



**INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
REGION SUR
COMPETENCIA DE INGENIERIA ELECTROMECANICA
GENERACION Y UTILIZACION DE POTENCIA**

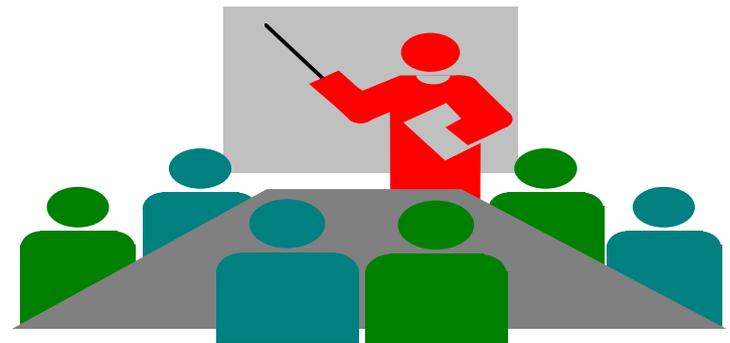


**Coordinación de Protecciones de Sobrecorriente
para Sistemas Industriales, Teoría y Análisis.**

M.I. Arturo Flores López



Este platica está diseñado para servir como ayuda al Ingeniero electricista en lo referente a la selección, ajuste y coordinación de los dispositivos de protección de sobrecorriente.



PARTE I

INTRODUCCION.

I.1.-Conceptos Básicos.

I.2.-Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos.

I.3.-Dispositivos de protección y sus características.

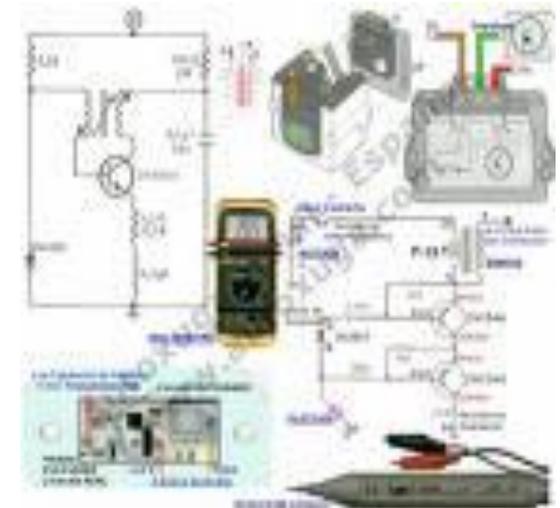
- Interruptores.
- Fusibles.
- Relevadores.



PARTE II

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN Y LÍMITES DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS.

- II.1.-Equipos principales a proteger en una instalación industrial.
- II.2.-Curva de daño de equipos.
- II.3.-Protección de equipos.



PARTE III

COORDINACION DE PROTECCIONES EN INSTALACIONES ELECTRICAS DE PLANTAS INDUSTRIALES.

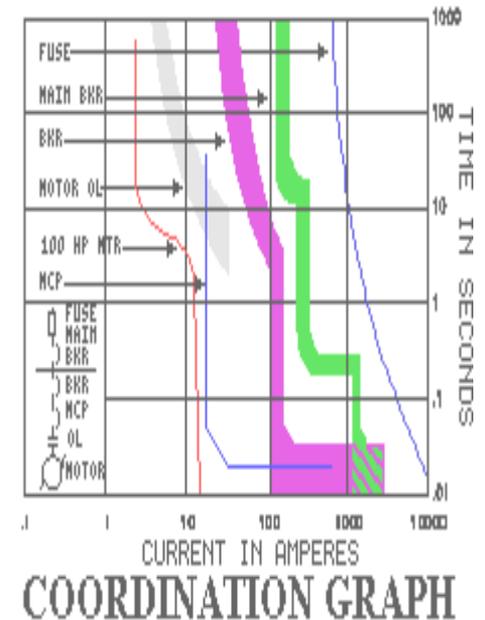
III.1.- Diagrama unifilar del sistema eléctrico.

III.2.- Rutas de coordinación.

III.3.- Márgenes de coordinación.

III.4.- Ejemplos de coordinación de protecciones.

III.5.- Interpretación de Coordinación protecciones.





Bibliografía

- **NOM-001-SEDE-2005**, "Instalaciones eléctricas utilización".
- **NFPA NEC-70 2008**, National electrical code"
- **IEEE Std 242-2001**, "Recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems".
- **IEEE Std 141-1993**, "Recommended practice for electrical power distribution for industrial plants".
- **IEEE-Std C37.2 1996**, "IEEE Standard electrical power system device function numbers and contact designations".
- **IEEE-Std C37.91 2000**, "IEEE Guide for protective relay applications to power transformers".
- **IEEE-Std C37.96 2000**, "IEEE Guide for AC motor protection".
- **IEEE-Std C37.101 1993**, "IEEE Guide for generator ground protection".
- **IEEE-Std C37.102 1995**, "IEEE Guide for AC generator protection".



PARTE I

Introducción

- I.1.-Conceptos Básicos.
- I.2.-Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos.
- I.3.-Dispositivos de protección y sus características.
 - Interruptores.
 - Fusibles.
 - Relevadores.





Introducción.

Los sistemas de distribución eléctrica de plantas industriales, varían en tamaño y complejidad.

Las pérdidas asociadas con la interrupción del suministro eléctrico debido a fallas en equipos o el sistema eléctrico, pueden representar un gasto substancial.

Algunos tipos de cargas soportan interrupciones en el suministro eléctrico, mientras que otros procesos no toleran ni variaciones de voltaje.

La naturaleza de la operación del proceso es el punto medular para determinar la complejidad de la protección del sistema eléctrico.



I.1.- Conceptos Básicos.

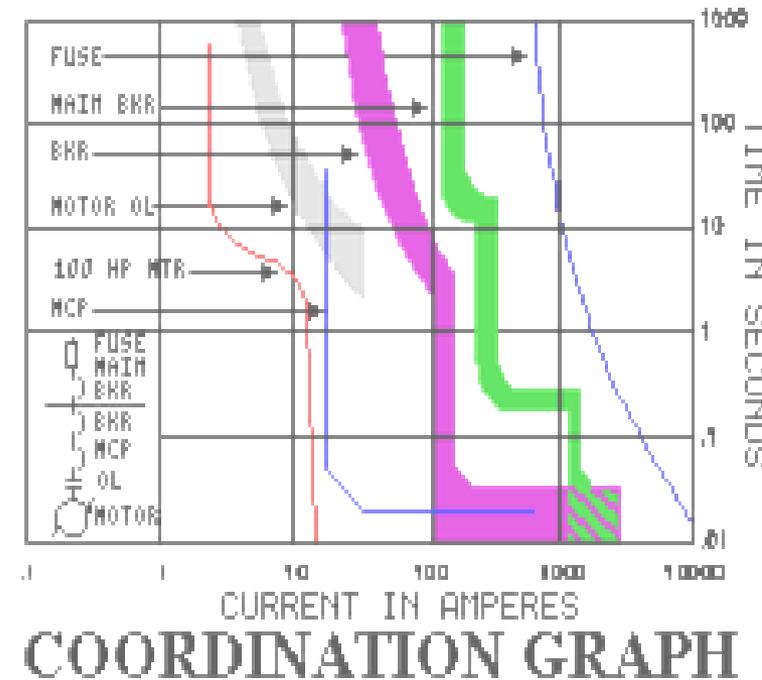




Para que las protecciones?

Anteriormente se pensaba que solo los Sistemas Eléctricos de Potencia requerían estudios detallados, sin embargo, se ha comprobado que esto no debe ser así.

Los sistemas industriales y comerciales tiene una mayor diversidad de cargas y elementos que los pueden volver muy complejos.





Para que las protecciones?

Los sistemas de protección son una parte vital de cualquier sistema eléctrico, que se puede suponer no necesaria en operación normal; pero muy importante durante fallas y condiciones anormales de operación.

La función de un sistema de protección es:

“Detectar y aislar prontamente la parte afectada de un sistema que pueda producir daño a los equipos y/o al personal”.





Importancia de la protección de instalaciones eléctricas industriales.

La protección de un sistema eléctrico es una forma de aseguramiento. **No paga nada mientras no haya falla u otra emergencia**, pero cuando una falla ocurre puede ser acreditada con la reducción en extensión y duración de la interrupción, los riesgos en daño de propiedad y daño al personal.





Para ser funcional, un esquema de protecciones eléctricas requiere básicamente de los siguientes aspectos:

◆ Rapidez.

Debe ser lo suficientemente rápidas para evitar daños al equipo o disturbios al sistema.

◆ Sensibilidad.

Deben ser capaces de detectar fallas de baja aportación de corriente.

◆ Selectividad.

Deben ser capaces de detectar y desconectar solo la parte fallada del sistema.

◆ Confiabilidad.

Es el grado de certeza de que las protecciones operen correctamente cuando se requiera.

◆ Simplicidad.

Un esquema de protecciones debe ser tan simple y sencillo como sea posible.

◆ Economía.

Tener máxima protección a un mínimo costo.

I.2.- Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos.





Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Existen diversas condiciones operativas en las cuales la instalación eléctrica puede funcionar o al menos que debe soportar, estas son:

◆ Condiciones normales

demanda mínima

demanda máxima

◆ Condiciones anormales

fallas



sobrecargas





Crterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Bajo condiciones operativas normales, las protecciones deben de ser solamente "observadores", es decir, no deben de operar.

En condiciones anormales, los dispositivos de protección deben responder conforme a su objetivo, detectar y aislar solamente la parte fallada





Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Las condiciones normales, se determinan mediante estudios de flujos de carga considerando:

- ◆ Suministro eléctrico o generación.
 - ◆ máxima
 - ◆ mínima
- ◆ Carga conectada
 - ◆ máxima
 - ◆ mínima
 - ◆ arranque de motores.



Cualquiera de estas condiciones debe de ser soportada por los dispositivos de protección sin que estos operen o causen interrupción en el servicio.



Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Las condiciones anormales, se pueden analizar mediante:

- ❖ **Flujos de carga.** - Permitirá analizar el sistema eléctrico antes los diferentes escenarios de operación del sistema eléctrico.
- ❖ **Corto Circuito.** - Para determinar si el sistema eléctrico soporta la "peor" condición operativa a la cual pueda ser sometido.





Crterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Condiciones anormales

Sobrecarga

Sobrecorriente

Corto circuito



Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Las sobrecorrientes por sobrecarga cuyo principal efecto es el sobrecalentamiento, tienen un accionamiento mas lento sobre los materiales, ya que lo van degradando en forma lenta hasta que pierden sus características y si no se protege al equipo contra estas sobrecargas, entonces el resultado final es una falla de corto circuito debido a la pérdida de aislamiento que se presenta.





Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Las sobrecorrientes por falla de corto circuito, son de carácter violento y la energía liberada es capaz de destruir los materiales. Es por esto que para proteger a los equipos contra estas fallas, se utilizan elementos de operación rápida, como pueden ser los fusibles, las unidades magnéticas y las características instantáneas de los relevadores más avanzados, en los cuales se utiliza el término común de "protección de sobrecorriente".





Crterios generales de protección de los sistemas eléctricos

El corto circuito.

