero como el volumen del recipiente de aceite que forma la cámara de extinción no cede al volumen de aceite entonces se crea una presión que impide a la conducción del arco eléctrico.

En el segundo caso la rigidez dieléctrica se logra por la intensidad del chorro de aire que sopla al arco para extinguirlo. En ambos casos existen otros factores que también influyen para la rígidez dieléctrica de espacio entre los contactos como son naturaleza del gas; efecto de la velocidad y presión del gas, recorrido del arco, forma de los contactos,etc.

Según datos de los fabricantes se han logrado en los interruptores modernos que la duración del arco eléctrico sea como máximo de dos semiperíodos y en los normales la duración del arco es de 8 semiperíodos para el caso de interruptores de pequeña capacidad la extinción del arco ocurre en más de 8 semiperíodos.

Tomando en consideración todos estos tiempos empleados por los interruptores durante su operación moder

namente se han logrado que los interruptores tardan en interrumpir la corriente hasta 2.5 períodos, los interruptores convencionales tardan normalmente 8 periodos.

4.6. INTERRUPTORES DE GRAN CAPACIDAD

Los interruptores de gran capacidad se los conoce generalmente como interruptores tipo HD (del inglés - Heavy Duty) o sea para trabajos pesados por lo cual son de construcción más robusta que los destinados - para trabajo mediano y ligero, estos interruptores - de gran capacidad se diseñan con esa consistencia ya que se los destina a servicios muy pesados tanto por la frecuencia de maniobra como por su capacidad de soportar grandes sobrecargas.

Existen tres tipos básicos de gran capacidad que tienen fusibles incorporados y están diseñados para corriente de 800 a 6000 amperios; estos son:

a. Los interruptores de contacto de presión atornillados que tienen un mecanismo de presión que atornilla fuertemente las cuchillas de los contactos - cuando se lleva al interruptor a la posición de cerrado. Unos muelles auxiliares mantienen una pre

sión inicial durante la apertura o cierre evitando la formación del arco eléctrico y el picado de los contactos principales. Los fusibles más apropiados para incorporar este tipo de interruptores es el de los clase "L".

b. Interruptores de seccionamiento: Estos interruptores no portan el mecanismo de disparo por sobrecarga y para la protección de sobre corriente se han incorporado fusibles clase "L" limitadores de corriente.

c. Interruptores de potencia con fusibles que tienen todos los mecanismos de disparo por sobrecarga como los interruptores normales de gran capacidad pero además posee fusibles clase "L" reemplazables - cuya finalidad es aumentar la capacidad de interrupción de corriente de cortocircuito.

Los interruptores de potencia con fusibles se clasifican en dos categorías y estos son:

1. Interruptores de Potencia Clase I: Tienen todas las características necesarias para aplicar en circuitos derivados importantes y acometidas.

   En este caso el fusible clase "L" solo sirve para

aumentar el alcance de la corriente de cortocircuito a un mayor valor real exigido en la prueba de corto.

2. Interruptores de Potencia Clase II: Se emplean fusibles coordinados y actuan con corrientes inferiores a los especificados en las pruebas de cortocircuito, tiene capacidad de interrumpir corrientes - hasta de 25 veces la corriente nominal.

La aplicación de estos interruptores son en lugares - donde se ha de instalar y coordinar con fusibles clase "L".

La capacidad de interrupción de los fusibles clase - "L" que se incorporan en los interruptores de gran capacidad es de 100 mil o 200 mil amperios eficaces;los voltajes tipos de estos interruptores son: de 240,480, 500 y 600 voltios.

Todos estos interruptores de gran capacidad poseen - también desconexión manual, pueden llevar además una bobina de disparo en paralelo para la maniobra eléctrica del interruptor.

Actualmente se construyen interruptores sin fusibles con capacidad de hasta 1200 amperios como son espe-

cialmente los de caja moldeada y emplean elementos - de disparo de estado sólido.

4.7. INTERRUPTORES DE POTENCIA LIMITADORES DE CORRIENTE

Existen dos tipos de interruptores limitadores de corriente el uno es el interruptor de potencia con fusibles limitadores de corriente incorporados; en este caso se tiene una simple combinación de un interrúptor de potencia con un fusible limitador de corriente montados en un solo mecanismo compacto;de este modo cuando ocurren perturbaciones relativamente pequeñas el circuito será abierto por el propio interruptor mientras que si ocurren grandes perturbaciones será el fusible limitador de corriente el que actuá.

El otro tipo de interruptor es aquel que limita la corriente por si mismo es decir es un interruptor - que no tiene fusible; se caracteriza en que su mecanismo de funcionamiento es completamente mecanico y esta eléctricamente aislado de los elementos conductores.

Con estos interruptores se pueden interrumpir la corriente hasta de 3000 amperios mediante los dispositivos de disparo térmico y magnético del interruptor;

su tamaño es un poco mayor que los interruptores de potencia normales debido a sus características de interrupción y amortiguación de ruidos.

Actualmente existen en el mercado interruptores con zócalo correspondiente a 100 amperios con calibres desde 15 hasta 100 amperios. Según datos técnicos que se han publicado estos interruptores una corriente de cortocircuito de 100 mil amperios en un circuito trifásico de 600 voltios, capaz de producir - valores de cresta de corrientes de 230 mil amperios en 1.84 milisegundos y limitaran estos valores de cresta hasta 36 mil amperios de valor instantáneo y el valor I^2t a 0.6×10^6 amperios^2 segundos.

El esquema elemental de un polo característico de un interruptor de potencia de limitación de corriente tripolar se aprecia en la figura 4.7.1.

4.8. SELECCION DE BREAKERS PARA SISTEMAS ESPECIALES

La mayoría de los breakers son trifásicos para operar en un sistema de potencia trifásico ya sean estos - aterrizados o no; por lo que la mayoría de los interruptores tienen sus valores nominales estandar en base a estas condiciones; para seleccionar un interruptor en tales sistemas es suficiente con seleccio

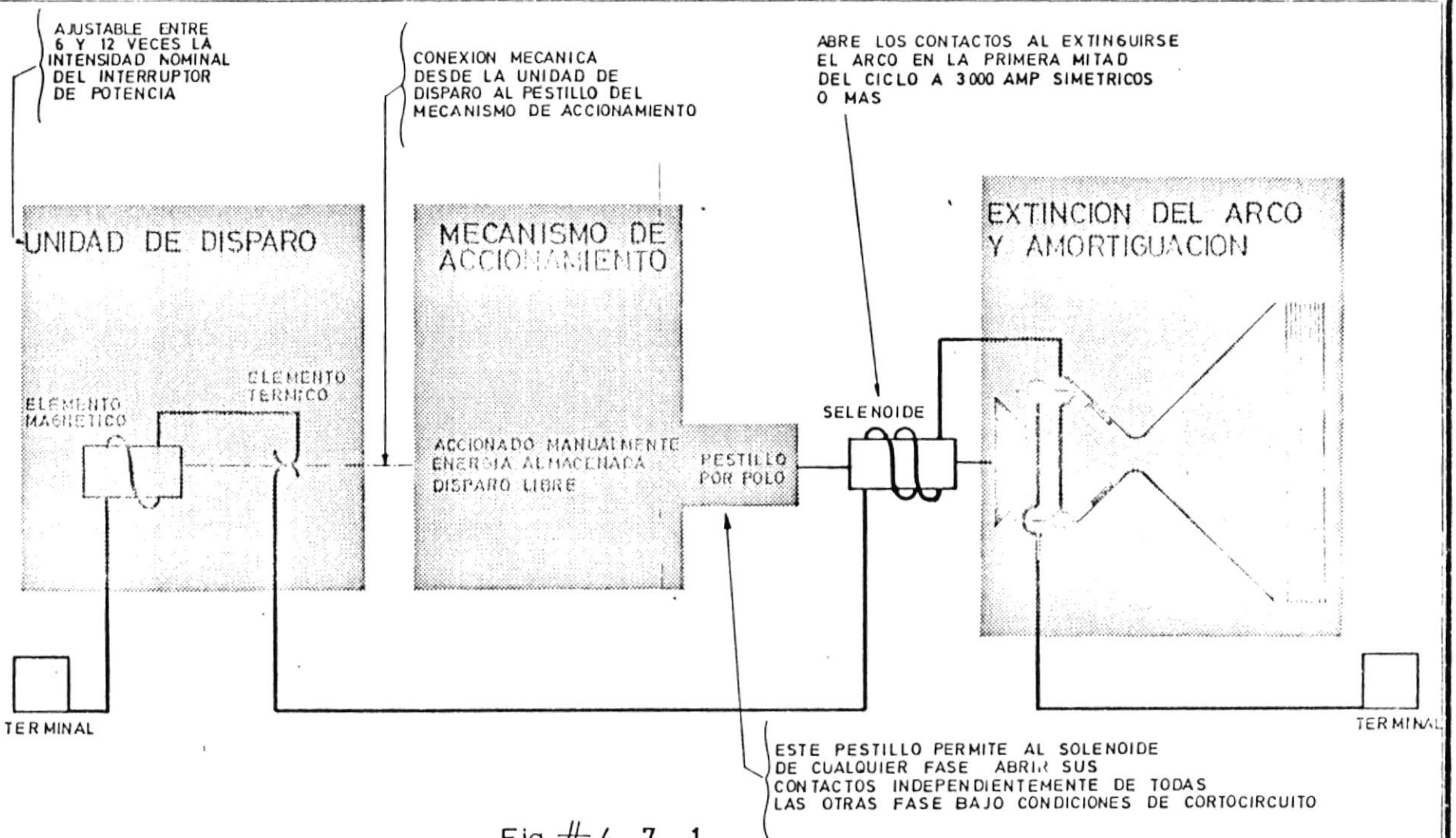


Fig # 4. 7. 1.

ESQUEMA ELEMENTAL DE UN POLO CARACTERISTICO DE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA DE LIMITACION DE INTENSIDAD TRIPOLAR

nar un interruptor que tenga todos sus valores nominales mayores a los del sistema para toda condición de operación del sistema. Esto es; se tomará en cuenta las tolerancias tanto para el voltaje como para la corriente; puesto que en un sistema real se toman en cuenta una serie de factores que afectan a las condiciones iniciales del sistema como son la regulación del voltaje; capacitores en paralelo; sobre excitación o sobre velocidad de las máquinas síncronas; el sistema de taps de los transformadores crecimiento de carga variaciones en las salidas bruscas de circuitos o carga, adición de circuitos en paralelo y cualquier otro cambio del sistema al cual altere la capacidad de interrupción.

Existen breakers especiales de 1, 2 y 4 polos para servicios especiales su valor nominal equivalente del interruptor trifásico puede determinarse de las tablas 1, 2 y 3 de la siguiente manera:

1. Se ve que el voltaje nominal trifásico del tipo sea igual o mayor que el voltaje determinado en la columna 5 de las tablas.

2. Hacer una selección tentativa del breaker en base a los KVA., trifásicos equivalentes según la

TABLA 4.8.I.

DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO EQUIVALENTE Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS TRIFASICOS

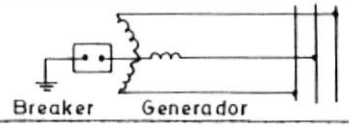
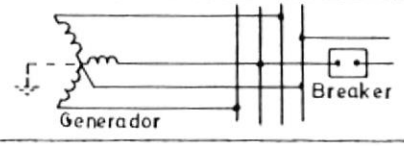
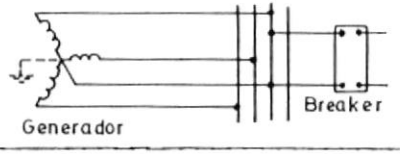
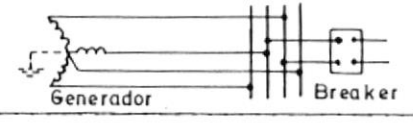
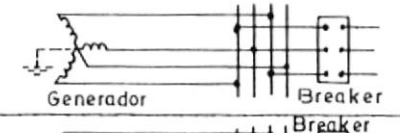
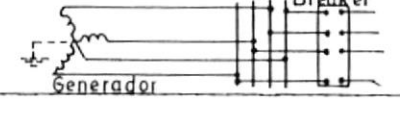
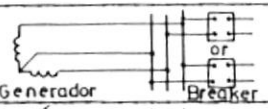
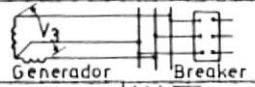
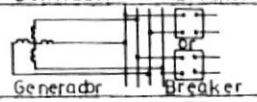
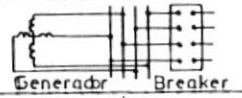
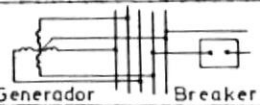
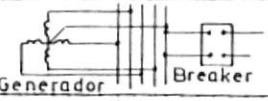
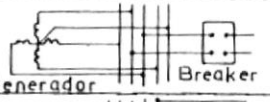
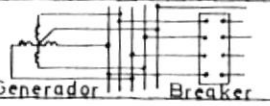
Nº	CONEXIONES DE SIST. TIPICOS	TIPOS DE SIST.	Nº POLOS DEL INTERRUPTOR	SELECCIONE UN BREAKER CUYO VOLTAJE NOMINAL SEA IGUAL O MAYOR AL EQUIVALENTE TRIFASICO (V)COMO SE DETERMINA ABAJO.	SELECCIONE UN BREAKER CUYA CAPACIDAD NOMINAL TRIFASICA SEAN MAYOR O IGUAL QUE EL VALOR CALCULADO A BAJO. I=CORRIENTE DE INTERRUPCION A LA TENSION DE SERVICIO. V=VOLTAJE EQUIVALENTE TRIFASICO DE LA COLUMNA ADYACENTE
1		Sistema de 3 alambres aterrizado.	Un polo en el neutro.	Tensión mayor de cable a cable.	0.87I x 1.73 V
2		4 alambres con el neutro aterrizado o no aterrizado.	Un polo en el cable exterior.	Tensión mayor de cable a cable.	0.87I x 1.73 V"
3		4 alambres con el neutro aterrizado o no aterrizado.	Breaker monofásico independientes	1.15 veces la tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
4		4 alambres con neutro aterrizado o no aterrizado.	Breaker bifásico externo conectado con el neutro.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
5		4 alambres con neutro aterrizado o no aterrizado.	Breaker bifásico externo.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
6		4 alambres con neutro aterrizado o no aterrizado.	Breaker trifásico.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
7		4 alambres con neutro aterrizado o no aterrizado.	4 polos	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73V

TABLA 4.3.2.

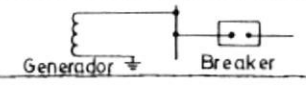
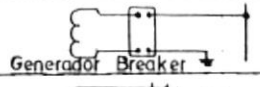
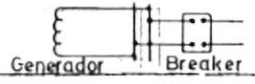
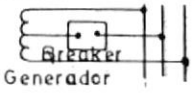
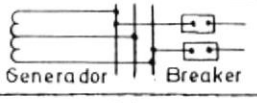
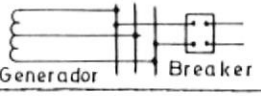
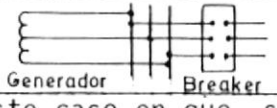
DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO EQUIVALENTE Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS BIFASICOS

Nº	CONEXIONES DE SIST.TIPICOS	TIPOS DE SIST.	Nº.DE POLOS DEL INTERRUPTOR	SELECCIONE UN BREAKER CUYO VOLTAJE NOMINAL SEA IGUAL O MAYOR AL EQUIVALENTE TRIFASICO(V)COMO SE DETERMINA ABAJO.	SELECCIONE UN BREAKER CUYA CAPACIDAD NOMINAL TRIFASICA SEA MAYOR O IGUAL QUE EL VALOR CALCULADO ABAJO. I=CORRIENTE DE INTERRUPCION A LA TENSION DE SERVICIO. V=VOLTAJE EQUIVALENTE TRIFASICO DE LA COLUMNA ADYACENTE.
1		3 alambres no aterrizados.	2 polos en cualquier par de cables.	Tensión mayor de cable a cable.	"I x 1.73V
2		3 alambres no aterrizados.	3 polos	Tensión mayor de cable a cable.	"I x 1.73 V
3		4 alambres no aterrizados	2 polos.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
4		4 alambres no aterrizados.	4 polos.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73 V
5		5 alambres aterrizado o no aterrizado.	1 polo en cualquier cable externo.	Tensión mayor de cable a cable.	0.87I x 1.73V
6		5 alambres aterrizado o no aterrizado.	2 polos entre el neutro y cualquier fase.	Tensión mayor de cable a cable.	0.87I x 1.73V
7		5 alambres aterrizado o no aterrizado.	2 polos D.C. externos.	Tensión mayor de cable a cable.	0.87I x 1.73V
8		5 alambres aterrizados o no aterrizados.	4 polos externos.	Tensión mayor de cable a cable.	I x 1.73V

"I = es la corriente en uno de los conductores externos.

TABLA 4.8.

DETERMINACION DEL VOLTAJE TRIFASICO EQUIVALENTE Y LA INTERRUPCION NOMINAL PARA SISTEMAS MONOFASICOS

Nº DE LINEAS.	CONEX. DE SIST. TIPICOS.	TIPOS DE SISTEMAS	NºDE POLOS DEL INTERRUPTOR.	SELECCIONE UN BREAKER CUYO VOLTAJE NOMINAL SEA IGUAL O MAYOR AL EQUIVALENTE TRIFASICO(V) COMO SE DETERMINA ABAJO.	SELECCIONE UN BREAKER CUYA CAPACIDAD NOMINAL TRIFASICA SEA MAYOR O IGUAL QUE EL VALOR CALCULADO ABAJO. I=CORRIENTE DE INTERRUPCION A LA TENSION DE SERVICIO. V=VOLTAJE EQUIVALENTE TRIFASICO DE LA CORRIENTE ADYACENTE
1		2 alambres con 1 aterrizado.	1 polo	1.73 veces del voltaje de línea tierra.	0.87I x 1.73V
2		2 alambres con I aterrizado.	2 polos	1.73 veces del voltaje de línea de tierra.	I x V
3		2 alambres no aterrizados.	2 polos	Voltaje de línea a línea	I x 1.73V
4		3 alambres y neutro aterrizado o no aterrizado.	1 polo en el neutro.	1.73 veces el voltaje mayor de línea neutro.	0.87I x 1.73V
5		3 alambres y neutro aterrizado o no aterrizado.	1 polo"	1.73 veces el voltaje de línea neutro respectivo.	0.87I x 1.73V
6		3 alambres y neutro aterrizado o no aterrizado.	2 polos	El mayor voltaje de cable a cable.	I x 1.73V
7		3 alambres y neutro aterrizado o no aterrizado.	3 polos	El mayor voltaje de cable a cable.	I x 1.73V

"Para este caso en que se usa un breaker monofásico y cuyos voltajes no son iguales se deberán revisar cual de ellos es el menor a fin de colocar el interruptor adecuado, puesto que para una falla externa primero deberá disparar el interruptor de mayor voltaje a no ser que ambos interruptores tengan el mismo valor de voltaje. Nótese que este es el caso en que se usa interruptores monofásicos independientes (2 interruptores) cuyos voltajes no son iguales.

forma dada en la última columna de las tablas 4.8.1 a 4.8.3.