Es una corriente que se encuentra fuera de sus rangos normales.

Algunos cortocircuitos no son mayores que las corrientes de carga, mientras que otros la pueden exceder muchas veces su valor (alrededor de 10 veces la I_{nom}).





Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

"La coordinación de protecciones, es la selección y ajuste, de los dispositivos de protección, para aislar la parte afectada del sistema cuando ocurre alguna anomalía".



I.3.- Dispositivos de protección y sus características.





Elementos involucrados

Tal como se expuso anteriormente los dispositivos de protección son empleados con la finalidad de reducir o limitar las corrientes de falla, los mas comunes son:

- ◆ Interruptores
- ◆ Fusibles
- ◆ Relevadores

Cada uno de estos dispositivos tiene ciertas características que permiten su uso y adecuado funcionamiento en ciertas condiciones.

Las características de estos dispositivos serán mostradas con detalle en las siguientes láminas



Interruptores de bajo voltaje

Clasificación de interruptores

Termomagnéticos

Electromagnéticos.



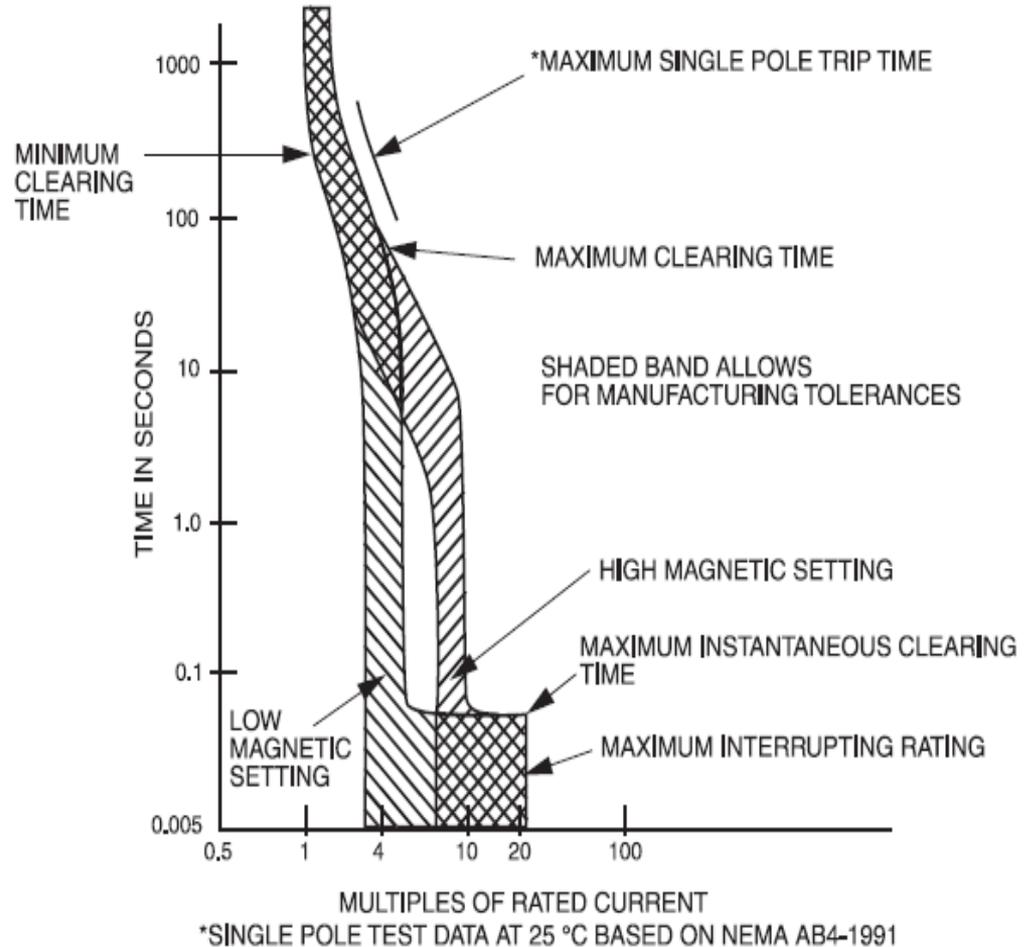


Interruptores Termomagnéticos.

LOW-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

Tiempo largo.- En base a un elemento térmico (bimetálico), NO ajustable.

Instantáneo.- Mediante un elemento magnético, ajustable en rangos de 5 -10 veces la capacidad continua.





Interruptores termomagnéticos

Datos
básicos

Voltaje. - Es el máximo de operación.

Frecuencia. - Del sistema.

Capacidad Interruptiva. - Expresada en valores rms simétricos.

Capacidad de cortocircuito. - Aguante máximo durante 30 seg.



3P

2P

1P



Interruptores Electromagnéticos.

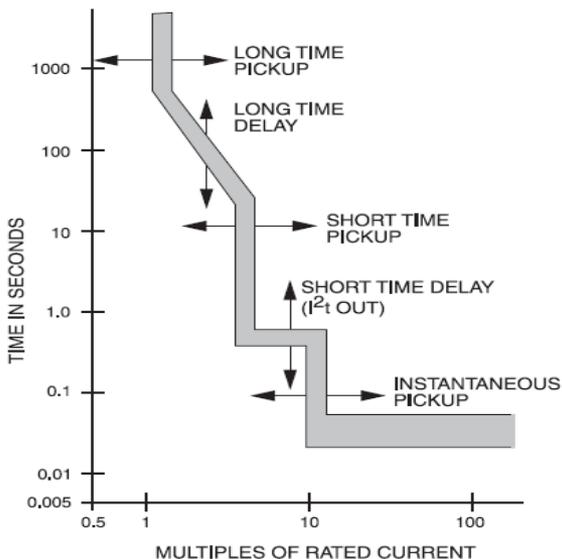


Figure 7-7a—Typical TCC curve for electronic trip circuit breaker (I^2t OUT); adjustable functions identified

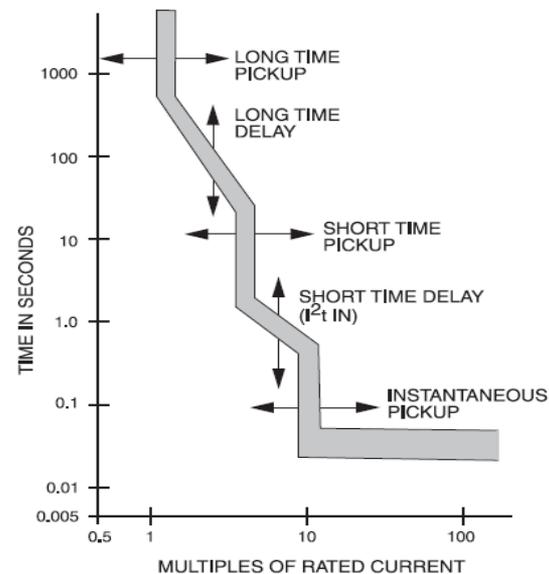


Figure 7-7b—Typical TCC curve for electronic trip circuit breaker (I^2t IN); adjustable functions identified

La unidad de disparo continuamente censa la corriente e inicia el disparo de acuerdo a su curva de disparo tiempo-corriente. Dependiendo de la magnitud de la corriente, la unidad de disparo inicia una respuesta de tiempo-inverso o una respuesta instantánea. Cuando el disparo es iniciado, un mecanismo actúa dentro del interruptor, abriendo los contactos primarios interrumpiendo el flujo de corriente. La unidad de disparo es considerada una parte integral interruptor.



Interruptores Electromagnéticos.

Opción	Descripción	Función del tipo de curva
LTPU	Pickup de tiempo largo (rango de disparo)	Rango de corriente constante
LTD	Retardo de tiempo largo	Corriente de tiempo inverso
STPU	Pickup de tiempo corto	Punto de disparo de corriente constante
STD	Retardo de tiempo corto	Disparo de tiempo constante
$I^2 T$	Característica de corriente de tiempo inverso	Tiempo corto, tiempo inverso en el rango de retardo de tiempo corto
INST	Disparo instantáneo	Disparo sin retardo

Fusibles

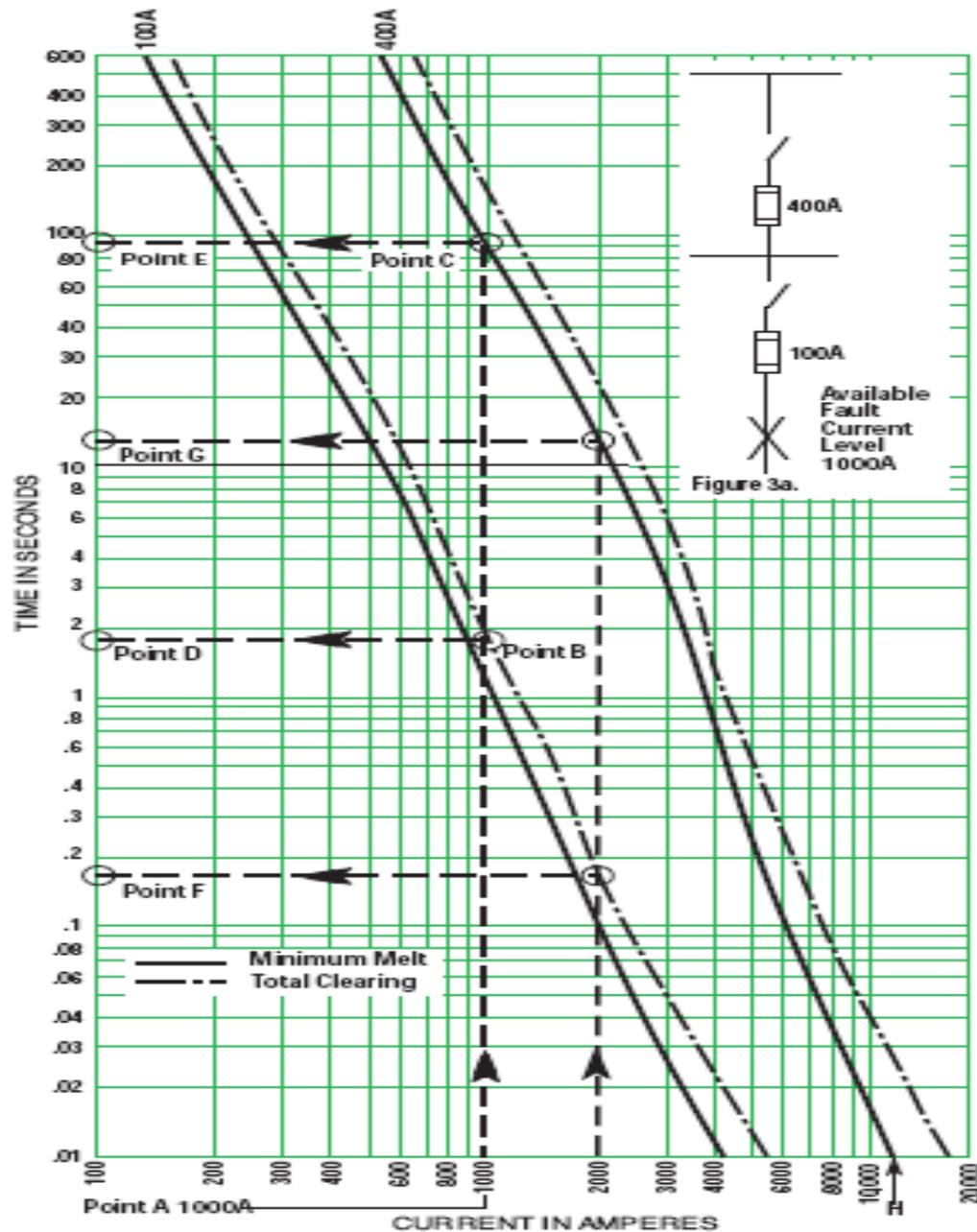
El termino fusible esta definido por el estándar IEEE Std 100-1992 como *"un dispositivo de protección contra sobrecorriente con un elemento fusible que directamente calentado por el paso de una sobrecorriente a través de él abre un circuito"*.