Si los KVA trifásicos equivalentes (calculados) son más - que el 95 % de kilovoltioamperios nominales del tipo de breaker se tendrá que repetir el intento, hasta que los valores estén los más cercanos posibles al valor deseado, pero en todo caso los KVA trifásicos serán siempre mayor o igual a los KVA calculados según la última columna de las tablas 4.8.1 a 4.8.3.

3. La duración de la corriente de cortocircuito y la limitación de la capacidad de interrupción de corriente - no debe exceder al valor permitido.

Por otra parte también se los considera como interruptores, especiales aquellos destinados a trabajar en medios adversos; ya que existen condiciones no usuales A LAS QUE SE DEBE DAR CONSIDERACIONES ESPECIALES para la selección y diseño de los aparatos, tales:

1. Exposición al humo o vapores, excesivo polvo; contaminación de materiales explosivos ya sea en polvo o vapor, gases, spray, aguas servidas o contaminadas,etc.

2. Exposición a vibraciones anormales choques o caídas.

3. Exposición a temperaturas excesivamente altas y bajas.

4. Exposición a transportación no usual o condiciones de depósito.

5. Limitación de espacio no usual.

6. Capacidad de operación no usual; frecuencia de operación, dificultad de mantenimiento, etc.

4.9. INTERRUPTOR EN CASCADA PARA BAJA TENSION

Cuando los breakers o interruptores están conectados en serie en un sistema eléctrico en forma única (En cuanto a elementos de protección) se dice que se encuentran conectados en cascada. Para su operación se coordina de tal manera que despeje la falla de aquel interruptor que este más cercano a dicha falla. Para diseñar un sistema eléctrico utilizando interruptores en cascada hay que tener las siguientes consideraciones:

a. La conexión en cascada está limitado solo a dos o tres rangos de interrupción.

1. El valor nominal de interrupción del interruptor o de los interruptores más cercanos a la fuente de potencia serán por lo menos igual - al 100 % de la corriente de cortocircuito.

   El interruptor o los interruptores que se hallan en este lugar se los calibrará para que operen con la característica instantánea pero de manera tal que de una protección de respaldo cuando el interruptor siguiente (del lado de la carga) esté calibrado para una corriente mayor de 80 % de su capacidad de interrupción nominal.

2. El interruptor o interruptores en el segundo paso de la cascada serán seleccionados calculando la corriente de cortocircuito igual que los interruptores del primer paso (los más - cercanos a la fuente de generación) más la - contribución de corriente de motores (si los hay) en el segundo paso y este valor de corriente de cortocircuito calculado no excederá del 200% de su capacidad de interrupción - nominal en este caso también el interruptor o interruptores tendrán disparo instantáneo para un valor de corriente de tal manera que dé

protección de respaldo cuando el interruptor del próximo paso inferior (es el siguiente - con respecto a la carga) esta calibrado para operar con corrientes mayores del 80 % y su capacidad nominal de interrupción. Para un sistema con cascadas de dos pasos, el segundo interruptor (o interruptores) tendrá calibrado el dispositivo de disparo instantáneo a un valor mayor de la corriente de arranque de la carga.

3. El breaker(o breakers) del tercer paso será seleccionado calculando la corriente de cortocircuito como en el primer paso más las - contribuciones de corrientes del segundo y tercer paso y este valor no excederá del - 300% de su capacidad de interrupción nominal. El breaker (o breakers) del tercer paso también tendrá un disparo instantáneo a un valor de corriente que sea mayor de arranque - de la carga.

b. Todo breaker sujeto a interrupciones de corrientes de falla mayores que su corriente de interrupción nominal, será operado electricamente.

c. Para hacer conexiones en cascada se tendrá que adquirir recomendaciones de los fabricantes a fin - de asegurar una buena coordinación entre los interruptores.

d. Los interruptores queestán sometidos a operar con corriente mayores a los de su capacidad de interrupción nominal, están limitados a realizar una sola operación puesto que puede ser necesario hacer un mantenimiento, o reemplazo luego de que el breaker ha operado.

Para calcular las corrientes de cortocircuito de cada paso se incluirá la impedancia de todos los elementos del circuito (incluyendo las bobinas de disparo del interruptor en cuestión y la fuente de alimentación, pero no se incluirá la impedancia del cuya corriente de interrupción está determinándose. Por ejemplo la impedancia delos interruptores de los dos primeros pasos se puede incluír para el cálculo de la corriente de falla parael interruptor del tercer paso - no se incluirá la impedancia del breaker del tercer paso.

4.10. SELECCION DE DISPARO DELOS INTERRUPTORES PARA BAJA TENSION

La aplicaciónde interruptor en serie con disparo selec

tivo es de tal manera que solo el breaker más cercano a la falla (desde el lado de la fuente de alimentación) abrirá y aislará la falla del sistema, con esto se logra la máxima continuidad de servicio, para esto hay que tener las siguientes consideraciones:

1. Cada interruptor tiene que ser de una capacidad de interrupción igual o mayor que la corriente de cortocircuito permisible en el punto de aplicación.

2. Cada interruptor equipado con dispositivos el disparo selectivo y que tiene un dispositivo de disparo de tiempo corto, el valor de la corriente de interrupción nominal de este dispositivo a de ser igual o mayor que la corriente de cortocircuito permisible en el punto de aplicación. Esto no se aplica para interruptores alimentadores que tiene dispositivo de - disparo instantáneo.

3. Las características de disparo de cada interruptor son elegidas de tal manera que el dispositivo de sobrecorriente más cercano a la falla (desde el lado de alimentación) opere para despejar el circuito que ha fallado.

Los breakers más cercanos a la fuente de alimenta-

ción deben permanecer cerrados manteniendo la continuidad del servicio al circuito que no ha fallado.

Para que esta selectividad se cumpla, las características de los dispositivos de disparo no tienen que superponerse.

4. La operación manual de los interruptores está limitado solo para aplicación en las que se requieren que el disparo retardado no exceda de 15000 amperios. En otras palabras los interruptores que tienen otros - dispositivos de disparo con características de corto tiempo los cuales se aplican en sistemas - donde la corriente de cortocircuito permisible es mayor que 15000 amperios, son operados electricamente. Mientras que los interruptores que tienen disparo instantáneo a 15000 amperios o menos, si se aplican al mismo sistema pueden operarse manual o electricamente.

5. Como máximo se deben colocar 4 interruptores de - baja tensión en serie para que operen selectivamente siendo uno de ellos el interruptor alimentador con disparo instantáneo.

6. En cuanto al disparo selectivo también se requiere que coordine con el resto del sistema. Por ejemplo los interruptores del lado de baja tensión de un banco de transformadores requiere coordinar con los relés o fusibles del lado de alta tensión.

7. Los requerimientos para el disparo selectivo tienen que ser considerados en el inicio del diseño del sistema. La distribución de la carga debe ser tal que la corriente continua nominal de varios interruptores (valor nominal de la bobina de disparo de los dispositivos de disparo de sobre corriente) pueda dar la selectividad deseada.

4.11. MAGNITUD DE INTERRUPCION

Generalmente se refiere a la magnitud de corriente en el instante que ocurre la apertura del circuito pero algunos fabricantes especifican la capacidad en KVA en lugar de la corriente en el instante que se abre el circuito y que comunmente se lo conoce como capacidad o poder de ruptura.

Por no haber uniformidad de criterios sobre los factores que integran las condiciones de diseño de parte de los fabricantes. La Comisión Electrotécnica - Internacional recomienda que, si en vez de la corrien

te de interrupción (o de ruptura) se indica la capacidad de interrupción en kilovoltioamperios y para un sistema trifásico se sobre entenderá que dicho - valor ha de resultar del producto de $\sqrt{3}$ por la tensión de servicio de fase a fase y por la corriente de ruptura esto es; KVA (interrupción)= $\sqrt{3}$V11.Ir.

En donde V11 es la tensión de línea a línea.
Ir es la corriente de interrupción.

Entendiéndose que la corriente de ruptura es el valor eficaz de la componente alterna durante la semionda con la cual se inicia el arco entre los contactos.

4.12.TABLAS DE DATOS DE LOS INTERRUPTORES

Comparando las tablas 1,2 y 3 se nota la diferencia entre interruptores de potencia para baja tensión . El valor nominal de interrupción o el valor de corriente de cortocircuito son función del voltaje nominal cuyo rango es de 120V a 635V. Por otra parte la corriente nominal de cortocircuito también es - función de las características de los dispositivos de disparo tal es así que la corriente nominal de cortocircuito para interruptores con dispositivo de disparo instantáneo es en la mayoría de los casos -

TABLA 4.12.1.

CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL TIPICA PARA INTERRUPTORES DE CAJA MOLDEADA, EN AMPERIOS

Tamaño (Amp.)	Corriente Continua Nominal (Amp.)	Monofasico de corriente alterna				Corriente alterna - de 2 y 3 fases		Interruptores para corriente alterna de 2 y 3 polos 600 V AC Nominal.					
		120/240V		277V		120/240V		240V		480V		600	
		Sim	Asim	Sim	Asim	Sim	Asim	Sim	Asim	Sim	Asim	Sim	Asim
100	0-100	5000	5000	-	-	5000	3000	-	-	-	-	-	-
100	0-100	7500	7500	10000	10000	7500	7500	18000	20000	14000	15000	14000	15000
100	0-100	-	-	-	-	-	-	65000	75000	25000	30000	18000	20000
100	0-100	-	-	-	-	-	-	100000	-	100000	-	100000	-
200	125-200	-	-	-	-	10000	10000	-	-	-	-	-	-
225	125-225	-	-	-	-	10000	10000	-	-	-	-	-	-
225	70-225	-	-	-	-	-	-	22000	25000	18000	20000	14000	15000
225	70-225	-	-	-	-	-	-	25000	30000	22000	25000	22000	25000
225	70-225	-	-	-	-	-	-	65000	75000	35000	40000	25000	30000
225	70-225	-	-	-	-	-	-	100000	-	100000	-	100000	-
400	200-400	-	-	-	-	-	-	35000	40000	25000	30000	22000	25000
400	200-400	-	-	-	-	-	-	65000	75000	35000	40000	25000	30000
400	200-400	-	-	-	-	-	-	100000	-	100000	-	100000	-
600	300-600	-	-	-	-	-	-	42000	50000	30000	35000	22000	25000
600	300-600	-	-	-	-	-	-	100000	-	100000	-	100000	-
800	300-800	-	-	-	-	-	-	42000	50000	30000	35000	22000	25000
800	300-800	-	-	-	-	-	-	65000	75000	35000	40000	25000	30000
800	600-800	-	-	-	-	-	-	100000	-	100000	-	100000	-
1000	600-1000	-	-	-	-	-	-	42000	50000	30000	35000	22000	25000
1200	700-1200	-	-	-	-	-	-	42000	50000	30000	35000	22000	25000

TABLA 4.12.2.

VALORES NOMINALES DE BAJA TENSION PARA CORRIENTE ALTERNA CON DISPOSITIVO DE DISPARO INSTANTANEO DE ACCION DIRECTA

Nº de líneas	VOLTAJE NOMINAL		Nivel de aislamiento resistencia - dieléctrica (voltios)	Corriente Nominal de Corto-circuito.Trifásico(AMP.SIM)	Tamaño (Amperios)	CORRIENTE CONTINUA NOMINAL (AMPERIOS)
	Voltaje Nominal (volt.)	Voltaje Máx.Nominal (volt.)				RANGO NOMINAL DE DISPARO **
						DISPARO INSTANTANEO
1	600	635	2200	14000	225	40 - 225
2	600	635	2200	22000	600	40 - 600
3	600	635	2200	42000	1600	200 - 1600
4	600	635	2200	42000	2000	200 - 2000
5	600	635	2200	65000	3000	2000 - 3000
6	600	635	2200	85000	4000	4000
7	480	508	2200	22000	225	40 - 225
8	480	508	2200	30000	600	100 - 600
9	480	508	2200	50000	1600	400 - 1600
10	480	508	2200	50000	2000	400 - 2000
11	480	508	2200	65000	3000	2000 - 3000
12	480	508	2200	85000	4000	4000
13	240	254	2200	25000	225	40 - 225
14	240	254	2200	42000	600	150 - 600
15	240	254	2200	65000	1600	600 - 1500
16	240	254	2200	65000	2000	600 - 2000
17	240	254	2200	110000	4000	4000

* Las corrientes nominales de cortocircuito monofásico son el 87 % de estos valores.
**La capacidad de corriente continua de los dispositivos de disparo de algunos interruptores pueden ser mayor que la corriente nominal del dispositivo de disparo.

TABLA 4:12.3.

VALORES NOMINALES PARA INTERRUPTORES DE BAJA TENSION PARA CORRIENTE ALTERNA SIN DISPOSITIVO DE DISPARO INSTANTANEO DE ACCION DIRECTA

Nº Línea	VOLTAJE NOMINAL		Nivel de aislamiento resistencia dieléctrica (v).	Corriente* Nominal de cortocircuito trifásico.	Tamaño (amp.) (sim.)	Corriente continua nominal (amperios)		
	Voltaje Nominal (volt.)	Voltaje Max.Nominal - (volt.)				Rango de disparo nominal**		
						Disparo de tiempo corto		
						Banda de tiempo mínimo.	Banda de tiempo medio.	Banda de tiempo máximo.
1	600	635	2200	14000	225	100 - 125	125 - 225	150 - 225
2	600	635	2200	22000	600	175 - 600	200 - 600	250 - 600
3	600	635	2200	42000	1600	350 - 1600	400 - 1600	500 - 1600
4	600	635	2200	42000	2000	350*** - 2000	400 - 2000	400 - 2000
5	600	635	2200	65000	3000	2000 - 3000	2000 - 3000	2000 - 3000
6	600	635	2200	85000	4000	4000	4000	4000
7	480	508	2200	14000	225	100 - 225	125 - 225	150 - 225
8	480	508	2200	22000	600	175 - 600	200 - 600	250 - 600
9	480	508	2200	42000	1600	350 - 1600	400 - 1600	500 - 1600
10	480	508	2200	50000	2000	350 - 2000	400 - 2000	500 - 2000
11	480	508	2200	65000	3000	2000 - 3000	2000 - 3000	2000 - 3000
12	480	508	2200	85000	4000	4000	4000	4000
13	240	254	2200	14000	225	100 - 225	125 - 225	150 - 225
14	240	254	2200	22000	600	175 - 600	200 - 600	250 - 600
15	240	254	2200	42000	1600	350 - 1600	400 - 1600	500 - 1600
16	240	254	2200	50000	2000	350 - 2000	400 - 2000	500 - 2000
17	240	254	2200	65000	3000	2000 - 3000	2000 - 3000	2000 - 3000
18	240	254	2200	85000	4000	4000	4000	4000

* Las corrientes nominales de cortocircuito monofásico son el 87 % de estos valores.

** La capacidad de corriente continua de los dispositivos de disparo de algunos interruptores pueden ser mayor que la corriente nominal del dispositivo del disparo.

***La corriente nominal de cortocircuito para interruptores sin dispositivo instántaneo de acción directa y que abren con relé remoto, son iguales a los que se listan aquí.

mayor que en los interruptores sin disparo instantáneo pero que tienen dispositivo de disparo para - tiempo corto.

4.13. PRUEBAS DE INTERRUPTORES

Las pruebas a que se les somete a los interruptores son de dos clases: Pruebas de tipo y Pruebas de verificación.

Entre las pruebas de tipo tenemos:

a. Prueba de prestación: Esta prueba sirve para determinar la corriente de ruptura nominal y la corriente de cierre nominal. Para tales mediciones se emplea el oxilógrafo catódico y se registra la corriente de fase, la tensión de fase y la tensión de arco; las pruebas se harán un número considerable de veces con el fin de garantizar que se han verificado las más duras condiciones de funcionamiento.

b. Prueba de sobrecarga: Sirve para comprobar que el interruptor es capáz de soportar la corriente de sobrecarga a la que ha sido diseñado.

c. Prueba de temperatura: Con esta prueba se verifica el comportamiento del interruptor para efectos de calentamiento con la corriente nominal ya que este calentamiento no debe exceder a los valores que se recomienda.

Para instalaciones cuya altura es mayor a 1000 mts. sobre el nivel del mar, los valores tabulados por los fabricantes se reducirán en 1 % por cada 100 mts. que excedan de dicha altura.

La temperatura en el interior del interruptor deberá ser medida por medio de un termómetro o de un par termoeléctrico colocado en las partes de mayor temperatura. La temperatura ambiente se leerá - por las indicaciones de los termómetros situados a un metro de distancia del interruptor: Uno a la altura de los contactos y otros dos 50 cm., más - abajo y más alto.

d. Prueba de aislamiento: Esta prueba se la considera tanto como de tipo como también de prueba de verificación. Esta prueba tiene por objeto comprob[illegible] la actitud del interruptor para funcionar a l[illegible] sión nominal y verificar la capacidad resist[illegible] del material aislante.

La Tensión de Prueba de Aislamiento es igual a - dos veces la tensión nominal más 10.000 voltios dado en valor eficaz.

Si los interruptores son de alta tensión y poseen terminales con aisladores, entonces la tensión de descarga en seco de los aisladores pasantes no será inferior a la tensión de prueba de aislamiento aumentada en 10 % y con incremento mínimo de 5.000 voltios. La tensión de descarga bajo lluvia de los pasantes del interruptor para trabajar a intemperie no será inferior a la tensión de prueba de aislamiento. La tensión para la prueba del interruptor se aplicará durante 60 segundos a una frecuencia entre 15 a 100 Herz pero de forma sinuosoidal.

Las pruebas de aislamiento del interruptor se hará con las siguientes condiciones:

I. Interruptor cerrado: Fase contra fase
II. Interruptor cerrado: Fase contra masa
III. Interruptor abierto: Fase contra fase
IV: Interruptor abierto: Fase contra masa

e. Prueba de resistencia mecánica: Su objetivo es

controlar que toda la parte mecánica del interruptor es de suficiente solidez y apta al cometido - que debe desempeñar.

En la prueba de resistencia mecánica se somete al interruptor a una sucesiva serie de aperturas y cierres, pero estando completamente montado; el número de veces que se abre y cierra no debe ser menor a 500 veces y luego de esta prueba el interruptor no requerirá reparación ni ajuste alguno.

f. Prueba de Presión: Es la prueba de resistencia de la caja a la presión interna, este es un compromiso entre fabricante y usuario.

Entre las pruebas de verificación tenemos:

g. Prueba de funcionamiento: Esta prueba se debe hacer con el interruptor instalado para comprobar - la regulación del montaje principalmente en lo relacionado al funcionamiento del mando y la simultaneidad de la maniobra de los tres polos.

h. Control de tipo: El control de tipo se verifica - para comprobar en el suministro de varios interruptores, que todos responden al interruptor tipo en el cual se han efectuado las pruebas de tipo.

i. Placa de características: Los interruptores deben portar una placa dada por el fabricante en la que conste: Nombre del Constructor, tipo de aparato ; en número de fabricación y los siguientes datos : Tensión nominal; corriente de ruptura nominal en amperios (eficaz); corriente de cierre nominal en amperios (máxima).

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

j. Para el caso de interruptores en aceite (para el caso de interruptores de gran capacidad y de alta tensión), estos llevarán indicador del aceite que contienen, con señales de alturas máximas y mínimas.

4.14.APLICACION DE LOS INTERRUPTORES

Tenemos el circuito de la figura 4.14.1, en forma - unifilar con sus elementos de fuerza y de protección en diagrama unifilar y en la figura 4.14.2, tenemos las características de los elementos de protección, elegídos de tal manera que sus operaciones sean selectivas a más de los valores nominales adecuados a

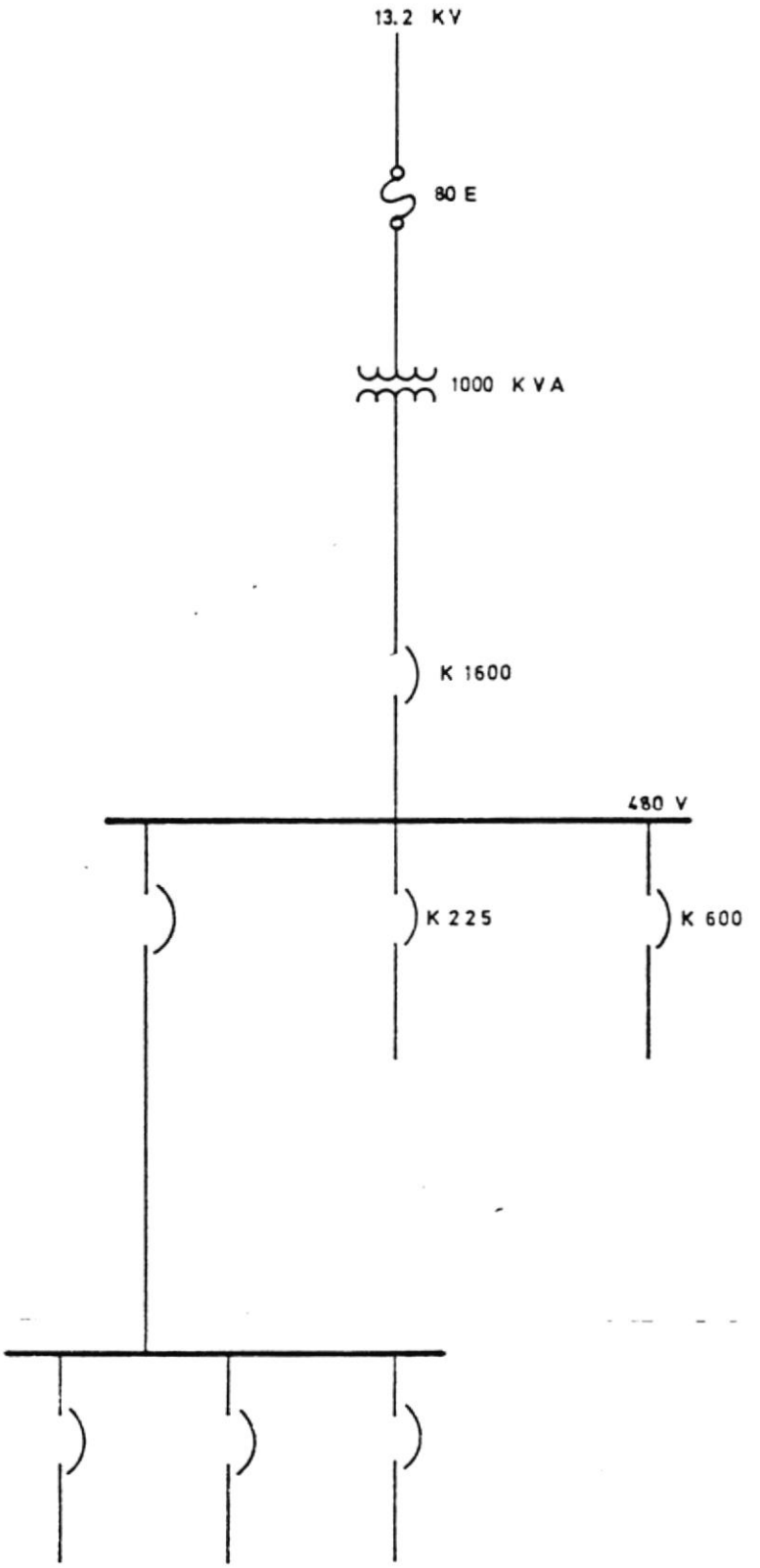


Fig 4 14 1

DIAGRAMA UNIFILAR DE UN CIRCUITO CON INTERRUPTORES DE ACCION DIRECTA

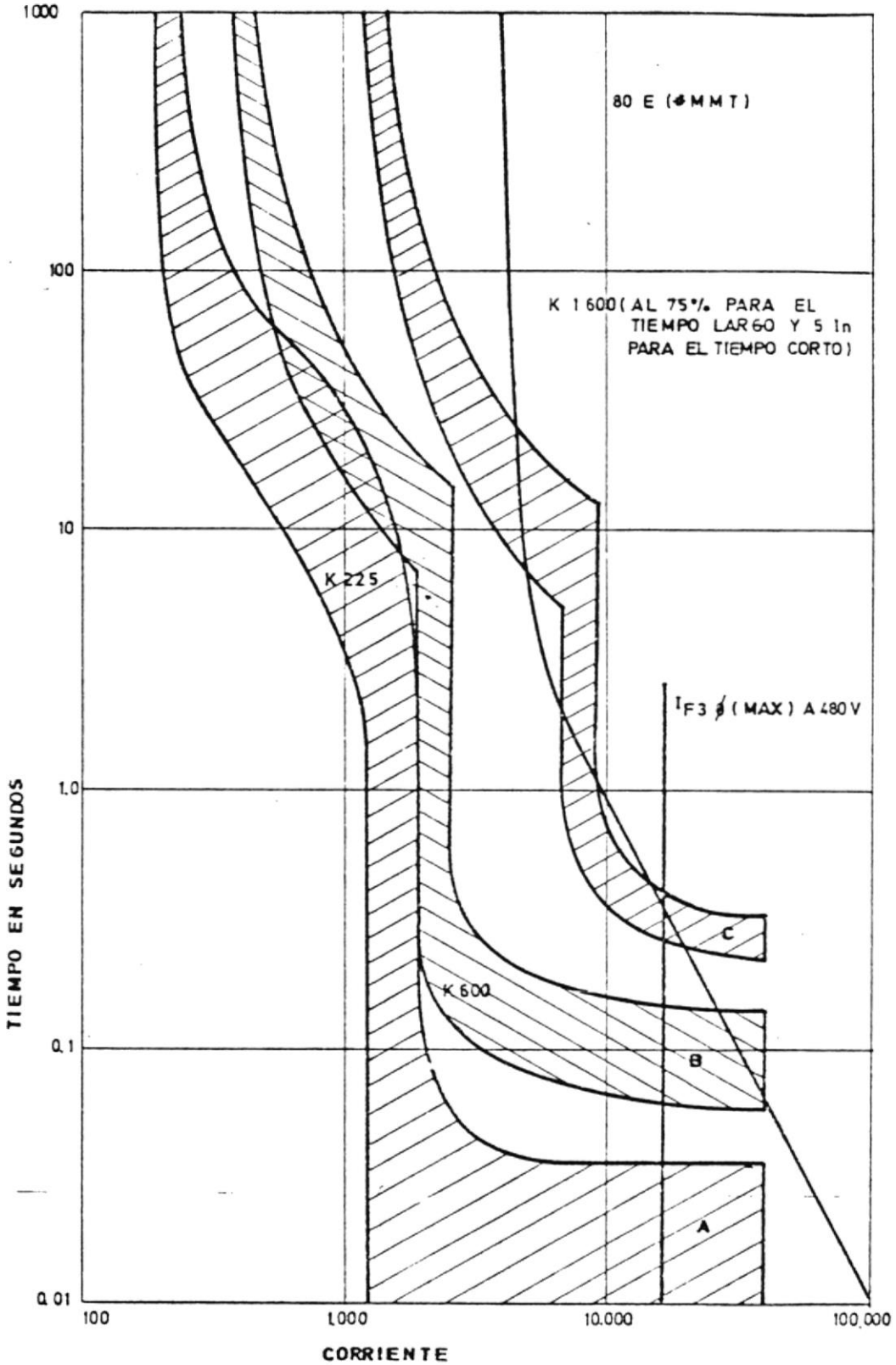


Fig # 4 14 2

CARACTERISTICA DE LOS DISPOSITIVOS TERMO MAGNETICO DE LA FIGURA # 4. 14 1.

los que se ha tomado. El valor de la corriente de cortocircuito en el punto "1" es de 15.500 amperios (valor tomado de un ejemplo desarrollado pero que omitimos el cálculo para no alargar el tema) entonces para esta falla operará el interruptor K 225 en un tiempo máximo de 0,06 segundos aproximadamente , según su característica "A" (en la figura 4.14.2); si por algún motivo este interruptor no operare, entonces operará el interruptor K 1.600 (ajustado para que opere con una corriente de pick-up de 400 amperios) en un tiempo máximo aproximado de 0,5 segundos. Según las características "C" de la figura 4.14.2, la característica "B" de la figura 4.14.2, no desempeña ningún papel para esta falla, puesto que por su interruptor K 600 sólo fluirá la contribución de corriente (en el punto "1") desde la carga a que está conectado.

Por tanto la superposición de las características de tiempo retardado "A" y "B" que se aprecia en la figura 4.14.2, no afecta en absoluto a la selectividad ; pero ninguna de las dos características se superponen con la característica "C" de la misma figura, entonces los dos primeros interruptores (K 225 y K 600) - tienen un disparo selectivo con respecto al interruptor K 1.600.

CAPITULO V

RECONECTADORES

5.1. PROTECCION CON RECONECTADORES

Si ocurre una falla permanente en cualquier parte del sistema después del reconectador; este dispositivo - operará instantáneamente una, dos o tres veces (dependiendo de su ajuste); en un intento de despejar la falla. Sin embargo puesto que la falla permanente existe aún en el sistema luego de las operaciones instantáneas del reconectador, así éste tendrá que despejarlo con algún otro medio. Por esta razón, el reconectador está provisto con una, dos o tres operaciones con retardo (también dependiendo de su ajuste). Esas operaciones adicionales son lentas a propósito (operación con retardo) para dar coordinación con los fusibles o permitir que la falla se despeje por si mismo.

Después de que el reconectador abre el circuito por - cuarta vez y si la falla aún persiste; el reconectador se bloqueará en posición abierta. Refiriéndonos a la figura 5.1.1., tenemos que la curva A representa las

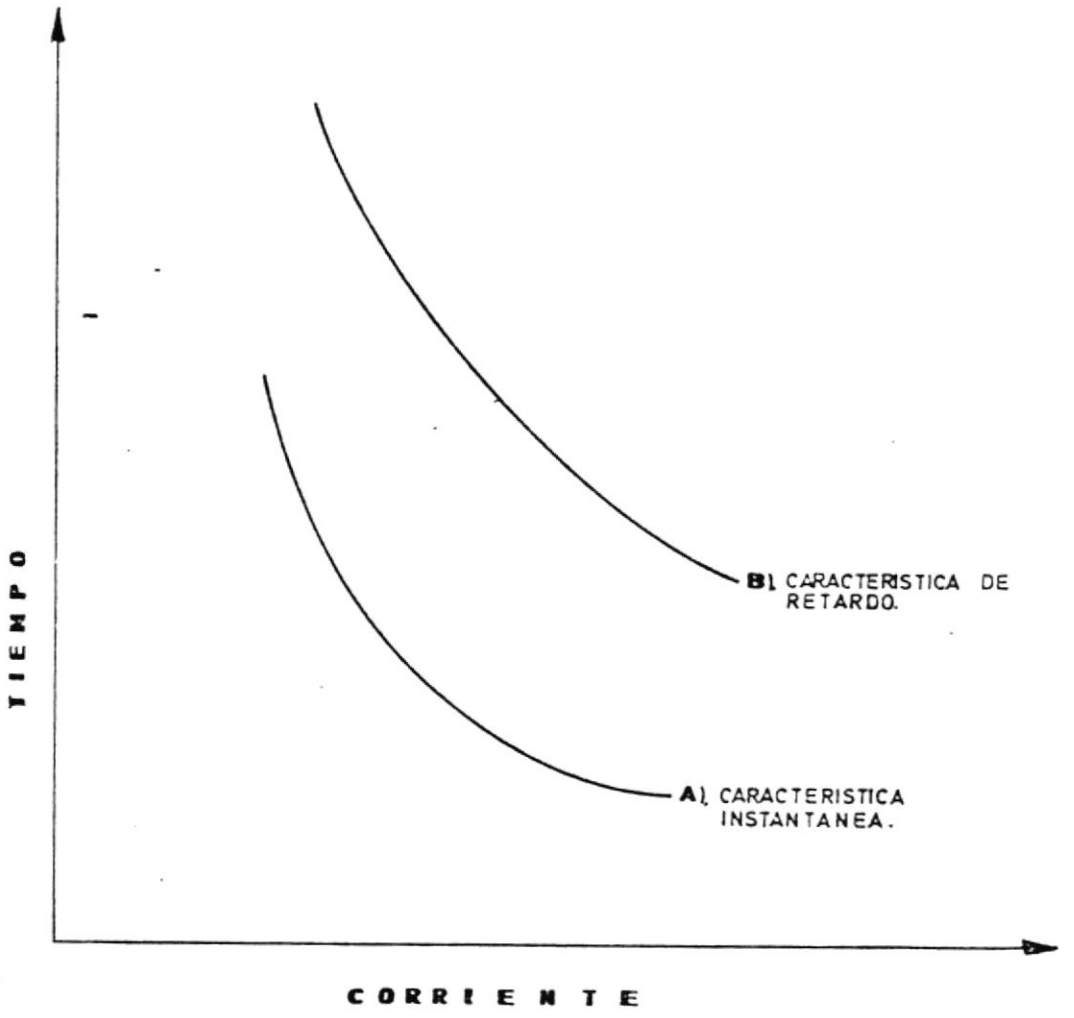


Fig. # 5. 1. 1.

CARACTERISTICA DE DISPARO DEL RECONECTADOR AUTOMATICO CONVENCIONAL.

características de disparo instantáneo con respecto al tiempo y corriente para la primera y segunda interrupción del reconectador automático convencional. La curva B representa la característica para la tercera y cuarta interrupción. Luego del cuarto disparo con la característica de retardo, el reconectador bloqueará el circuito en posición de abierto y tiene que cerrarse manualmente después de que la causa de la falla del sistema se ha retirado.

5.2. CAPACIDAD DE INTERRUPCION DE LOS RECONECTADORES

Según las normas americanas de la NEMA tenemos cuatro clases de reconectadores estos son:

Reconectadores para distribución; Reconectadores de Potencia Clase I; de Potencia Clase II y de Potencia Clase III.

Los reconectadores de distribución tienen 1.250 amperios simétricos como máximo valor nominal de interrupción, pero como se anotan el tablas estandar la capacidad máxima de interrupción está actualmente limitado a un máximo de 25 veces el valor de la corriente nominal de la bobina o a 1.250 amperios tomando siempre el valor menor de estas dos alternati

vas.

En los reconectadores de potencia clase I: Tienen como valor nominal de interruptores máximo 2.000 amperios simétricospara unidades de 50 a 100 amperios;pero su capacidad se reduce a 1000 amperios simétricos como valor máximo de interrupción para reconectadores con bobina de valor nominal de 25 amperios (esto es porque esta bobina está diseñada para soportar 40 veces su corriente nominal).

En reconectadores de potencia Clase II: El valor nominal máximo de interrupción es de 4.000 amperios simétricos, para unidades de 70 a 280 amperios nominales (valor de corriente nominal de las bobinas de los reconectadores); pero para unidades con corriente nominal de la bobina de 25 amperios se reduce la capacidad nominal de interrupción a 1.500 amperios simétricos, puesto que las bobinas de estas unidades se diseñan para que soporten 60 veces su corriente nominal.

Igualmente los reconectadores de Potencia Clase III: tienen como valor nominal máximo de interrupción de 8.000 amperios simétricos para unidades cuyas bobinas tienen como corriente nominal de 140 a 560 amperios; pero para las unidades cuya bobina tiene una

corriente nominal de 100 amperios su capacidad de interrupción máxima se reduce a 6.000 amperios simétricos puesto que las bobinas de estas unidades también son diseñadas para soportar corriente hasta 60 veces su corriente nominal.

Por tanto se debe notar que cuando se habla de una capacidad de interrupción de un reconectador particular se tendrá que identificar la bobina y su tamaño de fabricación y en base a su valor nominal para poder determinar la capacidad de interrupción máxima dada en tablas o por el fabricante. A continuación tenemos una tabla dada por la Mcgraw-Edison - que es la lista más completa respecto a los reconectadores. TablasNº 5.2.1. a 5.2.4.

5.3. TIEMPO Y SECUENCIA DE LOS RECONECTADORES

El tiempo y la secuencia de los reconectadores están sujetos a varios ajustes dependiendo del diseño de las necesidades del sistema. Así tenemos en - cuanto a la secuencia:

a. Dos operaciones instantáneas y dos operaciones - con retardo:

   Las operaciones en esta secuencia son las más -

TABLA 5.2.1.