Fusibles

Los fusibles tienen una característica de corriente de tiempo-inverso, lo que significa que entre más grande es la sobrecorriente más rápida es interrumpida.





Fusibles de Baja Tensión.

Los fusibles de baja tensión, de acuerdo a sus características de operación y constructivas se clasifican como:

Fusible Clase G. Son de 0-60 A y 300 V, de dimensiones pequeñas para uso en instrumentos de medidas, equipos electrónicos, etc. Disponibles en 4 tamaños diferentes 15, 20, 30 y 60 A con capacidad de ruptura de 100 KA.

Fusible Clase H. Capacidad nominal de 0-600 A y 600V. Son fusibles encapsulados con capacidad de ruptura máxima de 10 KA rms simétricos.

Fusible Clase J. Capacidad nominal de 0-600 A, 600 V. Tienen dimensiones físicas menores a las de un fusible clase H. Estos fusibles se clasifican como fusibles rápidos, limitadores de corriente y con capacidad de ruptura de 200 KA rms simétricos.



Fusibles de Baja Tensión.

Fusible Clase K. Capacidad nominal 0-600 A, 250 y 600 V. Poseen las mismas dimensiones físicas que los fusibles clase H y tienen capacidades de interrupción entre 50, 100 KA y 200 KA simétricos.

Fusible Clase R. Capacidad nominal 0-600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente con capacidad de ruptura de 200 KA simétricos RMS.

Fusible Clase L. Capacidad nominal de 601-6000 A, 600 V y capacidad de ruptura de 200 KA efectivos simétricos.

Fusible Clase T. Capacidad nominal de 0-600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente compactos con 200 KA rms simétricos de ruptura.

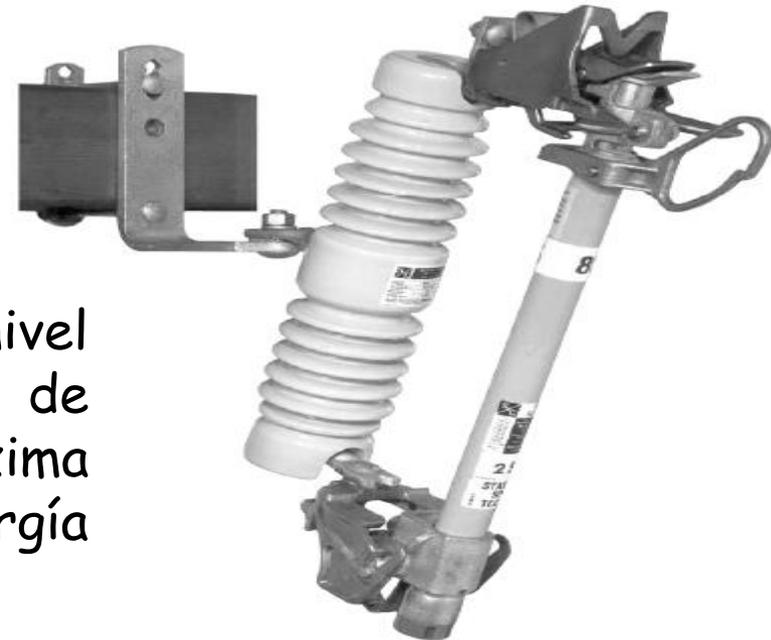


Fusibles de Alta Tensión.

El IEEE Std C37.40-1993 define "Fusibles de alta tensión" como mayores a 1000 V, y los clasifica como fusibles de Potencia y de Distribución. Adicionalmente se pueden clasificar por su uso:

- ✓ Uso exterior.
- ✓ Uso Exterior e Interior.

Un fusible deberá ser seleccionado por nivel de tensión nominal, capacidad nominal de corriente y capacidad interruptiva, máxima corriente pico "*let-through*" y máxima energía térmica librada " I^2t ".





Fusibles de Alta Tensión.

Los fusibles de Distribución y/o Potencia son generalmente usados en cuchillas desconectoras del sistema de distribución. Para interrumpir una corriente de falla se emplea un tubo contenedor de arco relleno con fibra desionizante y un elemento fusible. Debido a la liberación de gases durante el proceso de interrupción, la operación de expulsión es relativamente ruidosa.

Los fusibles de potencia se clasifican como tipo E o R, dependiendo de sus características de fusión.

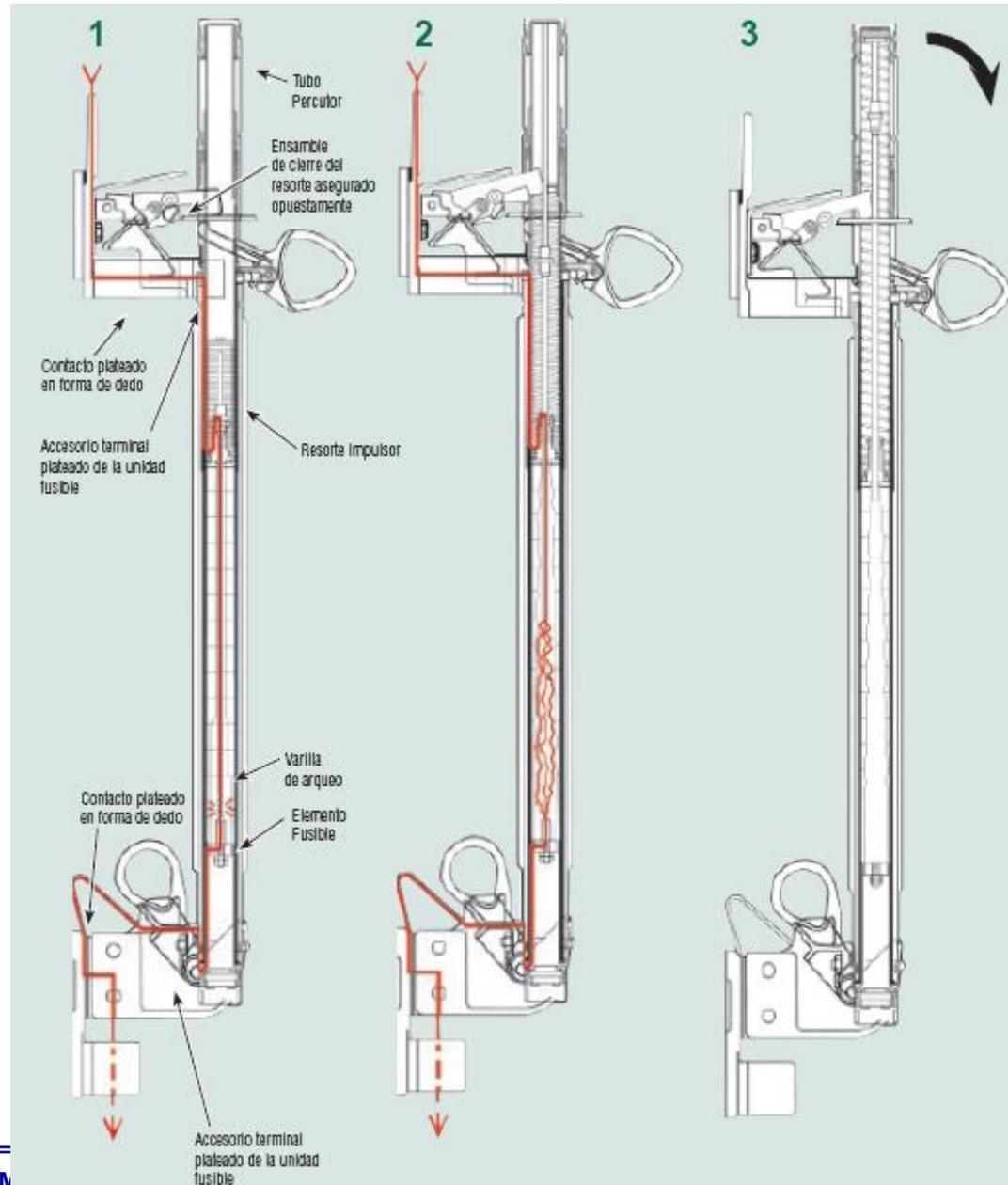


Fusibles de Alta Tensión.

1) La sobrecorriente funde el elemento fusible, después transfiere el cable tensado, el cual se volatiza instantáneamente. El arqueo se inicia como esta ilustrado.

2) La fuerza liberada del resorte impulsor acelera la varilla de arqueo hacia arriba provocando una rápida elongación del arco en el barreno alineado de material sólido de la unidad fusible. Bajo condiciones de falla máximas, el calor del arco confinado, causa que material sólido en una sección de largo diámetro de la cámara extinguidora del arco experimente una reacción térmica, - generando una turbulencia de gases y alargamiento efectivo del diámetro del barreno para que el arco de energía sea liberado con una ligera expulsión. Bajo condiciones de fallas de bajas a moderadas, el arco es extinguido en la sección superior de la cámara extintora donde el pequeño diámetro del barreno concentra efectivamente la desionización de gases para una eficiente extinción del arco.

3) Continuando el viaje hacia arriba de la varilla de arqueo después de la extinción del arco, para impulsar al tubo liberado hacia arriba, por lo tanto dispara el mecanismo del seguro e iniciando una expulsión positiva de la Unidad





Fusibles de Alta Tensión.

Los fusibles de media tensión Clase R están indicados como limitadores de corriente suplementarios para protección de motores de media tensión y control de motores.

Los fusibles de limitación de corriente pueden ser diseñados como clase R si cumplen con los siguientes requerimientos:

- ✓ Que el fusible interrumpa con seguridad todas las corrientes entre su capacidad de interrupción mínima y máxima.
- ✓ Que el fusible se abra en un rango de 15 a 35 segundos en un valor de 100 veces el numero "R" (ANSI C37.46).



Fusibles de Alta Tensión.

Bussmann®

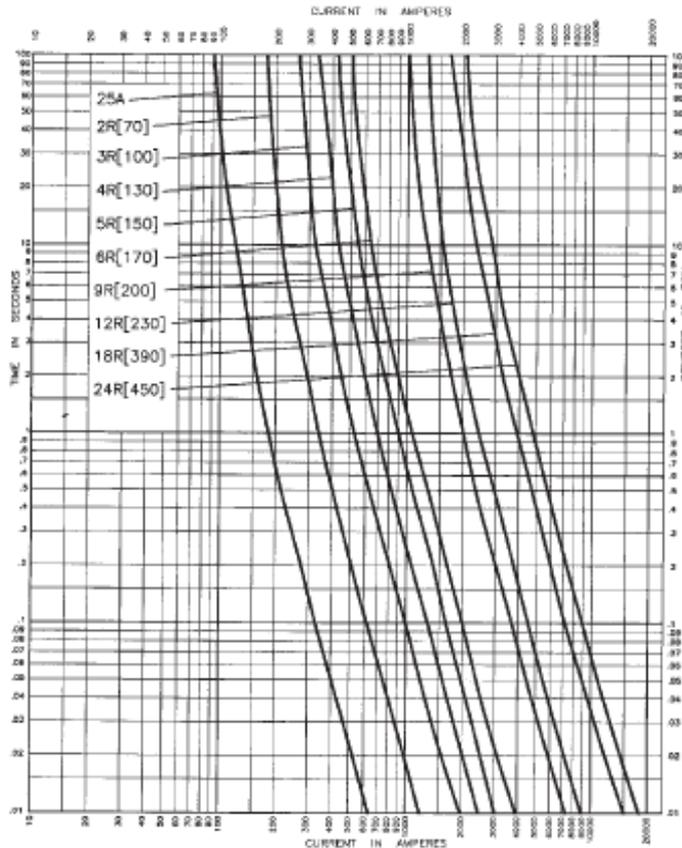
R-Rated Fuses
For Motor Circuit Protection
Medium Voltage

JCK, JCK-A, JCK-B, JCH,
JCL, JCL-A, JCL-B,
JCG, JCR-A, & JCR-B

JCK-B, JCH

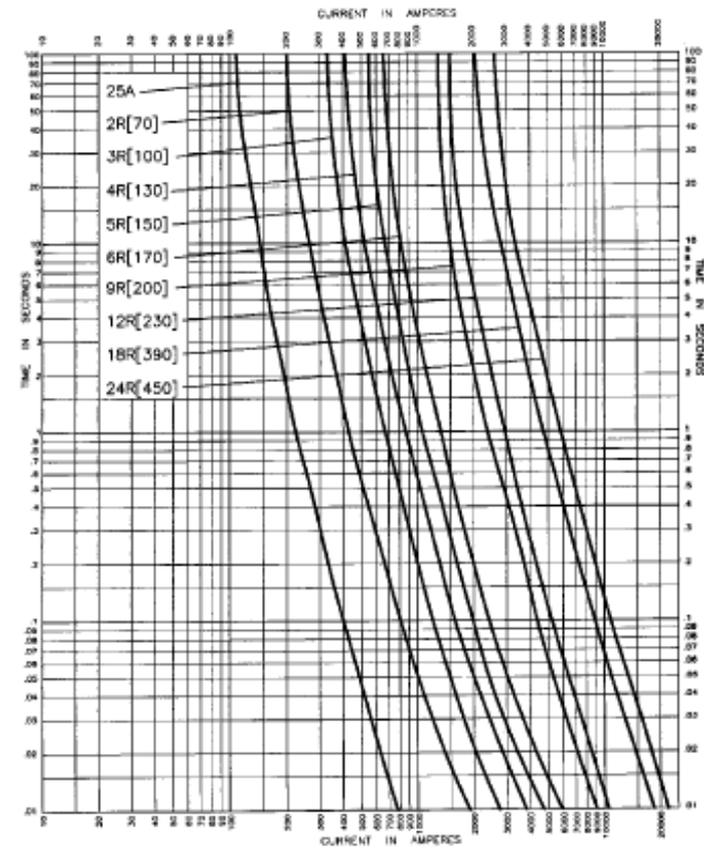
Time-Current Curve: Minimum Melt

50999-1



Time-Current Curve: Total Clearing

50999-2





Fusibles de Alta Tensión.

Los fusibles de media tensión clase-E son fusibles limitadores de corriente de uso general. La Clase E define las características de fusión-tiempo-corriente del fusible y permite la intercambialidad eléctrica del fusible la misma clase E. Para que un fusible de uso general tenga una clasificación E, se deben cumplir con las siguientes condiciones:

- ✓ El elemento de respuesta de corriente debe fundirse en 300 segundos a una corriente RMS dentro del rango de 200% a 240% del valor de corriente continua del fusible.(ANSI C37.46).

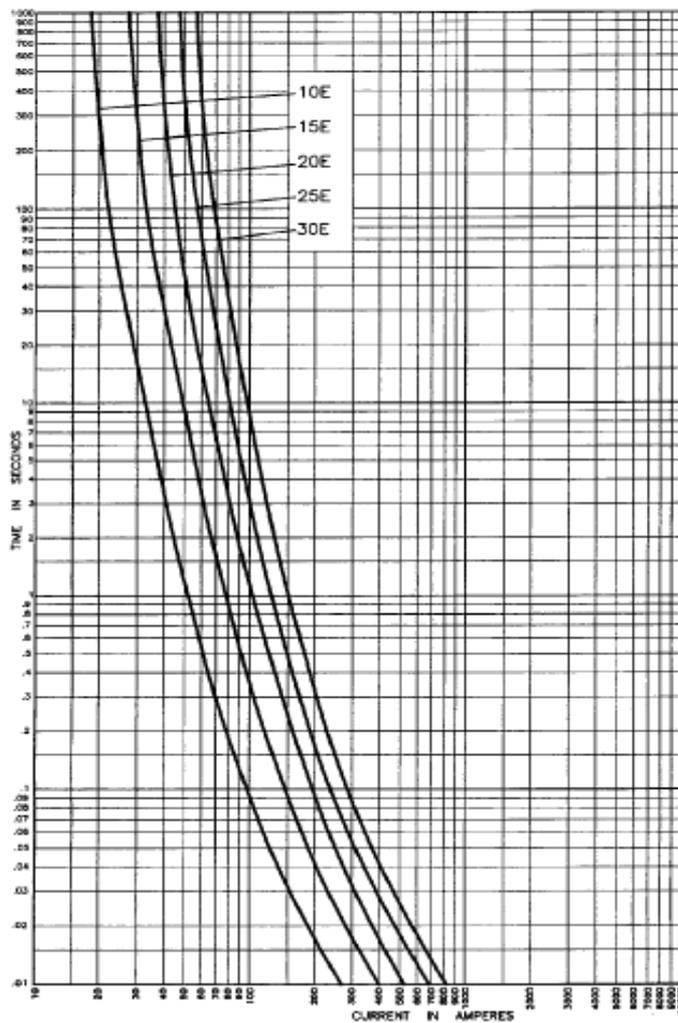


Fusibles de Alta Tensión.

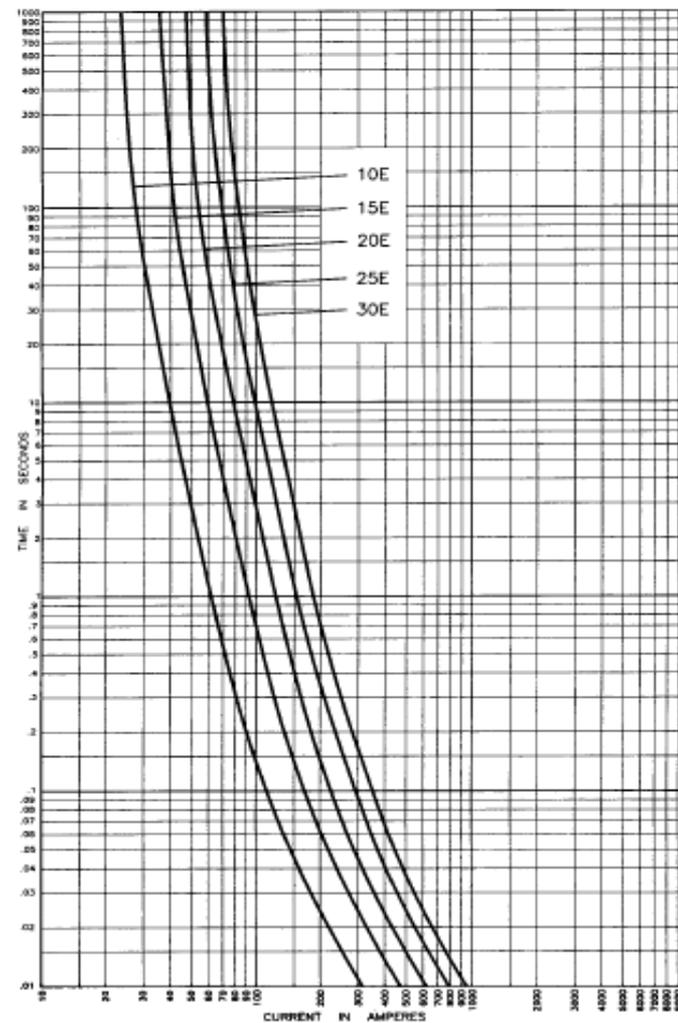
Bussmann®

E-Rated Medium Voltage Fuses: EBI055 & ECL055 For Transformer and Feeder Protection Bolt-In & CL-14 5.5 kV - Time-Current & Peak Let-Through Data

Time-Current Characteristics - Minimum Melt



Time-Current Characteristics - Total Clear





Relevadores.

Un relevador de protección es un dispositivo que se puede energizar por una señal de voltaje, una señal de corriente o ambas. Estas señales las toma de los dispositivos conocidos como "transformadores de instrumento" (TC o TP) los cuales son dispositivos que transforman los valores de tensión y corriente del sistema eléctrico de potencia (en kV o kA), a valores más prácticos para ser manejados por el relevador (por lo general 120V y 5A).

Cuando un relevador opera, puede actuar sobre una señal o bien completar un circuito para disparar un interruptor, el cual a su vez, aísla la sección del sistema que tiene problema. Los relevadores se fabrican en cualquiera de los siguientes tipos básicos:

- ✓ Electromecánicos
- ✓ Estáticos
- ✓ A base de Microprocesadores.



Relevadores.

Su aplicación debe cumplir:

- ✓ **Sensibilidad**. Deben ser suficientemente sensibles como para operar cuando la corriente de falla es mínima.
- ✓ **Selectividad**. Habilidad para reconocer y decidir cuando debe operar un interruptor y minimizar el efecto de falla.
- ✓ **Rapidez**. En condiciones de falla, mientras menor sea la duración de un disturbio, menor es su efecto, y en consecuencia el daño en el equipo.



Relevadores.

El relevador de sobrecorriente constituye uno de los relevadores más simples de los usados en la protección de sistemas eléctricos, como su nombre lo indica, esta diseñado para operar cuando circule una corriente mayor de un valor previamente establecido en alguna parte de la instalación. Este relevador tiene dos formas básicas de diseño: El tipo instantáneo y el tipo con retardo de tiempo.

El relevador de sobrecorriente tipo instantáneo se diseña para operar sin retraso intencional cuando el valor de la corriente excede al valor ajustado del relevador. El rango de tiempo en la operación de este relevador varía en un rango entre 0.016 y 0.10 seg.

Los relevadores de sobrecorriente con retraso de tiempo tienen una característica de operación tal, que el tiempo de operación varía en forma inversa, con la corriente que circula por el relevador. Esta característica se identifica en forma convencional como cuatro tipos de curvas.