RECONECTADOR HIDRAULICO MONOFASICO

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION.	CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA DE - DISPARO(AMPERIOS)	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO(AMPERIOS).	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S.)		
			de 2.4 a 14.4 Kv		
Tipo "H"	5	10	125		
50 amp. (máx).	10	20	250		
ACEITE	15	30	375		
	25	50	625		
	35	70	875		
	50	100	1250		
			4.8Kv	8.32 Kv	14.4 Kv
Tipo "H H"	5	10	200	200	200
100 amp. (máx)	10	20	400	400	400
ACEITE	15	30	600	600	600
	25	50	1000	1000	1000
	35	70	1400	1400	1400
	50	100	2000	2000	2000
	70	140	2800	2500	
	100	200	3000	2500	2000

Continuación..... 5.2.1.

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA DE DISPARO (AMP).	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)		
			4.8Kv	8.32 Kv	14.4Kv
Tipo V4H					
200 Amp. (máx)	5	10	200	200	200
	10	20	400	400	400
	15	30	600	600	600
	25	50	1000	1000	1000
	35	70	1400	1400	1400
	50	100	2000	2000	2000
	70	140	2800	2500	
	100	200	3000		
	140	280			
	200	400	3000	2500	2000
Tipo L	25	50	1500	1500	1500
280 Amps.	35	70	2100	2100	2100
Máximo	50	100	3000	3000	3000
Aceite	70	140	4200	4200	4000
	100	200	6000	5000	
	140	280			
	200	400			
	280	560	6000	5000	4000
Tipo D	100	200	6000	6000	6000
560 Amps.	140	280	8400	8400	8000
Máx.	160	320	9600	9600	
Aceite	185	370	11100	10000	
	225	450	12000		
	280	560			
	400	800			
	400X	560(b)			
	560	1120			
	560X	750(b)	12000	10000	8000

Cõntinuación.... Tabla 5.2.1.

			24.9 Kv
Tipo E	5	10	200
100 Amps.	10	20	400
Max.	15	30	600
Aceite	25	50	1000
	35	70	1400
	50	100	2000
	70	140	
	100	200	2000
Tipo 4E	50	100	3000
280 Amps.	70	140	4000
Max.	100	200	
Oil	140	280	
	200	400	
	280	560	4000
			24.9 a 34.5 Kv
Tipo DV	100	200	6000
560 Amps.	140	280	8000
Max.	160	320	
Aceite	185	370	
	225	450	
	280	560	
	400	800	
	400X	560(b)	
	560	1120	
	560X	750(b)	8000

TABLA 5.2.2.

RECONECTADOR HIDRAULICO TRIFASICO

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION.	CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMP.)	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)		
			de 2.4 a 14.4 Kv		
Tipo 3H(a)	5	10	125		
50 amps.	10	20	250		
Máx.	15	30	375		
Oil	25	50	625		
	35	70	875		
	50	100	1250		
			4.8Kv	8.32Kv	14.4Kv
Tipo 6H(a)	5	10	200	200	200
100 Amps.	10	20	400	400	400
Max.	15	30	600	600	600
Oil.	25	50	1000	1000	1000
	35	70	1400	1400	1400
	50	100	2000	2000	2000
	70	140	2800	2500	
	100	200	3000	2500	2000

Continuación Tabla .... 5.2.2.

Tipo V6H(a)	5	10	200	200	200
200 Amps.	10	20	400	400	400
Max.	15	30	600	600	600
	25	50	1000	1000	1000
	35	70	1400	1400	1400
	50	100	2000	2000	2000
	70	140	2800	2500	
	100	200	3000		
	140	280			
	200	400	3000	2500	2000
Tipo R	'25	50	1500	1500	1500
400 Amps.	35	70	2100	2100	2100
Max.	50	100	3000	3000	3000
	70	140	4200	4200	4000
Aceite	100	200	6000	5000	
	140	280			
	160	320			
	185	370			
	225	450			
	280	560			
	400	800			
	400X	560(b)	6000	5000	4000

Continuación de la Tabla ..... 5.2.2.

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMP).	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)		
			de 2.4 a 14.4 Kv		
Tipo RX	25	50	1500		
400 Amps.	35	70	2100		
Max.	50	100	3000		
Aceite	70	140	4200		
	100	200	6000		
	140	280			
	160	320			
	185	370			
	225	450			
	280	560			
	400	800			
	400X	560(b)	6000		
			4.8Kv	8.32Kv	14.4Kv
Tipo W	100	200	6000	6000	6000
560 Amps.	140	280	8400	8400	8400
Max.	160	320	9600	9600	9600
Oil	185	370	11100	10000	10000
	225	450	12000		
	280	560			
	400	800			
	400X	560(b)			
	560	1120			
	560X	750(b)	12000	10000	10000

Continuación de la tabla 5.2.2.

			2.4 a 14.4 Kv
Tipo VW			
560 Amps.	50	100	3000
Max.	70	140	4200
	100	200	6000
	140	280	8400
	160	320	9600
	185	370	11100
	225	450	12000
	280	560	
	400	800	
	400X	560(b)	
	560	1120	
	560X	750(b)	12000

Continuación Tabla 5.2.2.

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA DE DISPARO (AMP).	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO(AMP).	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S.)
			24.9 Kv
Tipo WV	100	200	6000
560 Amps.	140	280	8000
Max.	160	320	
	185	370	
Aceite	225	450	
	280	560	
	400	800	
	400X	560(b)	
	560	1120	
	560X	750(b)	8000
			24.9 Kv
Tipo RV	25	50	1500
400 Amps.	35	70	2100
Max.	50	100	3000
	70	140	4200
Aceite			
	100	200	6000
	140	280	
	160	320	
	185	370	
	225	450	
	280	560	
	400	800	
	400X	560(b)	6000

TABLA 5.2.3.

RECONECTADOR ELECTRONICO TRIFASICO

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)		
		4.8Kv	8.32Kv	14.4 Kv
Tipo "RE" 400 Amps.(max). Aceite	100	3000	3000	3000
	140	4200	4200	4000
	200	6000	5000	
	280			
	400			
	560			
	800	6000	5000	4000
			2.4 a 14.4 Kv	
Tipo RXE 400 amps. Max. Aceite	100		3000	
	140		4200	
	200		6000	
	280			
	400			
	560			
	800		6000	
Tipo VSR 400 Amps. Max.	100		3000	
	140		4200	
	200		6000	
	280			
	400			
	560			
	800		6000	

Continuación de tabla 5.2.3.

		4.8 Kv	8.32Kv	14.4Kv
Tipo WE	200	6000	6000	6000
560 Amps.	280	8400	8400	8400
Max.	400	12000	10000	10000
Aceite	560			
	800			
	1120	12000	10000	10000

		2.4 a 14.4 Kv
Tipo VWE	100	3000
560 Amps	140	4200
	200	6000
	280	8400
	400	12000
	560	
	800	
	1120	1200

Continuación de tabla 5.2.3.

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)		
		2.4 a 14.4 Kv		
Tipo VSA y VSAT	100	3000		
560 Amps.	140	4200		
Max.	200	6000		
	280	8400		
	400	12000		
	560			
	800			
	1120	12000		
Tipo VSML	100	3000		
560 amps.	140	4200		
Max.	200	6000		
	280	8400		
	400	12000		
	560	16000		
	800			
	1120	16000		
		4.8 Kv	8.32 Kv	14.4Kv
Tipo MLE	200	6000	6000	6000
560 Amps.	280	8400	8400	8400
Max.	400	12000	12000	12000
Oil	560	16800	16800	16000
	800	24000	20000	
	1120	24000	20000	16000

continuación de tabla 5.2.3.

		4.8Kv	8.32Kv	14.4Kv
Tipo ME 1120 Amps. Max.	400	12000	12000	12000
	560	16800	16800	16000
	800	24000	20000	
Aceite	1120			
	1600			
	2240	24000	20000	16000

		24.9 Kv
Tipo WVE 560 Amps. Max.	200	60000
	280	80000
	400	
Aceite	560	
	800	
	1120	80000

continuación de tabla 5.2.3.

RECONECTADOR TIPO CORRIENTE NOMINAL Y MEDIO DE INTERRUPCION	CORRIENTE MINIMA DE DISPARO (AMPERIOS)	CORRIENTE DE INTERRUPCION (AMPERIOS SIMETRICOS R.M.S)
		24.9 Kv
Tipo VWVE 560 Amps. Max.	100 140 200 280 400 560 800 1120	3000 4200 6000 8400 10000 10000
		24.9 Kv
Tipo MVE 560 Amps. Max. Aceite	200 280 400 560 800 1120	6000 8400 12000 12000
		24.9 a 34.5 Kv
Tipo RVE 400 Amps. Max. Oil	100 140 200 280 400 560 800	3000 4200 6000 6000

Continuación tabla 5.2.3.

		34.5 Kv
Tipo CXE	100	3000
560 Amps.	140	4200
Max.	200	6000
	280	8400
Aceite		
	400	12000
	560	16000
	800	16000
	1120	16000

		46 Kv
Tipo CVE	100	3000
560 Amps.	140	4200
Max.	200	6000
	280	8400
Aceite		
	400	10000
	560	
	800	
	1120	10000

usuales en los reconectadores y se la considera adecuada para dar un alto grado de protección - contra fallas transientas, fallas permanentes.

b. Tres operaciones instantáneas y una operación - con retardo: Esta secuencia de operación podrá aplicarse para consideraciones tales como, cuando los fusibles del lado de alta tensión de los transformadores son del tipo limitador de corriente debido a condiciones específicas en la protección de las líneas de subtransmisión. Entonces, las tres operaciones instantáneas y una operación lenta del reconectador da la ventaja de que reduce el tiempo de calentamiento del fusible durante el despeje de la falla permanente del sistema de distribución por consiguiente elimina o reduce la posibilidad de que se funda el fusible del lado de alta innecesariamente cuando se aplican fusibles de valor pequeño (menores del 150 %).

c. Una operación instantánea y tres operaciones de Retardo: Esta combinación se usa en áreas donde no se presenta mayor dificultad cuando un fusible se funde, donde también se requiere la coordinación con seccionalizadores o donde ciertas - secciones del sistema se requiere que se despeje

por si mismas cuando ocurre fallas en esas secciones. Estos criterios más son cuestión de preferencia personal del que diseña la protección de un sistema particular; antes que cualquier justificación evidentemente substancial para la aplicación.

En cualquiera de las secuencias de operación con que esté trabajando el reconectador si la falla aún no se despeja luego de realizar los disparos instantáneos y retardo el reconectador realizará una última operación de disparo pero quedándose bloqueado en posición abierto. Y regresará a la condición de operación inicial unicamente cuando se realiza manualmente, luego de despejar la falla, esto es lo que se conoce como operación de bloqueo del reconectador.

Existe una operación adicional pero no muy aplicable que consiste en que luego de que el reconectador realiza las operaciones rápidas (o instantáneas), permanece cerrado en condiciones de falla hasta que la falla sea despejada por el elemento de protección más cercano a las fallas,(generalmente estos elementos - de protección son fusibles).

Luego de que ha operado el elemento de protección el reconectador regresa a la posición de operación inicial.

El inconveniente de este método está en los efectos térmicos que produce la corriente de falla en los elementos por los que fluye esta sobrecorriente.

En cuanto al tiempo de los reconectadores tenemos:

Se empieza a contar desde el instante en que ocurre la falla de la siguiente manera: (Ver figura 5.3.1.)

a. Tiempo de retardo del sensor: Este puede ser un relé y es el tiempo que ocurre desde el instante en que se produce la falla hasta el instante en que actua el circuito de disparo.

b. Tiempo de apertura: Es el tiempo que transcurre desde el instante en que actúa el circuito de disparo hasta el instante en que se produce inicialmente el arco entre los contactos que empiezan a separarse.

c. Tiempo de Arco: Es el tiempo que pasa desde el instante en que se produce el arco (cuando empiezan a separarse los contactos) hasta el instante en que ocurre la extinción total del arco.

d. Tiempo de interrupción: Es el tiempo que transcu

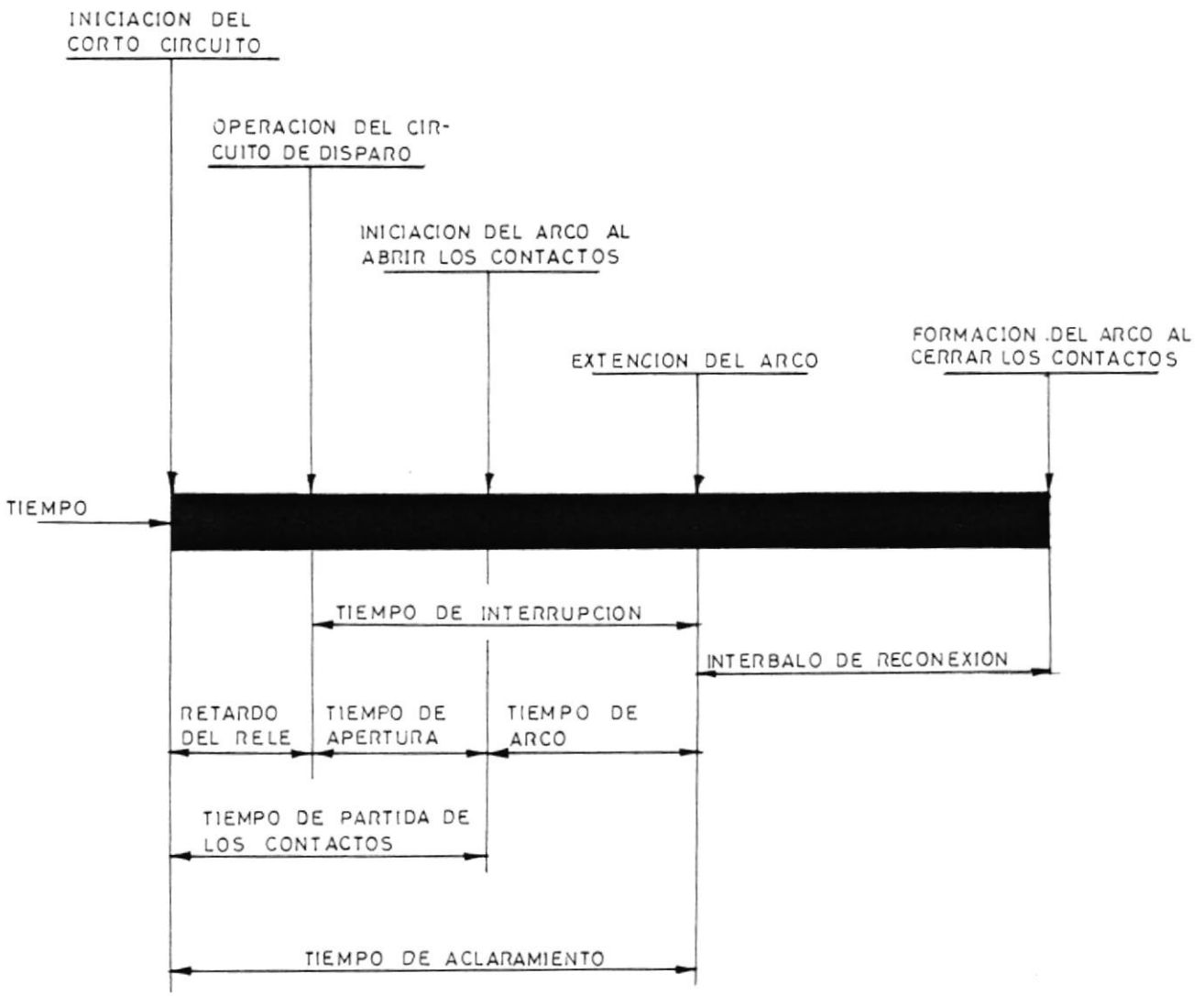


FIGURA 5.3.1.

TIEMPOS DE OPERACION DEL RECONECTADOR

rre desde el instante en que actúa el circuito de disparo hasta el instante en que ocurre la extinción final del arco; en otras palabras el tiempo de interrupción es igual al tiempo de apertura más el tiempo de arco.

e. Tiempo de partida de los contactos: Es el tiempo que transcurre desde el instante en que se produce la falla hasta el instante en que empieza a formarse el arco al iniciarse la separación de los contactos.

f. Tiempo de aclaramiento: Es el tiempo que transcurre desde el instante en que se produce el cortocircuito hasta el instante en que ocurre la extinción total del arco.

g. Tiempo de reconexión: Es el tiempo empleado por el reconectador desde el instante en que ocurre la extinción total del arco hasta el instante en que se produce el arco al cerrarse los contactos; en algunos reconectadores este tiempo es fijo en el orden de 1 a 2 segundos y en otros reconectadores este tiempo es ajustable. Los tiempos descritos anteriormente vienen dados por el fabricante; o en tablas normalizadas.

5.4. CONTROL CON RECONECTADORES PARA GRAN POTENCIA

El continuo crecimiento de los sistemas de potencia; ha creado una mayor demanda de los reconectadores y con mayor capacidad a tal punto que han sobrepasado las capacidades de los reconectadores de control hidraúlico ya sean tanto en las unidades monofásicas , como trifásicas.

Con el uso de control electrónico de los reconectadores se ha logrado aumentar su capacidad; gracias a la mayor flexibilidad en sus aplicaciones; debido a que posee un extenso rango en las características de operación, por otra parte estos reconectadores con control electrónico dan mayor facilidad para realizar las pruebas y simplificar la forma de modificar tanto las características como las secuencias del reconectador cuando se requiere un cambio de condiciones en el sistema.

Los logros principales de estos reconectadores son:

- Sus características son exactas e invariables para un gran rango de temperaturas ambiente y permite - coordinar con todos los dispositivos de protección; tales como relés que controlan interruptores; fusi

bles, seccionalizadores y otros reconectadores.

- Un extenso rango de disparo mínimo, de la característica tiempo-corriente; de valores de reposición, reconexión con lo cual se obtiene una máxima flexibilidad en los sistemas eléctricos.

- Se pueden cambiar facilmente las características de operación según las nuevas necesidades con solo cambiar de posición a los respectivos dials y sin desenergizar el reconectador.

- El control puede montarse fuera del reconectador en un lugar conveniente para la operación o puede ser instalado directamente en la misma estructura que soporta el reconectador.

- Los circuitos electrónicos responden instantáneamente sin ser afectado por inercias de partes móviles como en los otros reconectadores; efectos de toque; o vibraciones que pueden causar un mal funcionamiento del reconectador.

- Los accesorios permiten una operación remota; conectar indicadores de fallas o indicadores de condiciones de corriente, modifica las caracterísi-

cas de operación, etc.

5.5. TIEMPO DE RECONEXION DE LOS RECONECTADORES

Se denomina tiempo de reconexión; al tiempo que transcurre desde el instante de la operación de apertura, por sobrecorriente del reconectador hasta el instante en que se realiza la siguiente operación de cierre(no se considera este tiempo para la operación de bloqueo).

Todos los reconectadores hidráulicos monofásicos y los pequeños reconectadores trifásicos que son también controlados hidráulicamente (como los tipos 3 H; 6H;y V6H) tienen el intervalo de reconexión fijo; por tanto no tienen ajuste para esta operación.