Relevadores.

De tiempo definido. Se aplican en donde no existe la necesidad de coordinar con otros dispositivos y en donde la corriente de falla prácticamente no varía entre una condición máxima y mínima, o bien falla local o remota.

De tiempo inverso. En las instalaciones eléctricas en donde los cambios de potencia inyectada o modificaciones en los elementos del circuito (conexión y desconexión de elementos) se presentan variaciones importantes en la corriente de falla, es recomendable la utilización de este tipo.

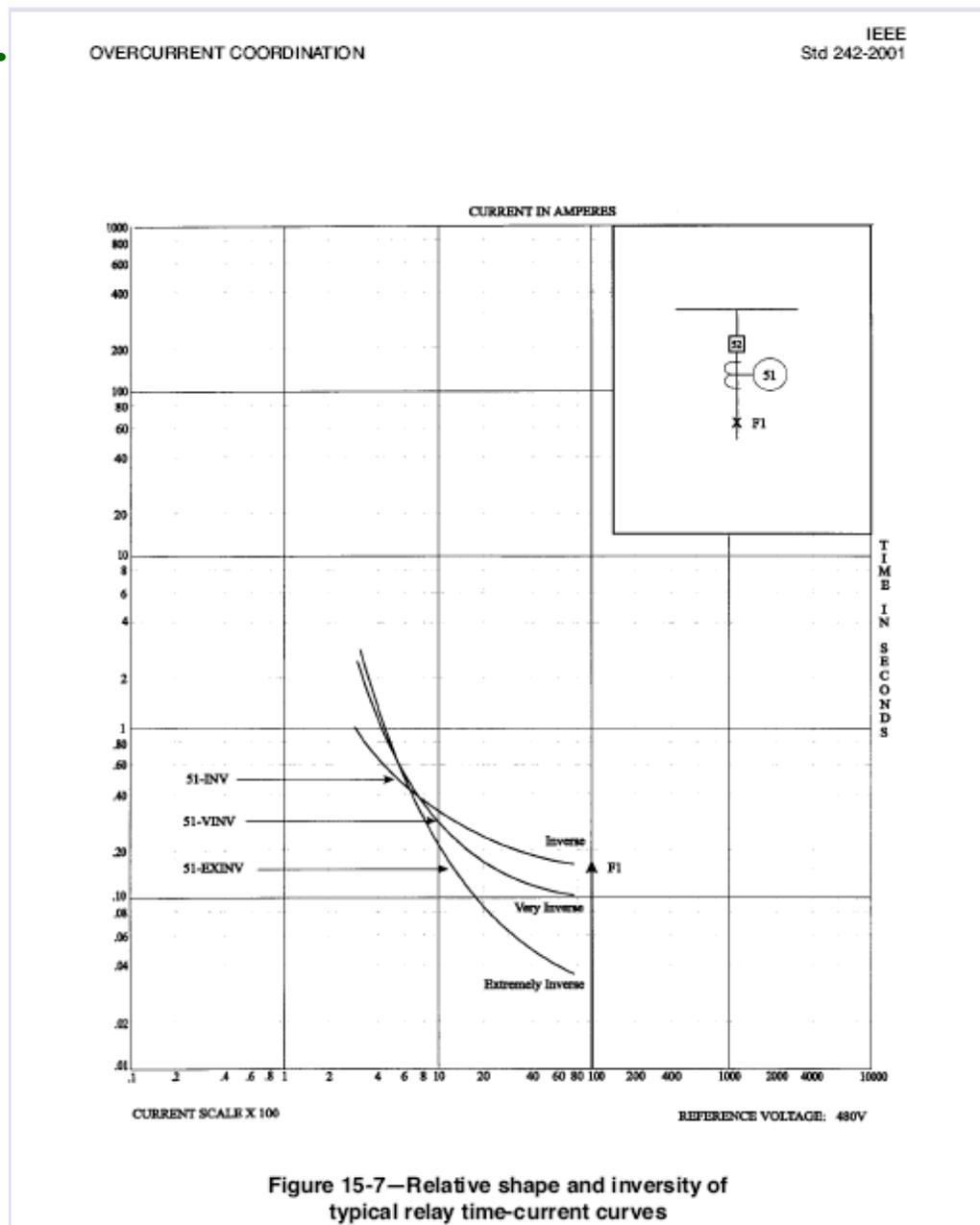
De tiempo muy inverso. En instalaciones en donde para fallas pequeñas, existen variaciones de corriente y el tiempo de interrupción es pequeño, o bien, requiere coordinar con las curvas de fusibles, esta característica resulta adecuada.

De tiempo extremadamente inverso. Esta característica es recomendable en las redes de distribución ya que es la que mejor se coordina con restauradores y fusibles de un mismo circuito.



Relevadores.

Entre más inversa es la curva, tiende a ser más vertical y entre menos inversa tiende a ser mas horizontal.





Relevadores.

Protección de sobrecorriente instantánea (50)

Este tipo de relevador de sobrecorriente no se debe usar en circuitos en donde se encuentren conectados en serie relevadores del mismo tipo y con los cuales se debe de coordinar, a menos que entre ellos se encuentre una impedancia de un valor suficientemente grande como la debida a transformadores o alimentadores que permita limitar la corriente de falla. En los alimentadores principales, debido a las dificultades que presenta coordinar con el mismo tipo de relevador en los ramales es poco usual su aplicación.

Para obtener el ajuste de los relevadores instantáneos se usan los valores de cortocircuito momentáneo que se obtiene de dicho estudio.



Relevadores.

Protección instantánea de falla al neutro (50N)

Para motores grandes y calibres de conductores grandes se usa como alternativa el relevador de falla a tierra en el neutro (50N). Este relevador se debe ajustar sobre cualquier valor "falso" de corriente residual que pueda resultar del comportamiento desigual de los TC's. Un ajuste bajo del Tap del relevador 50N y un burden elevado de los TC's ayudan a reducir la probabilidad de estos errores.



Relevadores.

Protección instantánea de falla a tierra (50G)

Esta protección se usa por lo general como alternativa de la protección de sobrecorriente instantánea de falla a tierra (50N). El relevador 50G se energiza por la corriente de un transformador de corriente tipo ventana a través del cual pasan los tres conductores de alimentación a un motor, proporcionando de esta manera al motor una protección sensible a corrientes de falla a tierra. Debido a que la corriente en las tres fases es balanceada en el primario del transformador de corriente, el relevador opera solo con corrientes de falla a tierra. Este relevador debe tener un ajuste tan bajo como sea posible.



Relevadores.

Continúa **Protección instantánea de falla a tierra (50G)**

En la misma forma en que para la protección de sobrecorriente para las fases se aplican los relevadores de sobrecorriente instantáneos para la protección de fallas a tierra. Donde son aplicables el método preferente es el uso de transformadores de corriente tipo anillo (dona), con los tres conductores de fase del motor pasando a través del TC. Esto proporciona una suma magnética de las tres corrientes de fase, de manera que la salida secundaria al relevador es la corriente de secuencia cero. La relación del TC en forma independiente del tamaño de la carga es 50/5.

La ventaja de esta protección (50G) es su alta sensibilidad con una buena seguridad, pero esta limitada por el tamaño del conductor que puede pasar a través del TC tipo anillo abierto.



Relevadores.

Protección de sobrecorriente con retardo de tiempo (51)

Esta es una de las protecciones más comunes, el mínimo ajuste de estos relevadores en un alimentador con cargas diversas que puede incluir desde luego motores, debe estar arriba de la carga pico que maneja el circuito y que normalmente es el total de la corriente de arranque del motor mayor más la suma de la corriente nominal de los demás circuitos. Esto es válido siempre y cuando los motores no arranquen simultáneamente.

Este tipo de relevadores se usan también para proteger transformadores y en estos casos los ajustes se hacen con el mismo tipo de recomendaciones.



Relevadores.

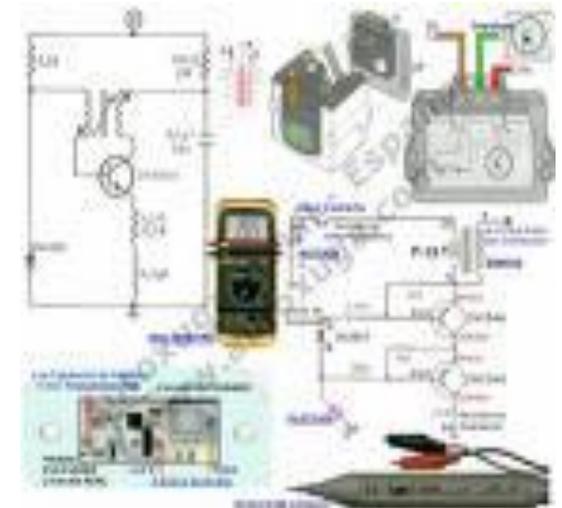
Protección contra sobrecarga (49)

En la protección de motores eléctricos se usan los llamados relevadores térmicos de sobrecarga. En el ajuste de estos relevadores, es conveniente que el motor pueda soportar algunas sobrecargas de una magnitud y con una duración que no lo dañen, por lo que se acostumbra seleccionar una corriente de disparo entre el 115% y el 125% de la corriente a plena carga.

PARTE II

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN Y LÍMITES DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS.

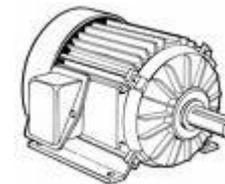
- II.1.-Equipos principales a proteger en una instalación industrial.
- II.2.-Curva de daño de equipos.
- II.3.-Protección de equipos.



II.1. Equipos principales a proteger en una instalación industrial.

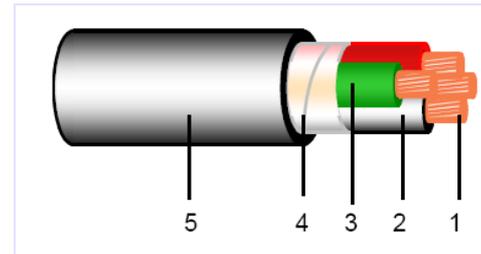
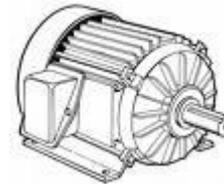
Los principales equipos a proteger en una instalación industrial son:

- ✓ Generadores
- ✓ Motores
- ✓ Transformadores
- ✓ Cables



II.2. Curva de daño de equipos.

- ✓ Motores
- ✓ Transformadores
- ✓ Cables





Motores.

Las características de operación de un motor se describen gráficamente con el *perfil del motor*. Para graficar la curva de operación normal del motor se recomienda utilizar la siguiente regla.