A continuación se pone una tabla dada por la McGraw - Edison de algunos tipos de reconectadores y su tiempo de reconexión.

TIPO DE RECONECTADOR	INTERVALO DE RECONEXION(SEG)
H y 3H	1
4H; V4H; 6H; V6H	1,5
L	1,5
D y D V	2
E y 4 E	1,5

TABLA 5.5.1. TIEMPO DE RECONEXION DE LOS RECONECTADORES

Para los reconectadores trifásicos grandes de gran capacidad que son controlados hidraúlicamente (como los tipos de la serie R-W) se tiene que el tiempo estandar del intervalo de reconexión es de dos segundos.

Se puede conectar un accesorio más en estos reconectadores de la McGraw-Edison. Con el que se obtiene un intervalo de reconexión de 30 ciclos para la primera operación de reconexión esto nos permite tener una secuencia en los tiempos de reconexión de 30 ciclos para la primera operación y luego 2 segundos para las otras dos operaciones de reconexión que se emplean para las cuatro operaciones de apertura normal del reconectador.

Para los reconectadores controlados electrónicamente existe un extenso rango de variación en el tiempo de reconexión al que se puede programar. Con el cual se puede hacer que límite el período de apertura de los contactos a un tiempo lo más corto posible a esto se conoce como reconexión instantánea; como también se puede programar para un tiempo de reconexión de 60 segundos.

Para los intervalos de reconexión hay que considerar los siguientes factores:

-Reconexión instantánea: Debido a que es el tiempo mínimo de apertura de los contactos; nos da la mejor - manera de mantener la carga de los motores y el suministro de energía industrial; mientras que con un período de tiempo largo en la apertura de los contactos los sistemas saldrán fuera de servicio, por eso es recomendable utilizar la reconexión instantánea para la primera operación de reconexión.

Las desventajas de este tipo de reconexión son:en la reconexión instantánea pueda que no haya suficiente tiempo para despejar las fallas transientes tal como el contacto de una línea con las ramas de un árbol o rompimiento dieléctrico del aire en el acercamiento entre líneas debido al viento; o también los gases ionizados por el efecto de un arco eléctrico no han tenido suficiente tiempo para disiparse.

-Reconexión de dos segundos: Este es el intervalo - de reconexión más común; con el cual se tiene mayor tiempo para despejar las fallas transientes y se disipan los gases ionizados. Un tiempo de reconexión mayor a dos segundos aumenta la posibilidad de que salgan fuera de servicio un mayor número de cargas motrices.

Cuando se usa un intervalo de reconexión de dos se

gundos entre las operaciones de disparo rápido - instantáneo; permite un tiempo mayor de enfriamiento para los fusibles afectados con la sobrecorriente.

-Reconexión de Cinco segundos:Este tiempo de reconexión se usa a menudo entre las operaciones de disparo con retardo de las subestaciones con el fin de permitir un mayor enfriamiento de los fusibles de alta;lo cual permite que el reconectador realice la operación de reconexión sin que el fusible pierda sus características eléctricas, esto es que el fusible no alcance a su tiempo mínimo de fundición.

Los intervalos de reconexión más comunes tenemos:

Una secuencia típica para reconectadores de líneas - cuando dan protección de respaldo a otro reconectadores:

Instantáneo: 2 segundos; 2 segundos,ó
2 segundos; 2 segundos; 2 segundos

Una secuencia típica para reconectadores en subestaciones que coordinan con fusibles de alta tensión (El disparo de reconectador tiene una secuencia de dos instan

táneos y dos lentas. Son:

Instantáneo; 2 segundos; 5 segundos, ó
2 segundos; 2 segundos; 5 segundos;

Una secuencia típica de un reconectador que da protección de respaldo a un relé de un breaker (la secuencia de disparo del reconectador es dos instantáneas y dos lentas. Son:

Instantáneo; 2 segundos, 15 segundos, ó
2 segundos; 2 segundos; 15 segundos.

Los intervalos de reconexión mayores de 2 segundos se usan solamente después de una operación de disparo - lento; los intervalos de instantáneo o el de dos segundos se usa generalmente después de una operación - de disparo instantánea.

5.6. RECONECTADORES AUTOMATICOS

Un reconectador automático es un dispositivo que opera por si solo para interrumpir o reconectar automáticamente un circuito, también tiene un sistema que permite abrir o cerrar el circuito manualmente; la apertura o cierre de los contactos se realiza a través de los contactos móviles del reconectador dentro de una

cámara de extinción.

El reconectador consiste básicamente de un mecanismo para iniciar el disparo y la reconexión, contactos - móviles que se hallan dentro de una cámara de interrupción que es donde se extingue el arco; un integrador operacional que es el cerebro del reconectador y un mecanismo ya sea de bloqueo o de continuar cerrado al reconectador. Cuando una sobrecorriente de suficiente magnitud fluye a través de la bobina de disparo; esta hace operar al mecanismo para que los contactos se abran. Los contactos del reconectador - se cierran luego de un tiempo predeterminado. Mientras el reconectador cierra el circuito, el integrador operacional se ha movido para contar la operación de disparo. Si la falla aún persiste en el circuito cuando cierra el reconectador; la secuencia de disparo y reconexión se repite un número de veces predeterminado según se haya ajustado en el integrador - operacional y finalmente el reconectador llega a la posición de bloqueo o de cierre sostenido. Sin embargo si la falla se despeja en cualquier operación antes de la bloqueo o de cierre sostenido; el reconectador cierra el circuito y permanece en esta posición; mientras que el integrador operacional se resetea para regresar a la posición inicial de operación e iniciación de una nueva secuencia en caso de ocurrir otra falla.

La mayoría de los reconectadores están diseñados para realizar la operación de bloqueo luego de una secuencia de sus operaciones; el objetivo principal de este sistema es que si ocurren fallas no permanentes;estas serán despejadas durante las operaciones instantáneas del reconectador; si la falla aún persiste, el reconectador operará con su característica de retardo a fin de que otros elementos de protección que se hallan antes de él (con respecto a la carga) seccionalicen y aislen la falla. Si la falla permanente ocurre entre el reconectador y el siguiente elemento de protección (de lado de la carga); el reconectador aisla la falla con su operación de bloqueo.

Un reconectador que se diseña para la operación de cierre sostenido realiza la misma función como el de operación de bloqueo.

La secuencia típica para este tipo de reconectadores es dos disparos instantáneos con lo cual permite que se despeje las fallas no permanentes; perosi la falla es permanente; el reconectador se mantiene cerrado durante la falla a fin de permitir que despeje la falla el dispositivo de protección más cercano a la falla.

Cabe destacarse que en este caso hay que colocar fu

sibles en el punto donde está conectado el reconectador para que operen en caso de ocurrir una falla entre el reconectador y el elemento de protección siguiente (al lado de la carga).

5.7. COORDINACION RECONECTADOR-FUSIBLE

La coordinación entre un reconectador y un fusible se realiza mediante el uso de sus respectivas características de tiempo corriente y ajustados por factores que se multiplican. Estos factores dependen tanto de la operación del reconectador como del fusible. Se puede observar en la figura 5.7.1., lo que ocurre cuando la corriente que fluye a través del fusible - se interrumpe periódicamente. En esta figura se muestra la operación típica, de un reconectador; en el primer tiempo de operación el reconectador abre sea por una sobrecarga o por una falla y luego cierra.La acción instantánea solo requiere de dos ciclos; la segunda acción también es de dos ciclos mientras que la tercera y cuarta acción tienen un retardo de 20 ciclos y finalmente el reconectador pasa a la posición de bloqueo en posición abierto.

Por ejemplo si el reconectador está ajustado para trabajar con dos operaciones instantáneas y dos ope

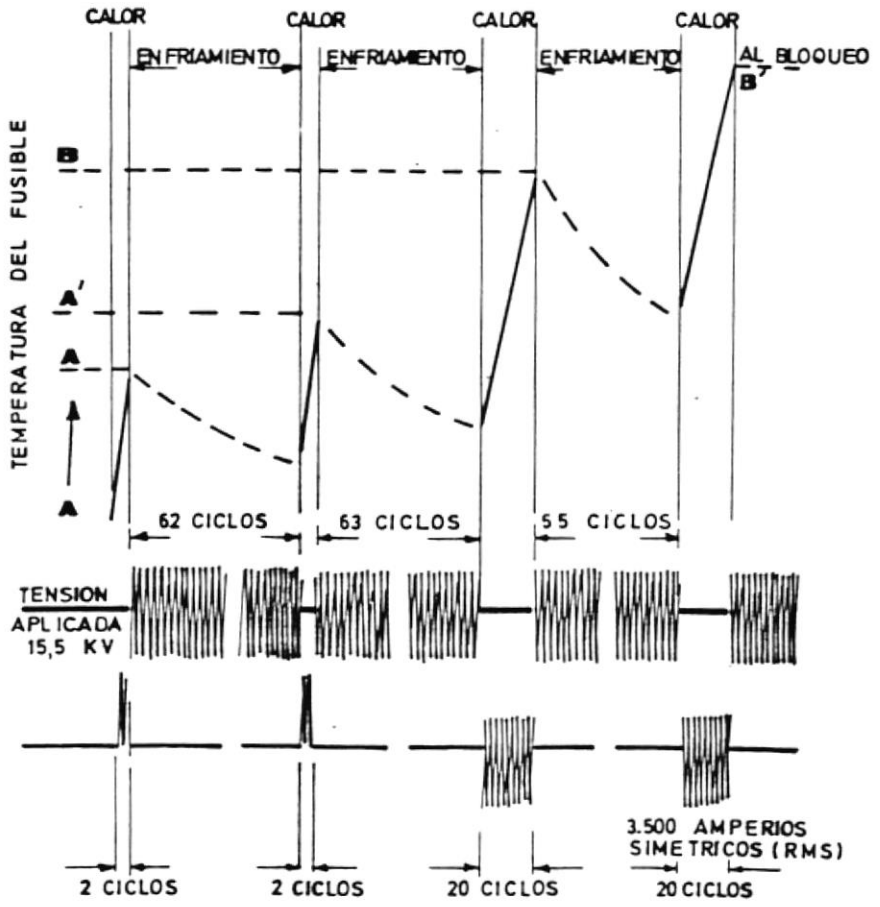


Fig # 5. 7. 1.

CURVA DE CALENTAMIENTO
ENFRIAMIENTO DEL FUSIBLE

raciones con retardo; como en la figura 5.7.1., entonces es necesario comparar el calor que entra al fusible durante esas dos operaciones de reconexiones instantáneas y la coordinación reconectador-fusible tiene que ser tal que durante las operaciones instantáneas el fusible no se dañe térmicamente. La curva A' de la figura 5.7.1., es la suma de dos aperturas instantáneas y este valor se compara con la curva mínima de fundición del fusible pero tomando solo un 75 % de la curva de Fundición-tiempo. (tiempo mínimo de fundición).

Con este método se establece una coordinación satisfactoria para corrientes altas o limite superior que está indicando por el punto de intersección b'; de la figura 5.7.2, en este punto de intersección intervienen las curvas A' del instantáneo del reconectador y la curva de fundición mínima del fusible reducida en un 75 %.

Para establecer el límite inferior de coordinación se toma el punto de intersección a ; en este punto se intersectan las curvas del tiempo de aclaramiento total del fusible y la curva B' la cual es la suma de dos instantáneos más dos operaciones de retardo; hay que notar que la suma tanto para A' como para B' no es

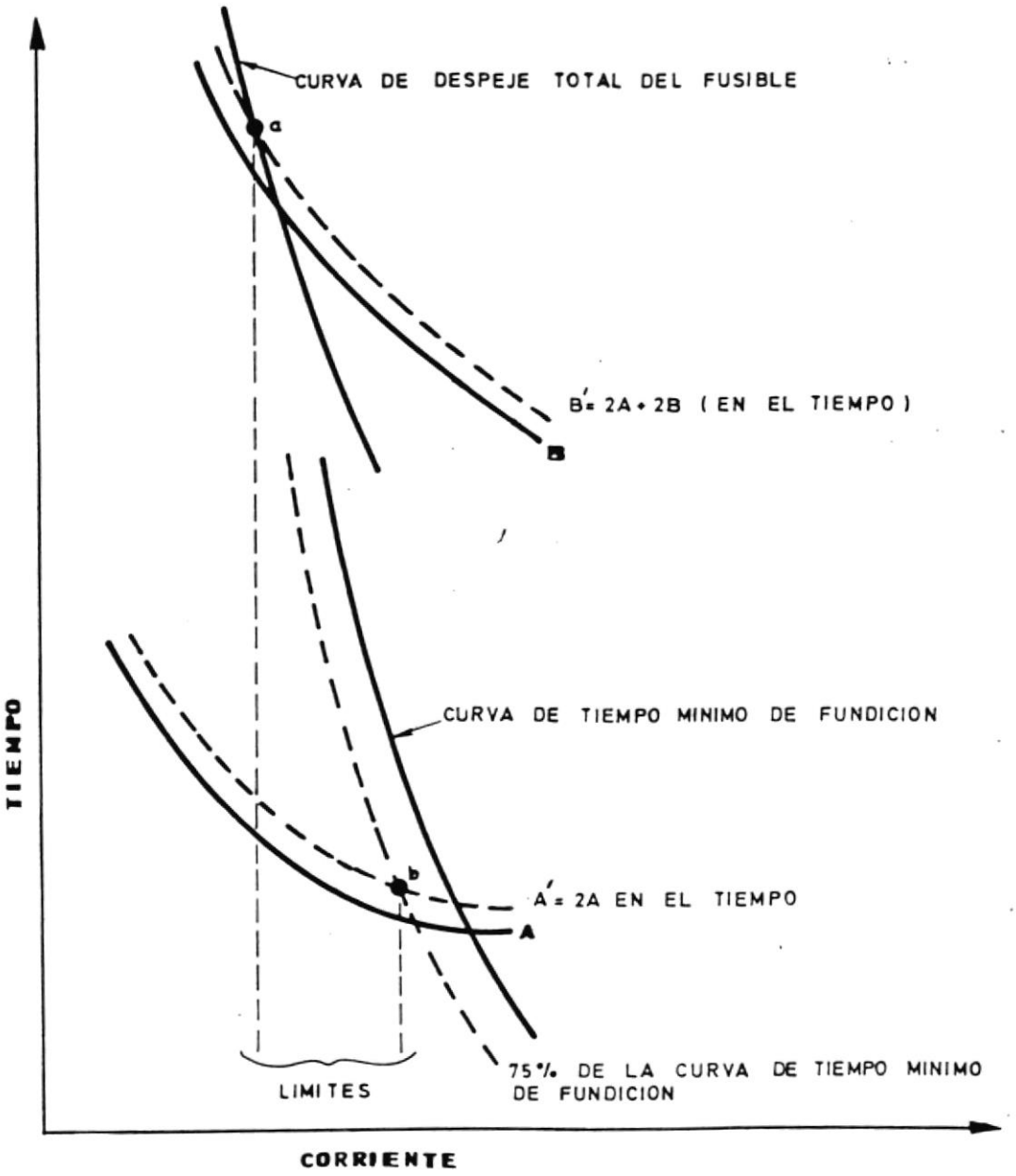


Fig # 5. 7. 2.

COORDINACION RECONECTADOR - FUSIBLE

aritmética si no según la cantidad de energía que se produce en el fusible y la cantidad de energía que se disipa del mismo de acuerdo con la figura 5.7.1.

Por tanto para cualquier magnitud de corriente que sea mayor que a' pero menor que b'; el reconectador operará con su características instantáneas antes - que opere el fusible.

En cuanto a éste método de coordinar reconectador-fusible se presentan dos casos: El primero cuando el fusible está en el lado de la fuente y el segundo caso cuando el fusible está en el lado de la carga con respecto al reconectador.

a. Fusible en el lado de la fuente: Este método se utiliza para proteger al sistema de una falla interna del transformador o protege también al transformador para una falla en las barras de su secundario.

El diagrama unifilar para este caso está en la figura 5.7.3., en la que el reconectador "R" tiene que seleccionarse de acuerdo con el fusible y en este caso estos elementos no interrumpen toda corriente de corto circuito en el lado de la carga del reconectador.

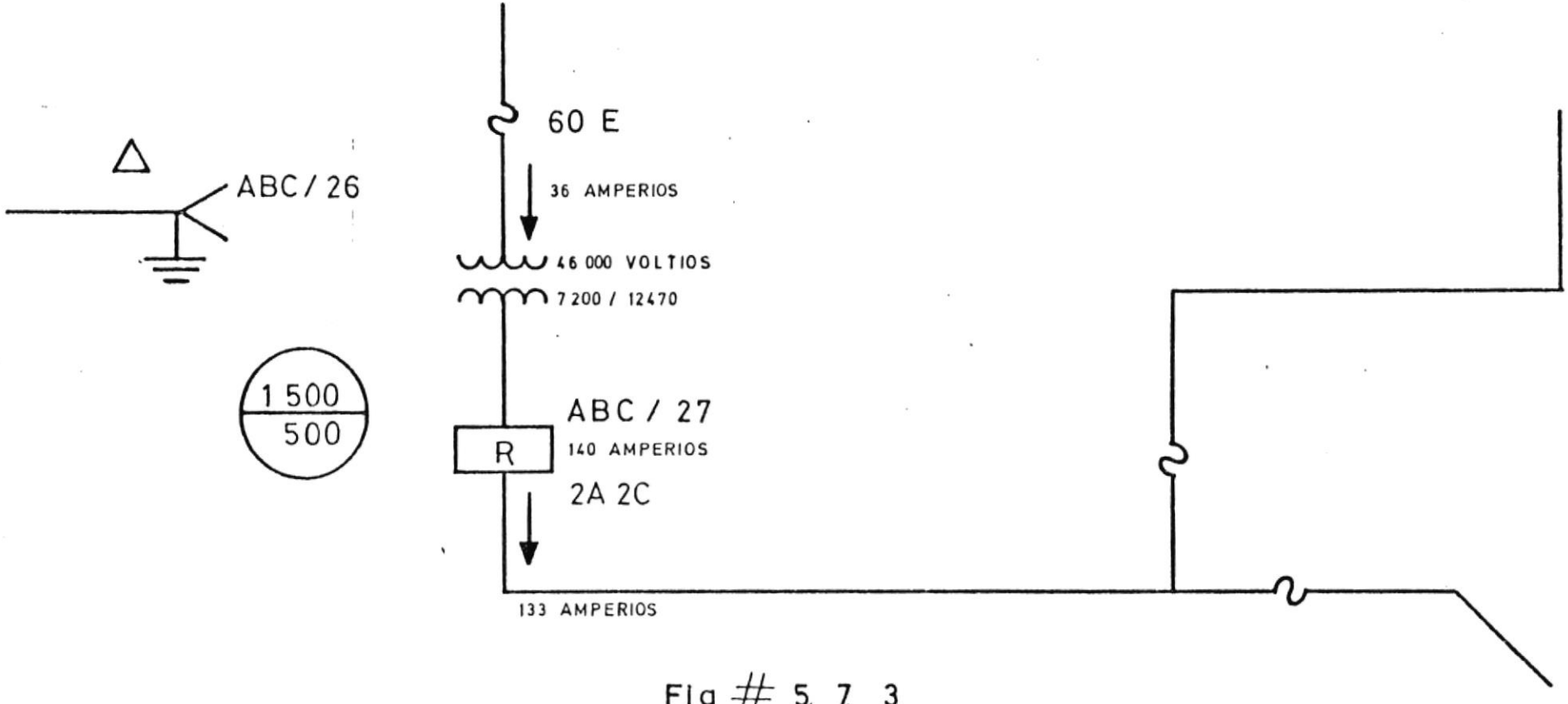


Fig # 5. 7. 3.

COORDINACION RECONECTADOR - FUSIBLE

(Con fusible en el lado de la carga)

Todo reconectador tiene que operar con más rapidez que la curva de fundición mínima del fusible; esto se logra mediante el uso de factores de multiplicación apropiados para las curvas de los reconectadores a fin de evitar daño o fatiga al fusible. Si no se trabaja en por unidad las curvas pueden coordinarse ya sea en el lado primario o en el lado secundario del transformador de la figura 5.7.3.siempre y cuando se hagan los desplazamientos de las curvas de acuerdo a la relación de transformación del transformador.

En la coordinación se tomará en cuenta que para máxima corriente de falla permitida en el punto que está conectado el reconectador; el tiempo mínimo - de fundición del fusible del primario del transformador tiene que ser mayor que el tiempo promedio - de aclaramiento de la curva de retardo del reconectador multiplicada por un factor específico. Los factores específicos para este caso (caso a) están dados en la siguiente tabla. (5.7.1)

b. Fusibles en el lado de la carga: La máxima - coordinación entre un reconectador y un fusible se obtiene generalmente cuando se ajuste al reconectador para que opere una secuencia de dos instantá-

TABLA Nº 5.7.1.

FACTORES "K" CUANDO EL FUSIBLE EN EL LADO DE LA FUENTE RESPECTO AL RECONECTADOR

TIEMPO DE RECONEXION EN CICLOS	SECUENCIAS DE DOS INSTANTANEOS Y DOS RETARDOS	SECUENCIA DE UN INSTANTANEO Y TRES RETARDOS	SECUENCIA DE CUATRO RETARDOS
25	2,7	3,2	3,7
30	2,6	3,1	3,5
60	2,1	2,5	2,7
90	1,85	2,1	2,2
120	1,7	1,8	1,9
240	1,4	1,4	1,45
600	1,35	1,35	1,35

Nota: Cuando se aplican estos factores a las características del reconectador tanto las características del fusible como del reconectador deben estar a un mismo voltaje de referencia.

neas y dos lentas. En la primera apertura en reconectador permite despejar un 80 % de las fallas momentáneas, en la segunda apertura se despeja un 10% más. Antes de la tercera apertura se funde el fusible despejando de ésta manera la falla permanente.

La coordinación mínima se obtiene con una secuencia de operación del reconectador de una instantánea y tres lentas. Aquí también como en el caso anterior se despeja el 80 % de las fallas momentáneas con la primera apertura del reconectador; este método se realiza cuando se emplea un seccionalizador automático en un punto intermedio entre el reconectador - y fusible.

Hay dos normas para seleccionar los fusibles cuando están localizados en el lado de la carga respecto al reconectador:

1. Para todos los valores de corrientes de falla posibles en la sección protegida por el fusible,el tiempo mínimo de fundición del fusible tiene que ser mayor que el tiempo de aclaramiento de la (o las) operaciones instantáneas del reconectador - multiplicado por un factor.

   El factor multiplicador permite un tiempo adecua

do sobre el tiempo de aclaramiento de las curvas instantáneas del reconectador y el tiempo de fundición del fusible a fin de evitar algún daño o fatiga al fusible.

El valor del factor multiplicativo depende del número de operaciones instantáneas y del intervalo de reconexión entre las operaciones instantáneas, estos factores están tabulados en la tabla Nº 5.7.2. Está dado para intervalos de reconexión de 30, 60, 90 y 120 ciclos y para 1 y 2 secuencias instantáneas.

Los factores que se dan en la tabla Nº 5.7.2. han obtenido un valor alto en vista de que a un menor tiempo de reconexión existe menor tiempo de enfriamiento para el fusible.

2. Para todos los valores de corriente de falla posible en la sección protegida por el fusible, el tiempo de aclaramiento máximo del fusible no será mayor que el tiempo de aclaramiento retardado del reconectador.

5.8. COORDINACION DE RECONECTADOR - INTERRUPTOR

La coordinación se hace principalmente de los reco

TABLA Nº 5.7.2.

FACTOR K PARA EL FUSIBLE CUANDO ESTA EN EL LADO DE LA CARGA RESPECTO DEL RECONECTADOR

TIEMPO DE RECONEXION EN CICLOS.	UNA OPERACION INSTANTANEA		DOS OPERACIONES INSTANTANEAS	
	PROMEDIO	MAXIMO	PROMEDIO	MAXIMO
25 - 30	1.3	1.2	2.0	1.8
60	1.3	1.2	1.5	1.35
90	1.3	1.2	1.5	1.35
120	1.3	1.2	1.5	1.35

nectadores con los interruptores en aceite más comunmente conocidos como OCB (del inglés Oil Circuit Braker) este tipo de coordinación se realiza más a nivel de distribución que a nivel de carga puesto que los OCB se encuentran principalmente en subestaciones y es a las empresas que producen energía eléctrica a las que les corresponde hacer este trabajo puesto que para plantas industriales pequeñas resulta antieconómico la adquisición de estos dispositivos de protección; no obstante debido a que los OCB realizan la protección de respaldo al reconectador - describiremos ligeramente su trabajo coordinado con el reconectador.

Para realizar la coordinación se debe tener en cuenta que: un OCB abre y despeja después de algunos - ciclos de que su relé de sobrecorriente ha disparado y el relé del OCB grava el tiempo de aclaramiento del reconectador. Esto es; el tiempo de "reset"del relé es usualmente largo y si la corriente de falla reaparece antes de que el relé regrese a su posición normal completamente; entonces hará que el relé funcione con posición de disparo desde la posición de "reset" incompleto.

En la figura 5.8.1., se presentan las características del OCB y del reconectador para la coordinación

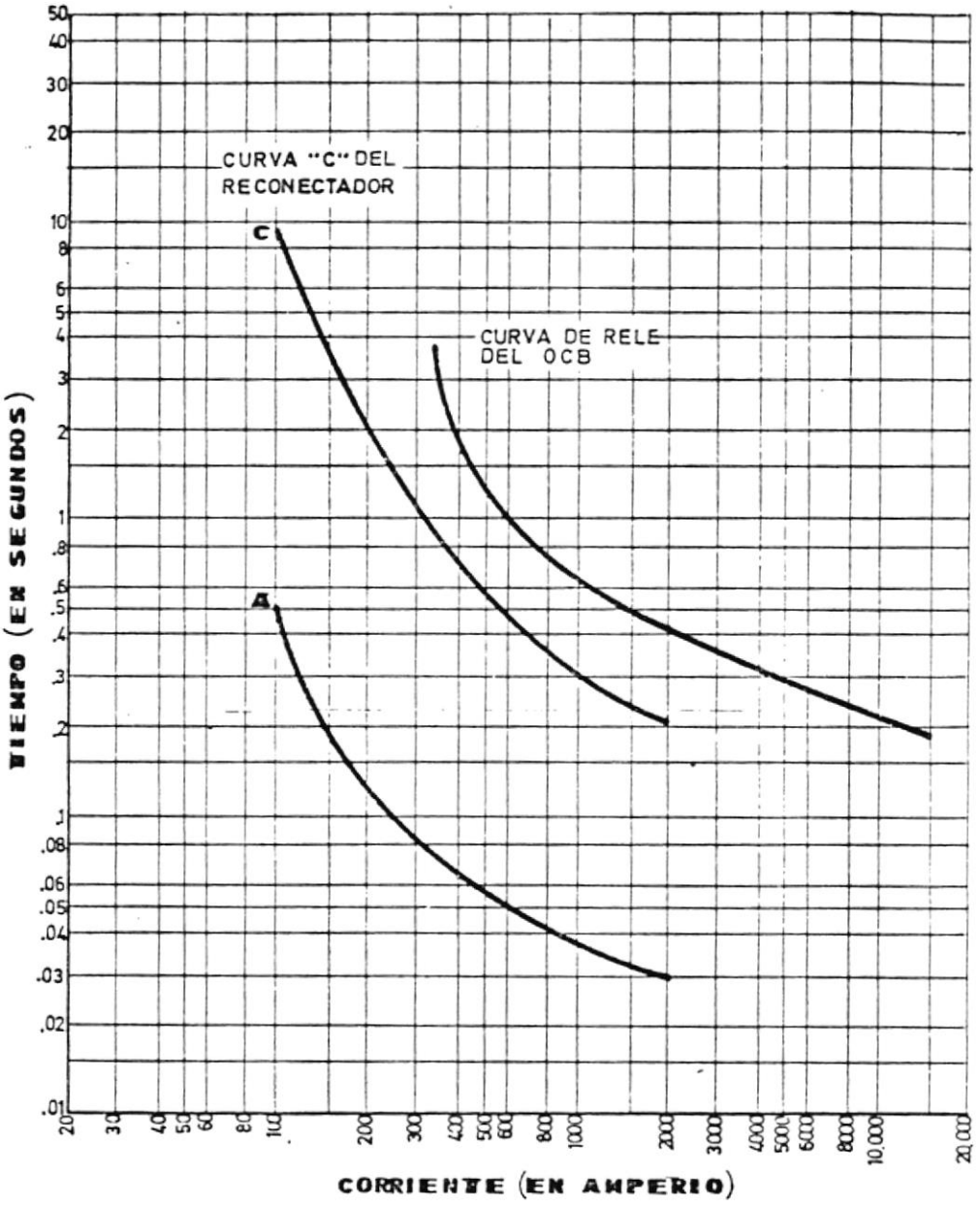


Fig # 5. 8. 1.

CURVAS RECONECTADOR - O. C. B.

selectiva se suman los tiempos de aclaramiento del reconectador según la secuencia a la que se ha ajustado para desarrollar una curva acumulada y ésta comparar con la curva del OCB; si esta curva acumulada es menor que la curva del OCB entonces la coordinación es selectiva pero si la curva acumulada es mayor que la curva del OCB en algún punto; el rango de coordinación se reduce.

5.9. APLICACION DE LOS RECONECTADORES

Los reconectadores tienen su mayor aplicación en la protección de los sistemas de distribución.

Este dispositivo de protección se ha incluído para el estudio de coordinación de los elementos de protección de plantas industriales, no porque se utilice en la industria sino que da protección de respaldo a los elementos de protección industriales. Por tanto es necesario conocer tanto sus características como su funcionamiento para poder coordinar con los elementos de protección industrial. Cabe destacarse que para hacer una coordinación de la protección industrial se tomará en cuenta los tiempos de aclaramiento y de reconexión dado por las empresas generadoras a fin de no perder la selectividad del sistema, en caso que

utilicen este dispositivo para la protección del sistema de distribución.

En la industria casí no tiene uso debido a que no se justifica económicamente aunque técnicamente sea el mejor elemento de protección que sirve además para mantener la continuidad de servicio; y es por este motivo que tiene una gran demanda para los sistemas de distribución.

CAPITULO VI

CALCULO DIGITAL DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

6.1. INTRODUCCION

El cálculo de las corrientes de cortocircuito presentan un grado de dificultad según la complejidad de la red, así tenemos que para un sistema de una barra, a la que alimenta un solo generador, el cálculo manual de cortocircuito es más rápido y más sencillo que si lo hiciéramos el cálculo de la corriente de cortocircuito mediante el uso del computador. Pero para un sistema con uno o más centros de generación que alimenta a varias barras para entregar energía a varios centros de carga, resulta sumamente engorroso; más aún si las barras están interconectadas formando anillos para estos casos se recurren al cálculo de cortocircuito usando un computador con lo que resulta ventajoso en cuanto al tiempo y facilidad de cálculo.

6.2. BREVE DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO

El método utilizado para el cálculo de cortocircuito; es el de adición de barras que consisten en la formación de la Matríz de Impedancia (Z-barra).La adición se realiza de la siguiente manera:

La primera línea para la formación de la matríz Z-barra tiene que ser una que tenga uno de sus extremos conectado al nudo de referencia con el fin de obtener siempre una trayectoria al nodo de referencia de la corriente inyectada en cualquier nodo que ha sido creado. Luego cada línea añadida cae en una de las tres clases siguientes:

1. Adición de una línea desde el nodo de referencia a una nueva barra.

2. Adición de una línea radical desde una barra - existente a una nueva barra.

3. Adición de una línea entre dos barras ya existentes en el sistema. Para cada uno de los casos se modifica la matríz de manera diferente.

La matríz Z-barra contiene la impedancia propia de cada barra con respecto a la barra de referencia y es la impedancia equivalente entre una barra determinada y la barra de referencia.

La matríz Z-barra contiene también impedancias de cada barra del sistema con las restantes con respecto a la barra de referencia.

Las impedancias propias son todos los elementos de la diagonal principal de la matríz Z-barra, las corrientes inyectadas en los nodos y las tensiones de los nodos son ZI = E.

En los que se toma como referencia la barra detrás de las reactancias de los generadores y la tensión de los generadores se asume 1 por unidad detras de las reactancias internas.

La red bajo condiciones de cortocircuito se considera como un sistema alimentado por uno o varios generadores (según el número de generadores del sistema); y conectado a una sola carga mediante el nodo que ha fallado: Las corrientes de carga generalmente se deprecian puesto que son pequeñas

comparadas con las corrientes de cortocircuito.

Entonces la ecuación matricial se puede escribir así:

$$\begin{matrix} & Z_{11} & Z_{12}.....Z_{1k}.....Z_{1n} & 0 & & E_1 \\ . & Z_{21} & Z_{22}.....Z_{2k}.....Z_{2n} & 0 & = & E_2 \\ . & & & & & \\ . & Z_{k1} & Z_{k2}.....Z_{kk}.....Z_{kn} & I_k & & E_k \\ . & & & & & \\ & Z_{n1} & Z_{n2}.....Z_{nk}.....Z_{nn} & 0 & & E_n \end{matrix}$$

Donde la red está sujeta a la inyección de una - sola corriente I_k en el nodo k en el cual ha ocurrido la falla.

Las Z_{ij}; i = j son impedancias propias de la Z-barra
Los Z_{ij}; i ≠ j son impedancias mutuas de la Z-barra.

6.3. RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

El programa está tomado de la tesis del Ing. Juan - Rodríguez, cuyo original se encuentra grabado en la librería T006 del Sistema 34 del Centro de Compu

tación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral(Bibliografia #15).

Este programa se grabó en la librería T111 del mismo sistema y del mismo centro, en el que se disminuyó la capacidad para resolver un sistema de máximo de 20 barras ya que el original es de capacidad para resolver un sistema hasta de 50 barras.

La variación que se ha hecho al programa es no asumir que las impedancias de secuencia positiva y negativa son iguales, cuando se quiera considerar la contribución de corriente hacía la falla desde la carga puesto que las reactancias de secuencia positiva y negativa no son iguales en las máquinas motrices.

Por lo tanto la única variación en las entradas de datos son las reactancias de secuencia negativa - que se pone luego de la tarjeta de control de los datos de secuencia positiva, luego de las reactancias de secuencia negativa se pone la tarjeta de control que indica el fin de datos de dicha secuencia con la opción si se desea imprimir la matriz -

de secuencia negativa o solo los elementos de su - diagonal principal.

Los datos de la secuencia negativa entran en la - creación del procedimiento con el mismo formato de los datos de secuencia cero, y en la tarjeta de control se pone el número 3 en la columna 3 para indicar el fin de los datos de secuencia negativa, en la misma tarjeta se pone el número 99 en las columnas 35 y 36 si se desea que se imprima la matríz de secuencia negativa; si no tiene el número 99 imprime solo los elementos de la diagonal principal de la matriz de dicha secuencia.

En la salida de datos se ha suprimido la distribución de corrientes de la barra fallada hacia las demás; como también las tensiones en las barras bajo condiciones de fallas.

El nombre del programa principal en la T111 es REE1 y en la T006 es EEE. A excepción de las variaciones anotadas las entradas y salidas de datos del REE1; tiene la misma forma y demás especificaciones del control del EEE.

6.4. CONSIDERACIONES Y ASUNCIONES PARA EL CALCULO DIGITAL

Como el método utilizado para el cálculo digital asume que las tensiones en todas las barras están a valor nominal antes de la falla y por lo tanto la tensión detrás de la reactancia interna de los generadores es 1 por unidad en este caso será detrás de la impedancia de cortocircuito dado por la empresa eléctrica que suministra la energía.

Por otra parte el programa trabaja solo para reactancias y por lo tanto considera despreciable las resistencias. Esto se cumple con mayor exactitud para cálculo de la corriente de falla máxima que es la corriente de falla trifásica y en la que se considera solo las reactancias de secuencia positiva.