Corriente de magnetización	I_{mag}	$0 \text{ seg} \leq t \leq .1 \text{ seg}$
Corriente a rotor bloqueado	I_{rb}	$0.1 \text{ seg} \leq t \leq 10 \text{ seg}$
Corriente a plena carga	I_{pc}	$10 \text{ seg} < t$

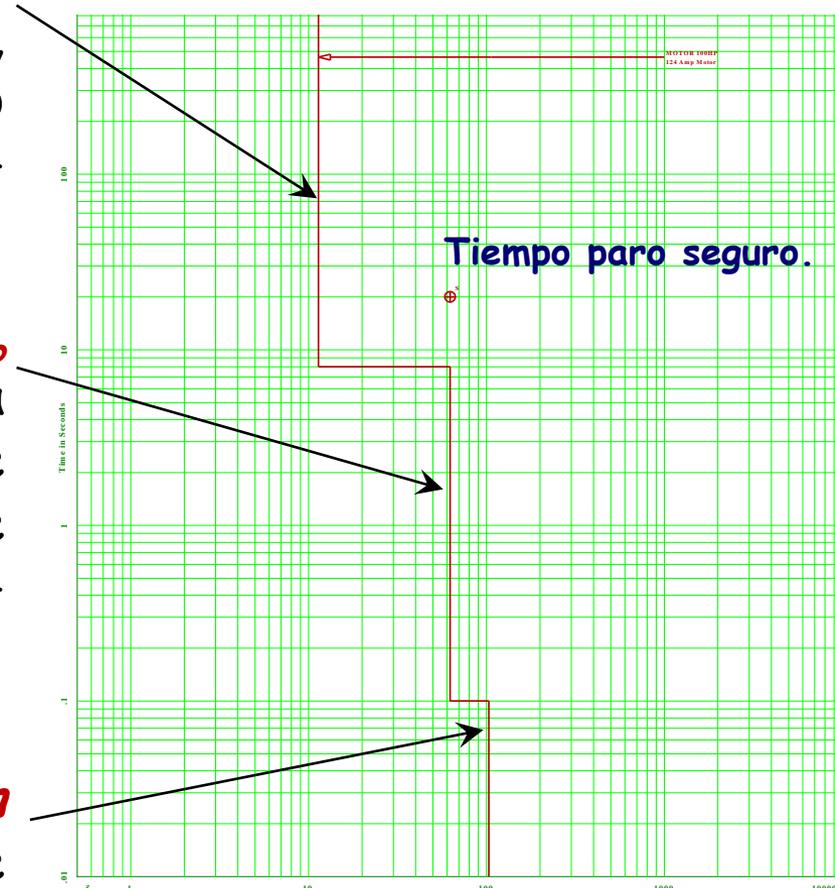


Motores.

La **corriente a plena carga I_{pc}** se obtiene de los datos de placa del motor, o en su defecto utilizar el valor indicado en la Tabla 430-150 de la NOM-001-SEDE.

La **corriente a rotor bloqueado I_{rb}** representa la corriente del motor a velocidad cero. Si se tiene como dato de placa la Letra de Código deberá usarse la siguiente Tabla 430-7(b) de la NOM-001-SEDE.

La **corriente inrush o de magnetización I_{mag}** (máxima corriente de arranque), se considera de 1.65 veces la I_{rb} con un tiempo de duración de hasta 0.1 seg.



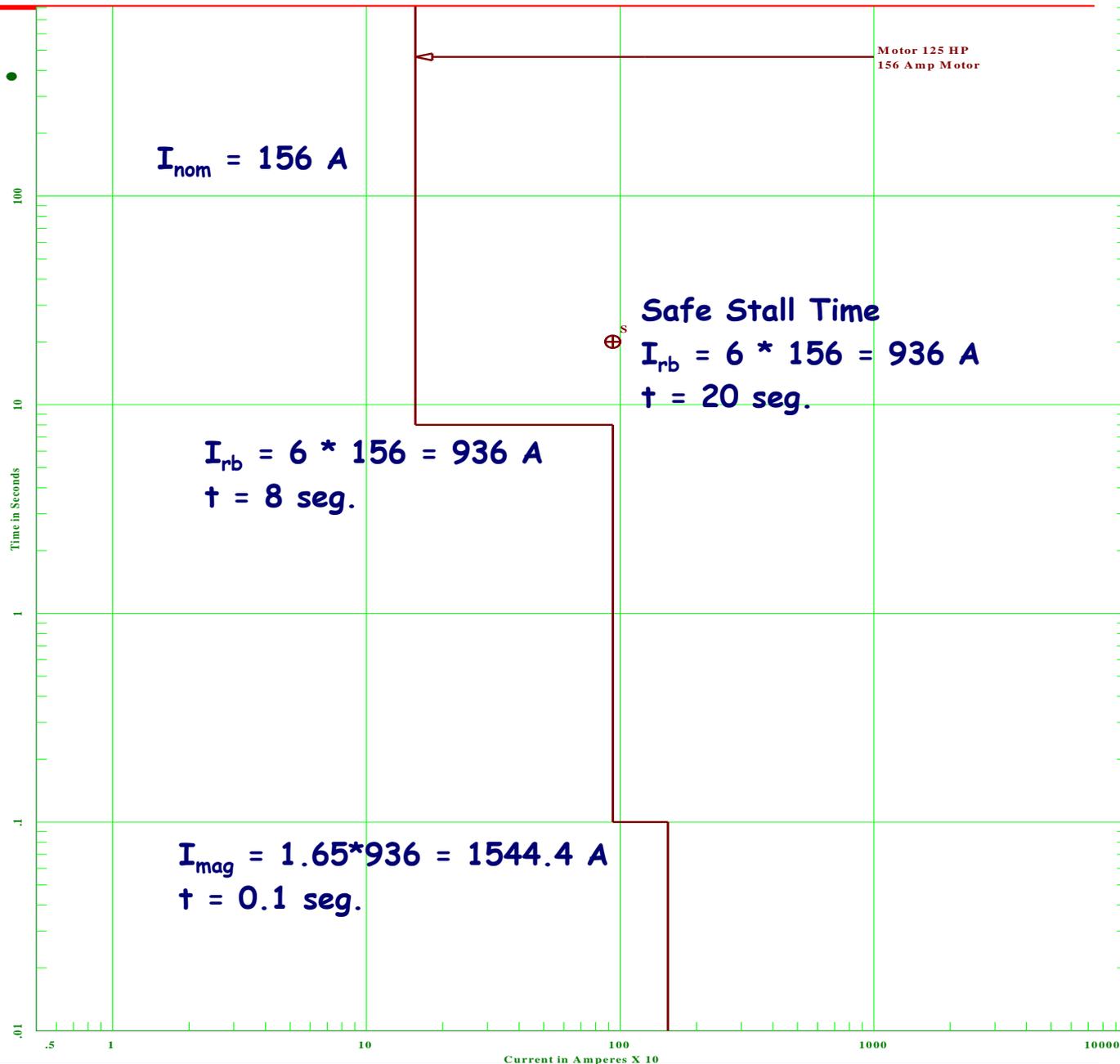


Motores.

Coordinación de Protecciones.

Ejemplo:

Motor: 125 Hp
Vnom: 480 VCA
Letra Cod.= G

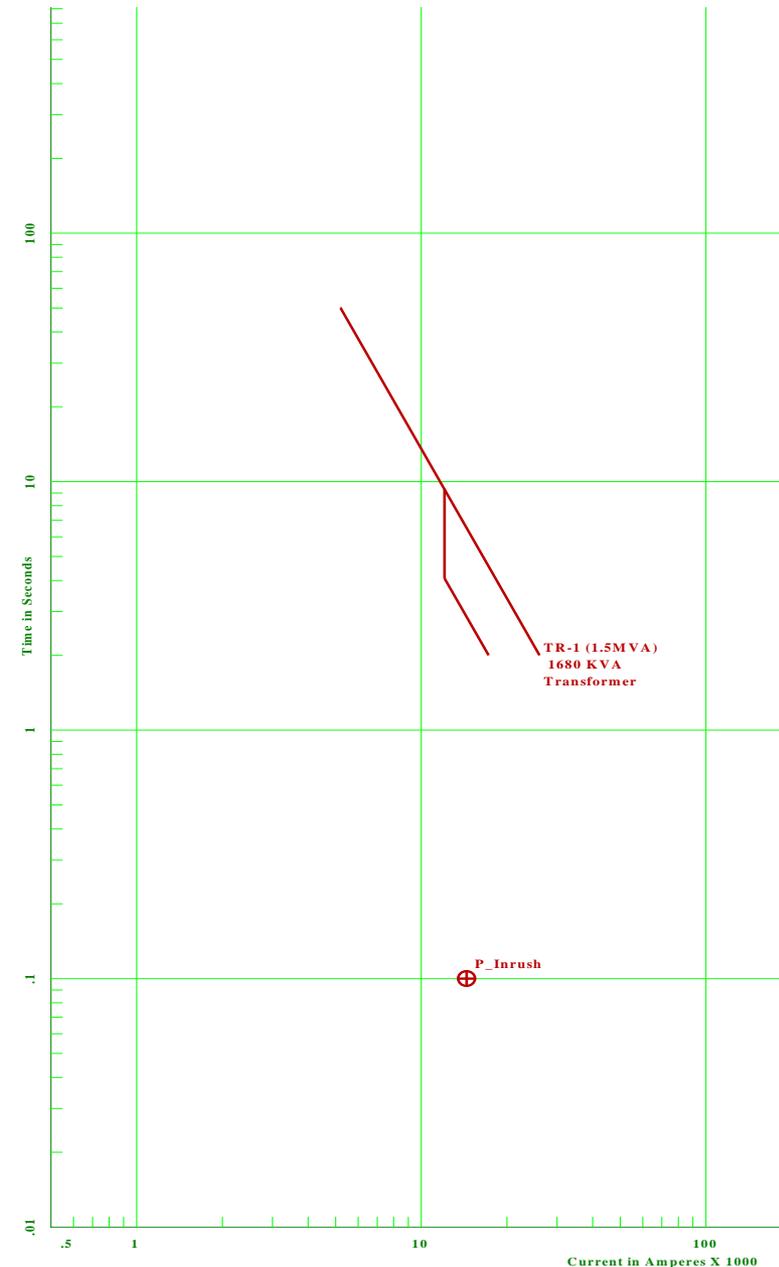




Transformadores.

Para encontrar los límites de protección, es necesario graficar las condiciones normales de operación y las de daño del transformador.

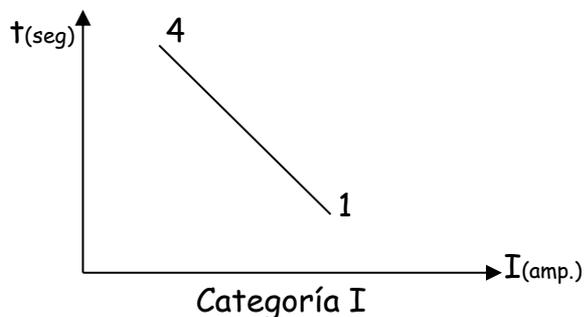
Entre las condiciones normales de operación se mencionan las corrientes a plena carga y la corriente de magnetización (inrush), varían dependiendo del diseño del transformador. Usualmente se considera de 8 a 12 veces la corriente a plena carga en un tiempo de 0.1 s.





Transformadores.

Calculo de Puntos para Curva de Daño de Transformadores.



Punto (1) a 2 seg.

$$(I_{\text{nom}}/Z_{\text{T}}) \times K_2$$

Z_{T} = Impedancia del Transf.