6.5. CALCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE UN SISTEMA SIMULADO

En la figura 6.5.1. tenemos el diagrama unifilar

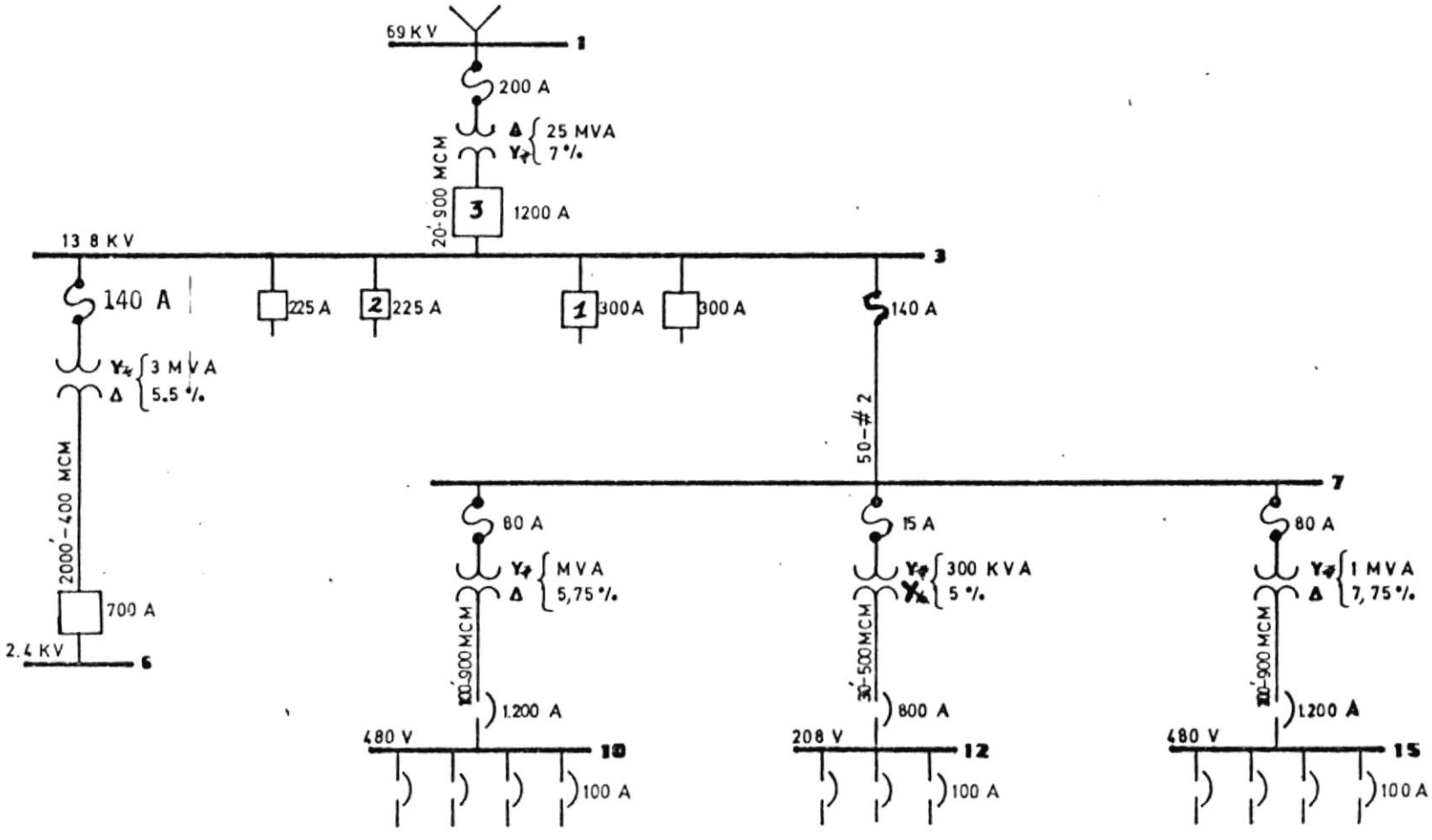


Fig #6. 5. 1.

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA SIMULADO

del circuito eléctrico simulado para una industria por lo tanto este circuito no pertenece a una industria real por cuanto es tomado de dos circuitos modelos para industrias de los apuntes del Seminario Organizado por el Colegio Regional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Litoral en sus Primeras Jornadas de Ingeniería.

Los datos necesarios para el cálculo de cortocircuito se obtuvo en base a las normas dadas por el Código Eléctrico Nacional y las Normas de nuestro país.

En este circuito consta el valor de las tensiones; capacidad de los transformadores con sus impedancias. Los conductores que se utiliza a sus respectivas alimentadoras a más de eso está también los fusibles, disyuntores, interruptores de caja moldeada con sus valores nominales de corriente.

Luego del Diagrama Unifilar tenemos los resultados obtenidos del cálculo digital.

6.6. UTILIZACION DE LOS RESULTADOS PARA LA COORDINACION

Corrientes Máx. y Mín. a 13.8 KV.

Para el fusible de 69 KV

If máx = 16 p.u. = 16.734,78 (A) = 16.7 KA

If mín = 6.5221 p.u. = 6.821,62 (A) = 6.8 KA

Para el relé de 1.200 a 13.8 KV

IF máx. = 9.2886 p.u. = 9.715,17 (A)

If min. = 5.6329 p.u. = 5.891,59 (A)

Para el fusible de 140 T a 13.8 KV (del motor de 2.4 KV):

If máx. = 9.2886 p.u. = 9.715,17 (A)

IF mín. = 14147 p.u. = 1.479,67 (A)

Para el motor (2.4 KV) Breaker:

If máx. = 1.6337 = 1.708,73 (A)

Para el fusible de 140 T (Alimentador a la barra 7)

If máx. = 9.2886 p.u. = 9.715,17 (A)

If mín. = 5.6329 p.u. = 5.891,59 (A)

Para el fusible de 80E (a 13.8 KV)

If máx. = 69722 p.u. = 7.292,39 (A)

If mín. = 0.4188 p.u. = 438,03 (A)

Para el breaker de 1.200 (a 0.48 KV):

If máx. = 0.4837 p.u. = 505,91 (A)

Para el fusible 15T (de 13.8 KV)

If máx. = 6.9722 p.u. = 7.292,39 (A)

If mín. = 0.1252 p.u. = 1.3095 (A)

Para el breaker de 800 A

If máx. = 0.2115 p.u. = 221.21 (A)

Luego de estos resultados, graficamos en las características de los elementos de protección para verificar si existe coordinación selectiva en el rango en que tienen que operar dichos elementos en el caso que existan fallas en el circuito.

Esto se puede observar desde la figura # 6.6.1, hasta - la figura # 6.6.4.

En la figura Nº 6.6.1., tenemos la coordinación entre los elementos de protección de las barras 12,7,3 de la figura Nº 6.5.1., en las que intervienen en primer lugar los interruptores de caja moldeada de 100 amperios de la barra de servicio y el interruptor principal también de caja moldeada de 800 amperios de la misma barra.

En este punto la corriente de falla máxima es 220 amperios a 13,8 Kv. Graficamente se observa que existe selectividad entre los interruptores de 100 A, y el de 800 amperios por tanto existe protección de respaldo para una

falla en la carga de uno de los interruptores de 100 amperios. En la misma figura tenemos luego la coordinación entre el interruptor principal de 200 amperios y el fusible de 15 amperios de la barra 7, el respaldo del interruptor de 800 amperios tiene con el fusible de 15 amperios del lado de alta del transformador de 300 KVA. Luego tenemos la coordinación entre el fusible de 15 amperios de la barra 7 y el fusible de 140 amperios de la barra 3, para este caso tenemos que la corriente de falla máxima en la barra 7 es de 7.300 amperios y la de falla mínima es de 1.300 amperios a 13,8 Kv., en la que también se observa gráficamente que existe una coordinación selectiva entre estos elementos de protección.

Finalmente tenemos la coordinación entre el fusible de 140 amperios de la barra 3 con el disyuntor principal de 1.200 amperios de la misma barra; aquí la corriente de falla máxima es de 9.700 amperios y la corriente de falla mínima es de 5.900 amperios a 13.8 con lo cual se observa gráficamente que también existe coordinación selectiva entre estos dos elementos.

En la figura Nº 6.6.2., está la coordinación entre las barras 12,7,3 el procedimiento es igual al de la figu-

ra 6.6.1., o sea que se tomó las corrientes de falla para graficar junto con las características de los elementos que protejen al circuito, y luego se analiza si existe selectividad en la operación de los mismos.

En la figura 6.6.3., está la coordinación entre las barras 3 y 1 en las que intervienen los disyuntores, de 225 amperios, 300 amperios, 1200 amperios a 13.8 KV y los fusibles de 200 amperios del lado de 69 KV de - la figura 6.5.1., y por último en la figura 6.6.4. está la coordinación entre los elementos de protección de las barras 6, 3 y 1 que también se procedió de igual manera a la que se realizó para las barras - 12, 7 y 3.

En definitiva para realizar la coordinación selectiva se graficó las características de los elementos de protección y las corrientes de falla de las diferentes barras.

REACTANCIAS DEL SISTEMA SECUENCIA POSITIVA

DE BARRA	VOL.		A BARRA	VOL.		REACTANCIA
1	1	0	1	1	0	0.062500
1	1	0	2	1	1	0.070000
2	1	0	3	1	0	0.000258
3	1	0	4	1	0	0.000001
4	1	0	5	1	1	0.458300
5	1	1	6	1	0	0.021044
3	1	0	7	1	0	0.020959
7	1	0	8	1	0	0.000001
8	1	0	9	1	1	1.437500
9	1	1	10	1	0	0.476358
7	1	0	11	1	0	4.170000
11	1	0	12	1	0	0.403836
7	1	0	13	1	0	0.000001
13	1	0	14	1	1	1.437500
14	1	1	15	1	0	0.476358

SECUENCIA POSITIVA

1	1	1	1	0.062500
2	1	2	1	0.132500
3	1	3	1	0.132768
4	1	4	1	0.132769
5	1	5	1	0.591069
6	1	6	1	0.612113
7	1	7	1	0.153727
8	1	8	1	0.153728
9	1	9	1	1.591229
10	1	10	1	2.067585
11	1	11	1	4.323727
12	1	12	1	4.727562
13	1	13	1	0.153725
14	1	14	1	1.591228
15	1	15	1	2.067585

REACTANCIAS DEL SISTEMA SECUENCIA NEGATIVA

DE BARRA	IVOL.		A BARRA	VOL.		REACTANCIA
1	1	0	1	1	0	0.062500
1	1	0	2	1	0	0.070000
2	1	0	3	1	0	0.000268
3	1	0	4	1	0	0.000001
4	1	0	5	1	1	0.458300
5	1	1	6	1	0	0.021044
3	1	0	7	1	0	0.020459
7	1	0	8	1	0	0.000001
8	1	0	9	1	1	1.437500
9	1	1	10	1	0	0.476358
7	1	0	11	1	0	4.170000
11	1	0	12	1	0	0.403536
7	1	0	13	1	0	0.000001
13	1	0	14	1	1	1.437500
14	1	1	15	1	0	0.476358

SECUENCIA NEGATIVA

1	1	1	1	0.062500
2	1	2	1	0.132500
3	1	3	1	0.132768
4	1	4	1	0.132769
5	1	5	1	0.591069
6	1	6	1	0.612113
7	1	7	1	0.153727
8	1	8	1	0.153728
9	1	9	1	1.591228
10	1	10	1	2.067585
11	1	11	1	4.323727
12	1	12	1	4.727562
13	1	13	1	0.153728
14	1	14	1	1.591228
15	1	15	1	2.067585

REACTANCIAS DEL SISTEMA SECUENCIA CERO

DE BARRA	VOL.			A BARRA	VOL.		REACTANCI
1	1	0	1		1	0	0.06250
2	1	0	2		1	0	0.07000
2	1	0	3		1	0	0.00150
3	1	0	4		1	0	0.00000
4	1	0	4		1	0	0.45930
5	1	1	5		1	1	*********
5	1	1	6		1	0	0.54582
3	1	0	7		1	0	0.08628
7	1	0	8		1	0	0.00000
8	1	0	8		1	0	1.43750
9	1	1	9		1	1	*********
9	1	1	10		1	0	3.02091
7	1	0	11		1	0	4.17000
11	1	0	12		1	0	10.21080
7	1	0	13		1	0	0.00000
13	1	0	13		1	0	1.43750
14	1	1	14		1	1	*********
14	1	1	15		1	0	3.02091

SECUENCIA CERO

1	1	1	1	0.062500
2	1	2	1	0.056522
3	1	3	1	0.057441
4	1	4	1	0.057442
5	1	5	1	**********
6	1	6	1	**********
7	1	7	1	0.122824
8	1	8	1	0.122824
9	1	9	1	**********
10	1	10	1	**********
11	1	11	1	4.292823
12	1	12	1	14.503823
13	1	13	1	0.122824
14	1	14	1	**********
15	1	15	1	**********

FALLA TRIFASICA

BARRA 1 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
16.0000	90.0	16.0000	-30.0	16.0000	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 2 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
7.5472	90.0	7.5472	-30.0	7.5472	210.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 15 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	182.0	0.4188	-0.0	0.4188	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 12 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	199.6	0.1885	-13.7	0.1885	193.6

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 13 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.7717	-33.7	6.7692	213.7

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 14 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	169.2	0.5442	-0.0	0.5442	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 9 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	169.2	0.5442	-0.0	0.5442	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 10 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	182.0	0.4188	-0.0	0.4188	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 11 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.2316	-30.2	0.2315	210.1

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 6 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	174.6	1.4147	-0.0	1.4146	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 7 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.7717	-33.7	6.7692	213.7

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 8 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.7717	-33.7	6.7692	213.7

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 3 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	182.7	8.9030	-42.9	8.8995	222.9

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 4 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	173.6	8.9029	-42.9	8.8995	222.9

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 5 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	166.8	1.4650	-0.0	1.4650	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 15 - 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.4188	-0.0	0.4188	180.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 1 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0001	181.5	16.0018	-30.0	15.9963	210.0

FALLA DE DOS FASES A TIERRA

BARRA 2 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	177.3	8.9481	-43.1	8.9446	223.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 12 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.1832	-0.0	0.1832	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 13 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	5.6329	-0.0	5.6328	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 14 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.5442	-0.0	0.5442	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 9 - 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.5442	-0.0	0.5442	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 10 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.4188	-0.0	0.4184	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 11 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	0.2003	-0.0	0.2003	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 6 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	1.4147	-0.0	1.4146	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 7 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	5.6329	-0.0	5.6329	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 8 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	5.6329	-0.0	5.6328	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 3 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.5221	-0.0	6.5221	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 4 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.5221	-0.0	6.5220	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 5 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	1.4650	-0.0	1.4650	180.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 15 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	210.0	0.0000	210.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 1 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0001	180.0	13.8548	-0.0	13.8548	180.0

FALLA ENTRE DOS FASES

BARRA 2 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	180.0	6.5353	-0.0	6.5353	180.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 12 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.1252	90.0	0.0000	209.9	0.0000	209.9

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 13 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.9722	90.0	0.0016	209.9	0.0016	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 14 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	209.9	0.0000	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 9 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	209.9	0.0000	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 10 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	210.0	0.0000	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 11 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.2318	90.0	0.0001	209.9	0.0001	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 6 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	210.0	0.0000	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 7 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.9722	90.0	0.0016	209.9	0.0016	209.9

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 8 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.9722	90.0	0.0016	209.9	0.0016	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 3 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
9.2886	90.0	0.0021	209.9	0.0021	209.9

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 4 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
9.2885	90.0	0.0021	209.9	0.0021	209.9

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 5 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.0000	90.0	0.0000	209.9	0.0000	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 15 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.4837	90.0	0.4837	-30.0	0.4837	210.0

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 1 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
16.0000	90.0	0.0037	209.9	0.0037	209.9

FALLA DE UNA FASE A TIERRA

BARRA 2 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
9.3306	90.0	0.0021	209.9	0.0021	209.9

FALLA TRIFASICA

BARRA 12 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.2115	90.0	0.2115	-30.0	0.2115	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 13 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.5050	90.0	6.5050	-30.0	6.5050	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 14 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.6284	90.0	0.6284	-30.0	0.6284	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 9 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.6284	90.0	0.6284	-30.0	0.6284	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 10 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.4837	90.0	0.4837	-30.0	0.4837	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 11 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
0.2313	90.0	0.2313	-30.0	0.2313	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 6 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
1.6337	90.0	1.6337	-30.0	1.6337	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 7 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.5050	90.0	6.5050	-30.0	6.5050	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 8 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
6.5050	90.0	6.5050	-30.0	6.5050	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 3 - 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
7.5319	90.0	7.5319	-30.0	7.5319	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 4 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
7.5319	90.0	7.5319	-30.0	7.5319	210.0

FALLA TRIFASICA

BARRA 5 1

CORRIENTE DE FALLA

FASE A		FASE B		FASE C	
MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO	MODULO	ANGULO
1.6918	90.0	1.6918	-30.0	1.6918	210.0

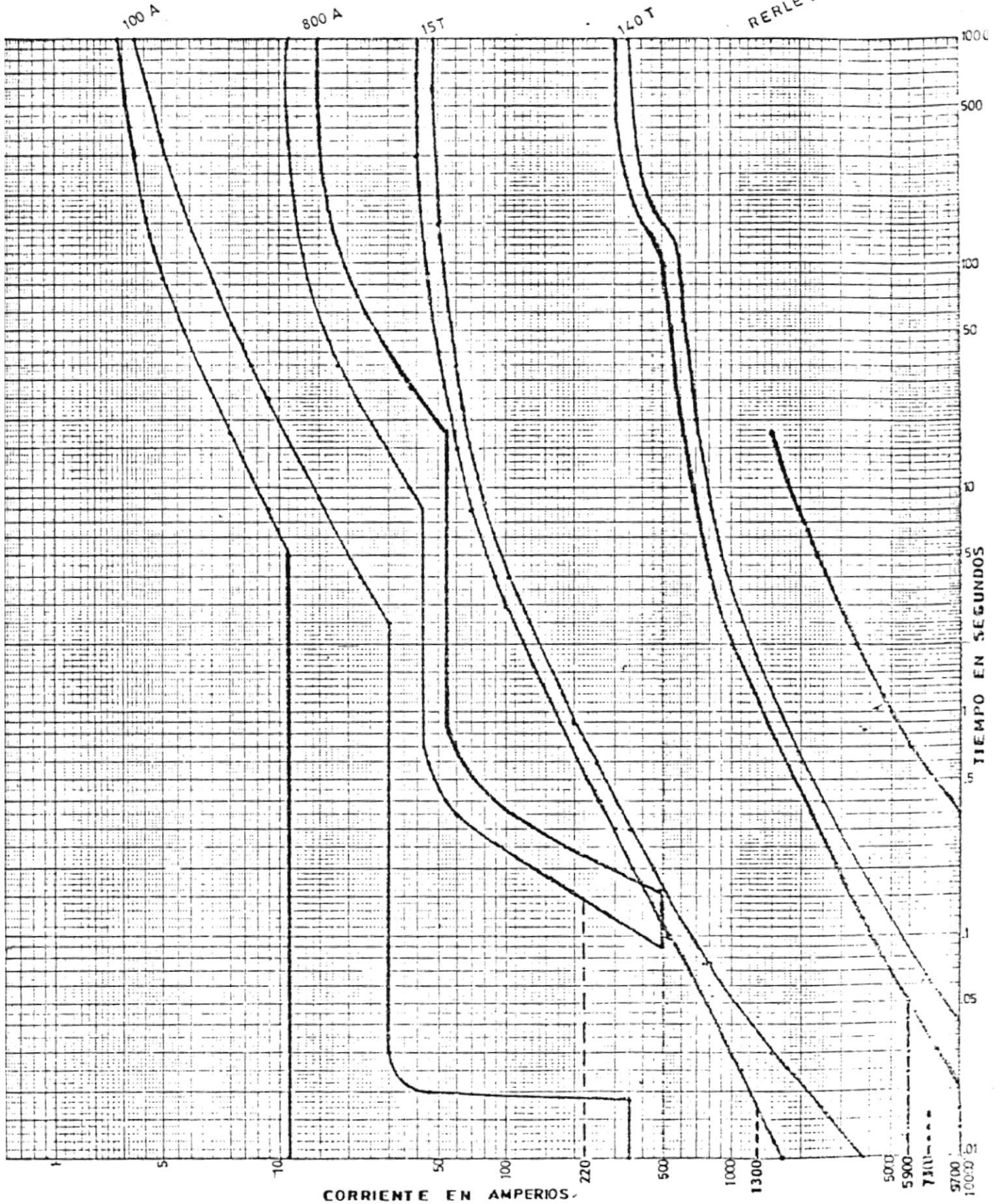


Fig # 6. 6. 1.

CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 12, 7, 3

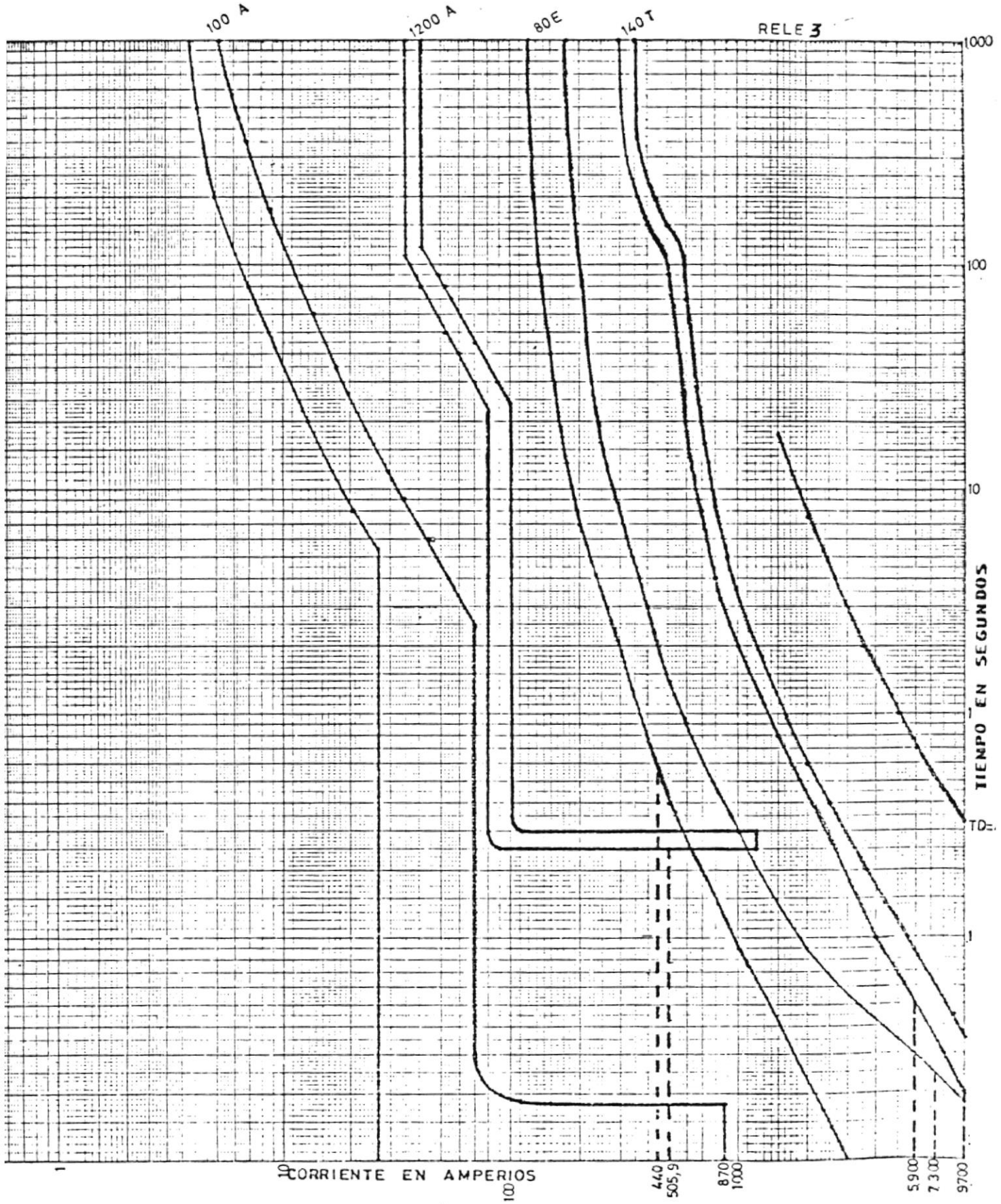


Fig # 6. 6. 2.

CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 10, 7, 3

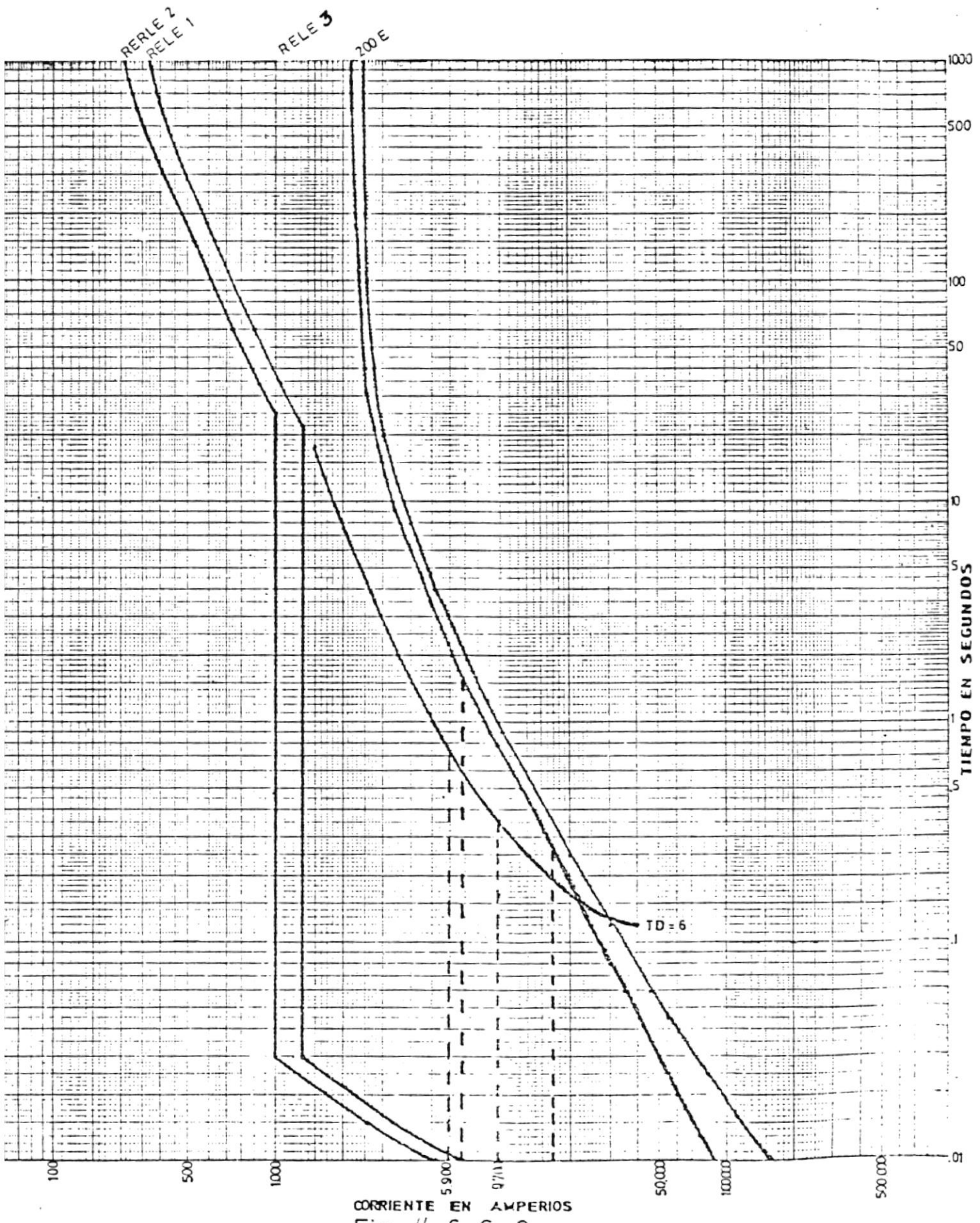


Fig # 6. 6. 3.

CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE LAS BARRAS 3, 1

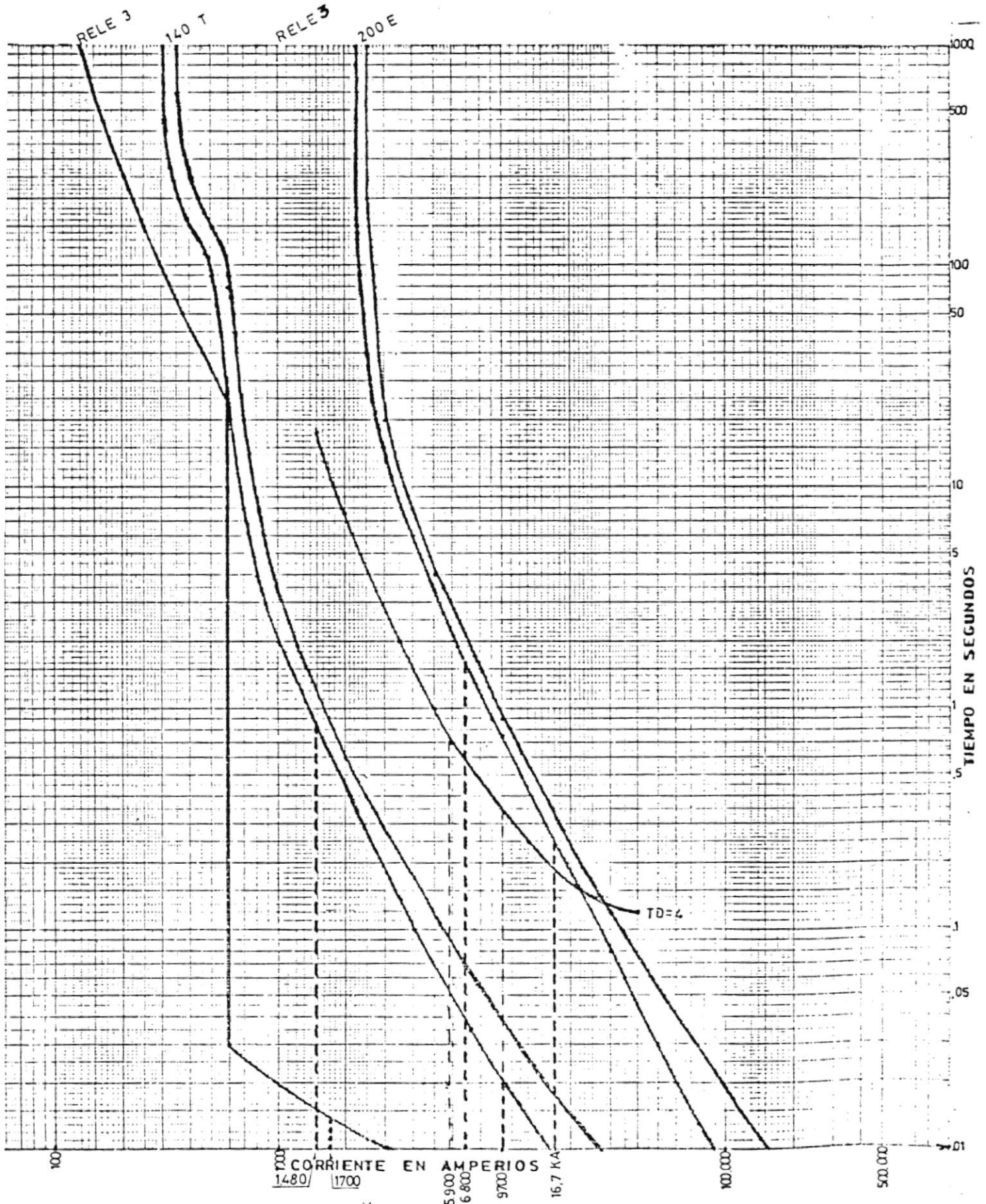


Fig # 6. 6. 4.

CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE LAS BARRAS 6 - 3 - 1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Como primera conclusión tenemos que un dispositivo de protección industrial es adecuado si cumple con todas las normas establecidas ya sean estas por códigos,por normas locales que exige el lugar de su instalación o por las normas dadas por el fabricante.

2. Para una coordinación selectiva es necesario el uso de las características de los elementos eléctricos de protección o, a su vez, recurrir a las tablas de selectividad dadas por algunos fabricantes.

3. Para que los elementos eléctricos de protección industrial sean adecuados y selectivos es indispensable un estudio de cortocircuito a fin de conocer los valores máximos de corriente permitido en condiciones de funcionamiento anormal y poder elegir el dispositivo que puede funcionar bajo estas condiciones.

4. La protección industrial se realiza siempre con tendencia a que el sistema eléctrico sea lo menos complejo posible pero sin prescindir de las anormalidades -

que por ser raras se las omite a veces equivocadamente, cuyas consecuencias pueden llegar a ser hasta lamentables.

5. Para los cálculos que se realizan se toman ciertas decisiones con el fin de simplificar el estudio esto hace que se introduzcan ciertos errores y los cálculos no sean exactos pero este inconveniente está compensado por las tolerancias que permiten los fabricantes a los dispositivos; a más de que existan compensaciones de las mismas asunciones y decisiones.

Entre las recomendaciones tenemos:

A. Los fusibles se aplicarán preferentemente para cargas monofásicas y en cargas donde la salida temporal del suministro de energía ocasione solo un retrazo de la producción. Para utilizar en cargas trifásicas es recomendable el uso de un accesorio adicional tal que tenga un disparo trifásico; ya que las fallas monofásicas son perjudiciales para las cargas motríces trifásicas, puesto que operará el fusible de la fase que ha fallado.

En forma general el uso del fusible tiene lugar cuando el factor económico es el más crítico.

B. Los interruptores de potencia y de caja moldeada tienen su mayor aplicación en las cargas trifásicas tanto por su seguridad de funcionamiento como por su flexibidad a los sistemas eléctricos con lo que se han convertido en los elementos de protección más versátiles en las industrias.

Modernamente hasta en instalaciones de alumbrado en edificios se los emplea desplazando a los fusibles, puesto que los interruptores no requieren de cambio de material para reponer el servicio.

C. Los reconectadores tienen su mayor aplicación para los grandes centros de generación, por su elevado costo y para la industria generalmente no se justifica principalmente en el aspecto económico.

D. Debido a que los equipos de protección funcionan solo en caso de fallas, es necesario realizarles un mantenimiento adecuado con el fin de que funcionen correctamente cuando les toque operar, ya que como pasan la mayor parte del tiempo sin operar pueden adquirir desperfectos por deterioro, contaminaciones, envejecimiento, calentamiento, etc., lo que impide a que funcione correctamente el elemento de protección.

E. Cuando la continuidad de servicio es de vital importancia como en el caso de las industrias de procesos químicos por ejemplo: es recomendable a más de las verificaciones de los interruptores de potencia y - de caja moldeada, esto es su tensión nominal,corriente nominal y de cortocircuito, antes de su instalación,hacer también las pruebas de aislamiento para comprobar si existe humedad en las partes internas de los aparatos; a las líneas que alimentan a las - máquinas y a los motores de preferencia a los de gran capacidad.

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

1. ANALISIS MODERNO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA; POR ENRIQUEZ HARPER; EDITORIAL LIMUSA. MEXICO.

2. ELECTRIC POWER SYSTEMS; THIRD EDITION; POR B. M. WEEDY; EDITORIAL JOHN WILEY & SONS LTD. NEW YORK.

3. ELECTRIC ENERGY SYSTEMS THEORY; AN INTRODUCTION;POR OLLE I. ELGERD. EDITORIAL: TATA Mc GRAW-HILL PUBLISHING COMPANY LTD. NEW DELHI.

4. ANALISIS DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA; SEGUNDA EDICION; POR WILIIAM D. STEVENSON;EDITORIAL McGRAW-HILL LATINOAMERICANA S.A. BOGOTA COLOMBIA.

5. PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS; DE LA ENCICLOPEDIA - CEAC DE ELECTRICIDAD; TERCERA EDICION; EDITORIAL CEAC S. A. BARCELONA - ESPAÑA.

6. APLIED PROTECTIVE RELAYING; SECOND PRINGTING 1979; POR WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION RELAY-INSTRUMENT DIVISION; EDITORIAL CORAL SPRINGS; FLORIDA.

7. THE ART AND SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING; POR C.RUSSELL MASON EDITADO POR JOHN WILLEY & SONS INC.

8. INSTRUCTIONS: POWER PROTECTION AND CONVERSION DIVISION; EDITORIAL GENERAL ELECTRIC;PHILADELPHIA;PENNA 19142.

9. ELECTRIC UTILITY ENGINEERING REFERENCE BOOK. VOL.3.DISTRIBUTION SYSTEMS. FIRST EDITION; SIXTH PRINTING; EDITADO POR WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION; EAST - PITTSBURGH; PA.

10. ELECTRICAL TRANSMISION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK FOURTH EDITION; EDITADO POR WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION; EAST PITTSBURG, PENNSYLVANIA.

11. INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES; TERCERA IMPRESION; POR PEDRO CAMARENA M. EDITADO POR LA COMPAÑIA - EDITORIAL CONTINENTAL; S.A. MEXICO.

12. APUNTES DEL SEMINARIO DE PROTECCIONES ELECTRICAS ORGANIZADO POR EL COLEGIO REGIONAL DE INGENIEROS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS DEL LITORAL AGOSTO DE 1981; GUAYAQUIL-ECUADOR.

13. ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION; CUARTA - EDICION; POR : GAUDENCIO ZOPPETTI JUDEZ;EDITORIAL: GUSTAVO GILI, S.A. BARCELONA.

14. CENTRALES ELECTRICAS; POR E. SANTO POTESS; EDITORIAL: GUSTAVO GILI, S.A. BARCELONA.

15. ESTUDIO DE CC. DE SISTEMA GUAYAQUIL.- TESIS DE GRADO - ESPOL.- ING. JUAN RODRIGUEZ.