K_2 = Factor ANSI (Conexión Transf.)

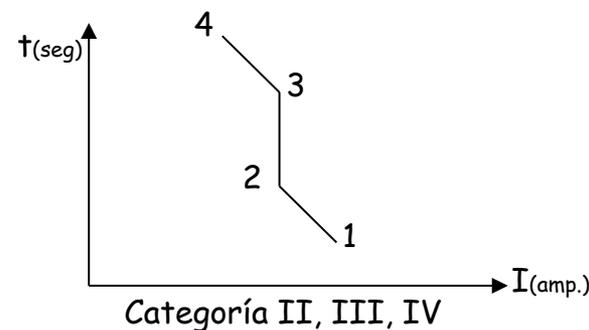
Punto (4) a 50 seg.

$$I_{\text{nom}} \times K_1 \times K_2$$

K_1 = Fact. Mult. Para 50 seg

(Tabla 2, IEEE STD C.57-109)

K_2 = Factor ANSI (Conexión Transf.)



Punto (2) a 4 seg.

$$(0.7 I_{\text{nom}}/Z_{\text{T}}) \times K_2$$

Z_{T} = Impedancia del Transf.

K_2 = Factor ANSI (Conexión Transf.)

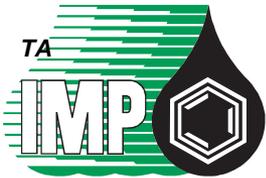
Punto (3)

$$t = 2551 (Z_{\text{T}})^2$$

$$(0.7 I_{\text{nom}}/Z_{\text{T}}) \times K_2$$

Z_{T} = Impedancia del Transf.

K_2 = Factor ANSI (Conexión Transf.)



Transformadores.

Capacidad a plena carga KVA	Múltiplo de corriente
KVA < 1500	8
1500 < KVA < 3750	10
3750 < KVA	12

MULTIPLoS DE CORRIENTE PARA TRANSFORMADORES (PUNTO INRUSH).

Tipo	Capacidad KVA	Enfriamiento		Temperatura		
		Tipo	Factor	Elevación	Factor	
Seco	≥ 2500	AA	1.00	150 °C	1.00	
		FA	1.30			
Líquido en centro de carga	≤ 2500	OA	1.00	55/65 °C	1.12	
	< 500	FA	1.00	65 °C	1.00	
				55/65 °C	1.12	
	> 500	FA	1.15	65 °C	1.00	
	≤ 2500	FA	1.15	55/65 °C	1.12	
	> 2000			65 °C	1.00	
≤ 2500	OA	1.00	55/65 °C	1.12		
Líquido en subestación primaria			65 °C	1.00		
			FA	1.33	55 °C	1.00
			FOA	1.00	55/65 °C	1.12
	55 °C	1.00				
			55/65 °C	1.12		

FACTORES DE SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES.



Transformadores.

Las condiciones de daño del transformador se condensan en la curva ANSI. Esta curva representa el límite máximo de protección del transformador y establece las características que deben cumplir los devanados para soportar, sin resultar dañados, los esfuerzos térmicos y magnéticos causados por un corto circuito en sus terminales, considerando períodos definidos. Esta curva, está determinada por la capacidad, impedancia y conexión de los devanados del transformador, además influye la impedancia equivalente del sistema y la probabilidad de incidencia de falla.

Categoría	KVA Nominales	
	Una Fase	Tres Fases
I	500	500
II	1667	5000
III	10000	30000
IV	Mas de 10000	Mas de 30000

CURVA DE DAÑO DE TRASFORMADORES (ANSI) (STD-IEEE-242-2001 CAP 11 PAG 420.)



Transformadores.

Conexión del Transformador	Factor ANSI
DELTA - DELTA	0.87
DELTA - ESTRELLA ATERRIZADA	0.58
DELTA - ESTRELLA SIN ATERRIZAR	1.0
ESTRELLA ATERRIZADA - ESTRELLA SIN ATERRIZAR	1.0
ESTRELLA ATERRIZADA - ESTRELLA ATERRIZADA	1.0
ESTRELLA SIN ATERRIZAR - ESTRELLA SIN ATERRIZAR	0.87
ESTRELLA SIN ATERRIZAR - ESTRELLA ATERRIZADA	1.0
ESTRELLA ATERRIZADA - DELTA	1.0
ESTRELLA SIN ATERRIZAR - DELTA	1.0

FACTOR ANSI



Transformadores.

Table 2—Transformer short-time thermal load capability

Time	Times rated current
2 s	25.0
10 s	11.3
30 s	6.3
60 s	4.75
5 min	3.0
30 min	2.0



Transformadores.

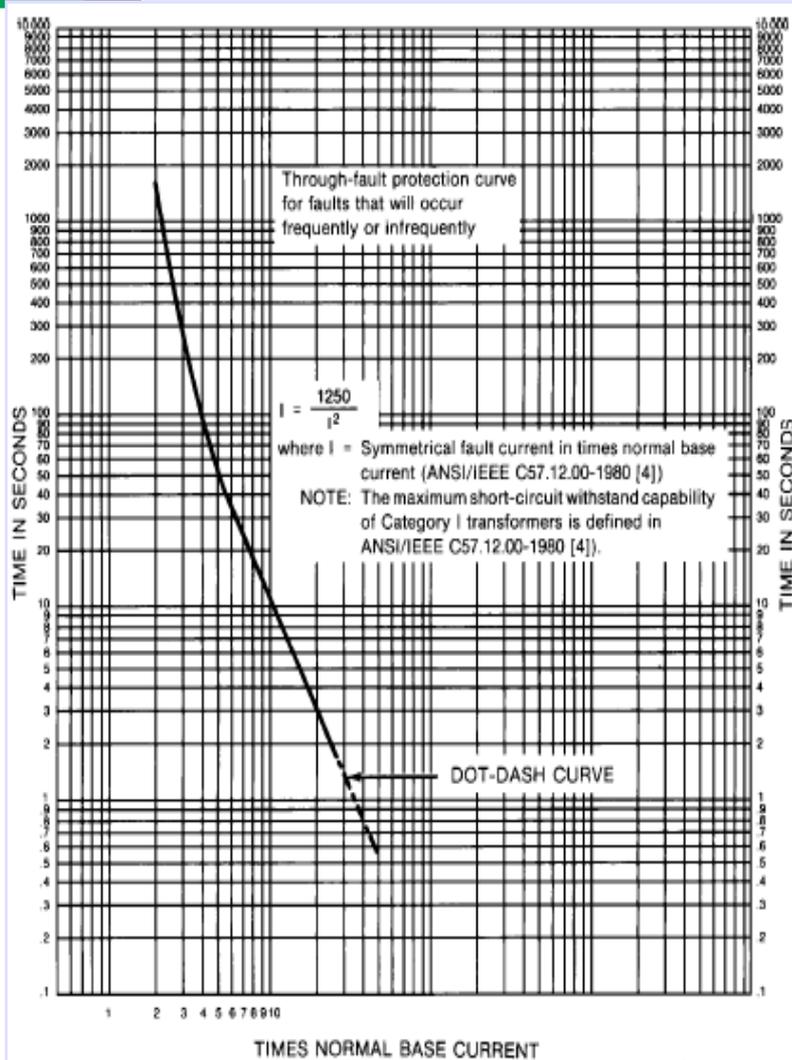


Figure 11-19—Through-fault protection curve for liquid-immersed Category I transformers (5–500 kVA single-phase, 15–500 kVA three-phase)

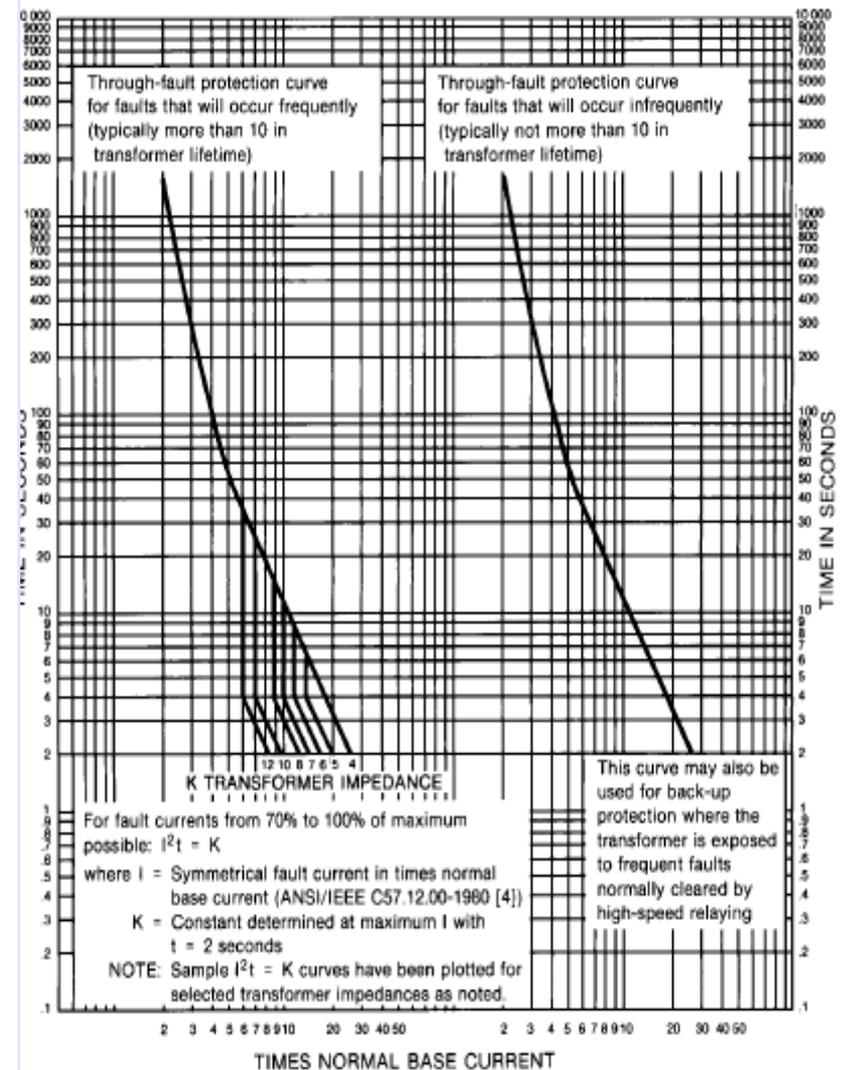


Figure 11-20—Through-fault protection curves for liquid-immersed Category II transformers (501–1667 kVA single-phase, 501–5000 kVA three-phase)

Transformadores.

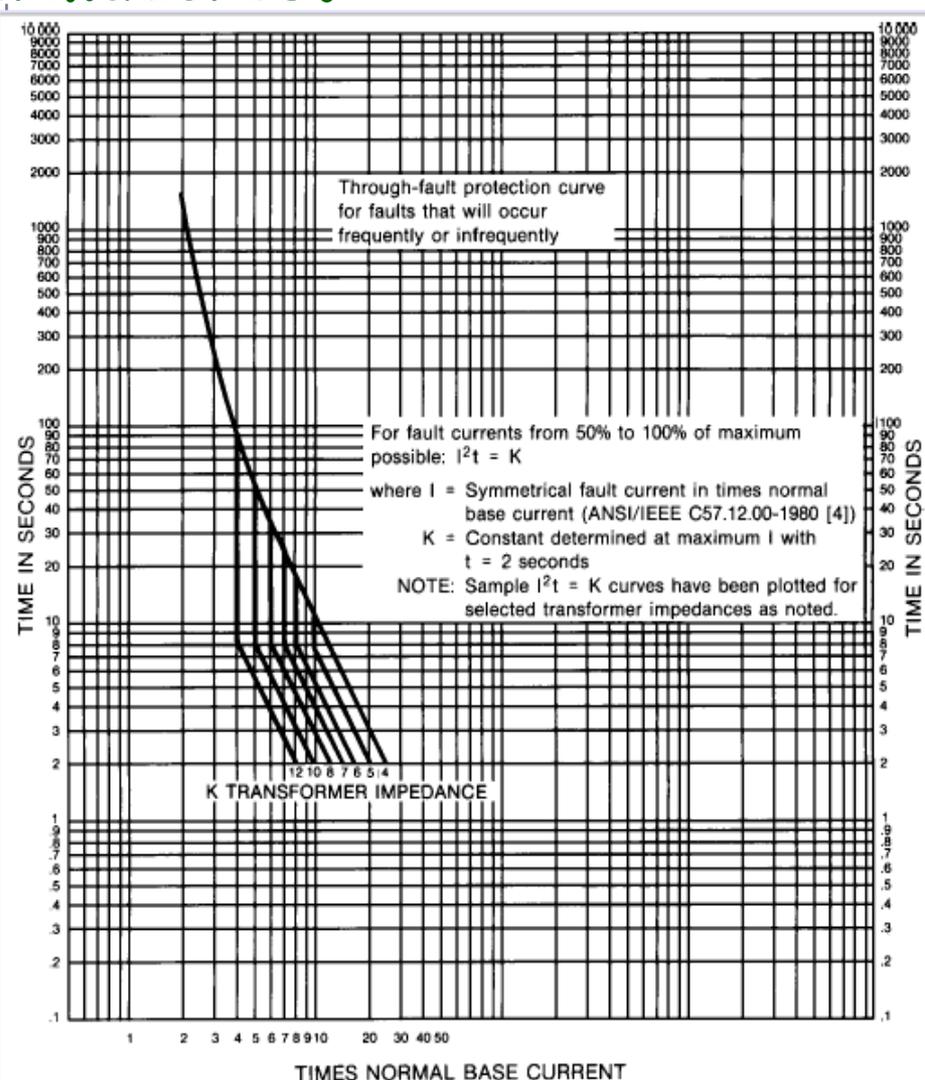
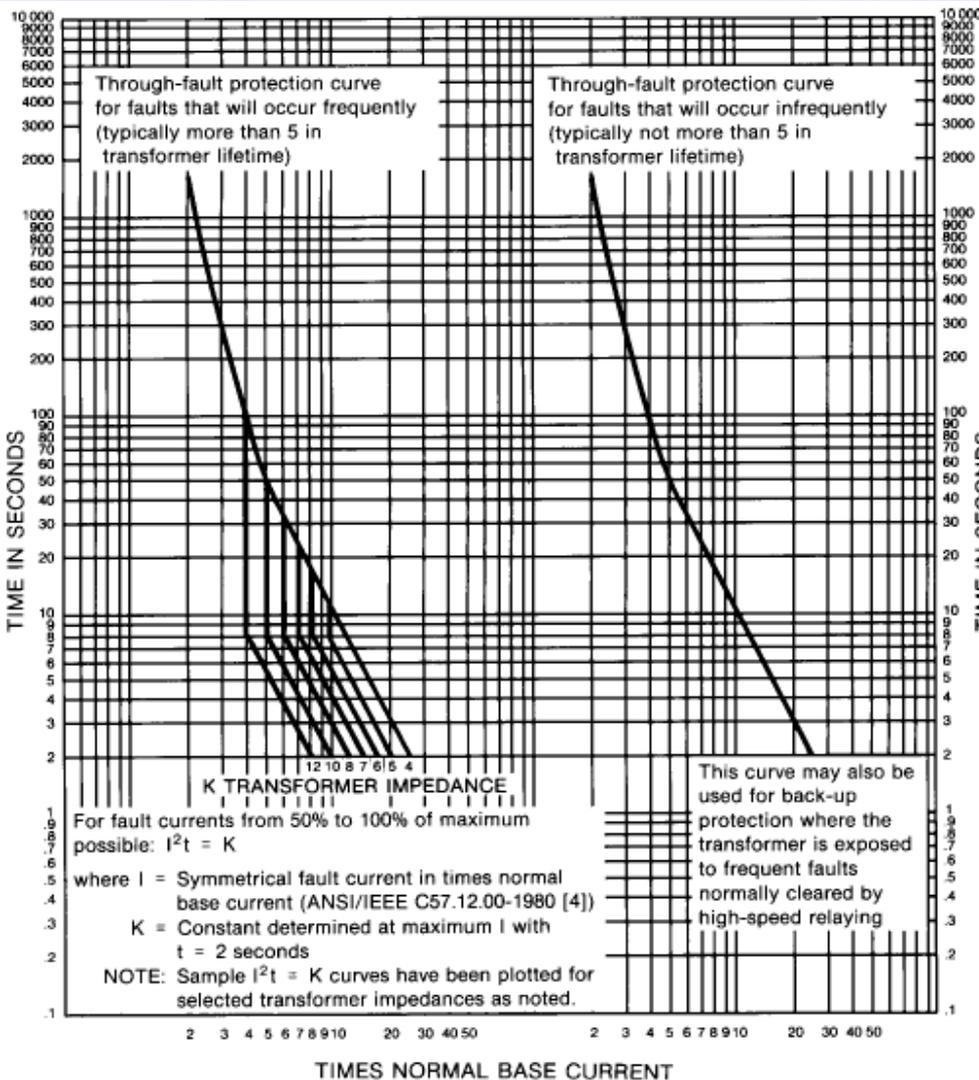


Figure 11-21 – Through-fault protection curves for liquid-immersed Category III transformers

(1668–10 000 kVA single-phase, 5001–30 000 kVA three-phase)

Figure 11-22 – Through-fault protection curve for liquid-immersed Category IV transformers

(above 10 000 kVA single-phase, above 30 000 kVA three-phase)



Transformadores

Ejemplo:

TR-01 1500 KVA

13.8 - 0.48 KV

$Z_t = 6.04\%$ (OA)

$I_{nom} = 1500 / (0.48 * 1.732) = 1804.3A$

$K_1 = 5$ para 50 seg.

$K_2 = 0.58$

Punto (1): en 2 seg.

$$\frac{1804.3 * 0.58}{0.0604} = 17325 A$$

Punto (2): en 4 seg.

$$\frac{0.7 * 1804 * 0.58}{0.0604} = 12128 A$$

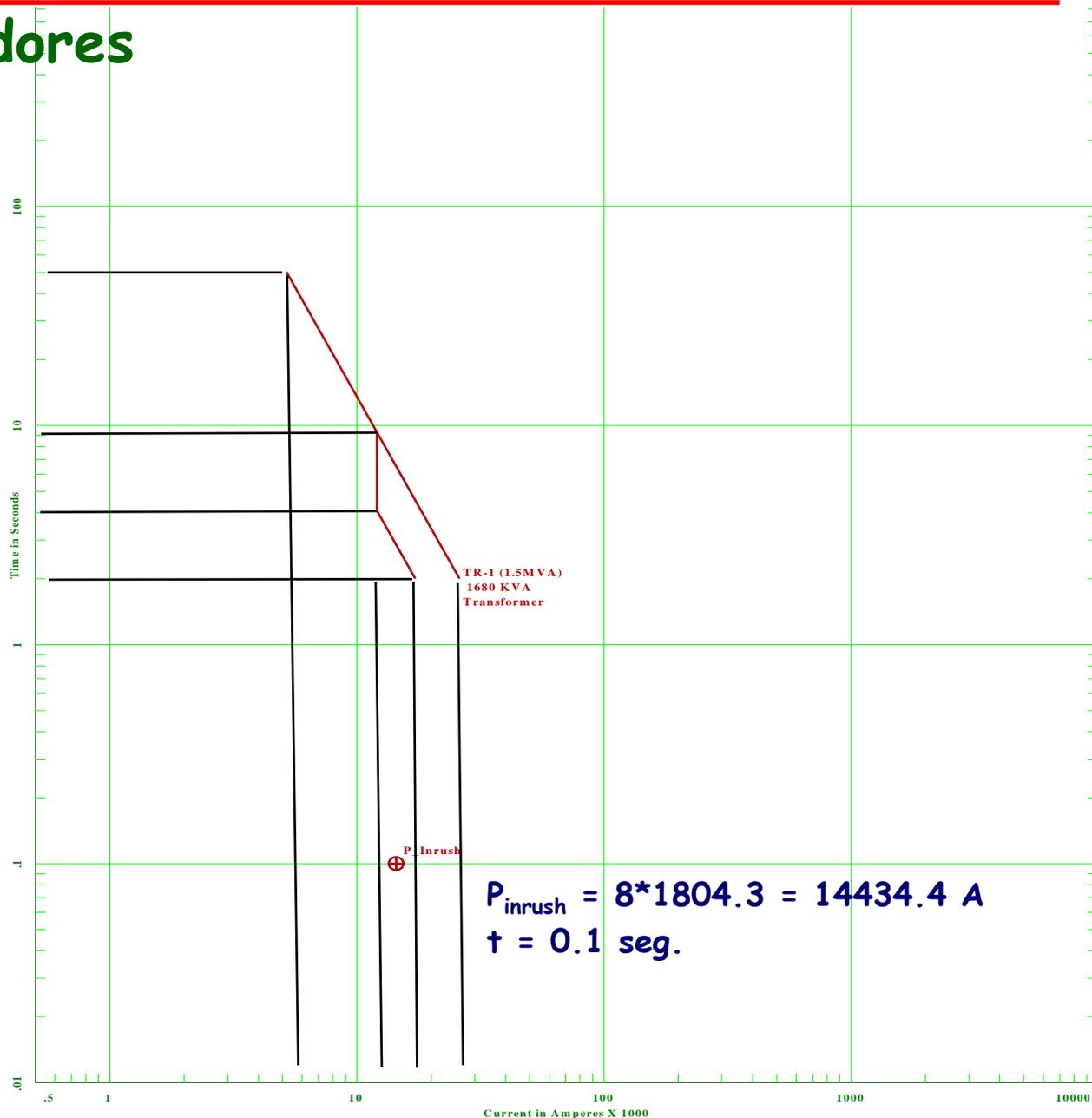
Punto (3):

$$\frac{0.7 * 1804.3 * 0.58}{0.0604} = 12128 A$$

$$t = 2551 * 0.0604^2 = 9.3 \text{ seg}$$

Punto (4): en 50 seg.

$$1804 * 5 * 0.58 = 5232A$$





Cables.

Coordinación de Protecciones.

Conductor: Cobre

Aislamiento: Termoplastico.

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 t = 0.297 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$$

Donde:

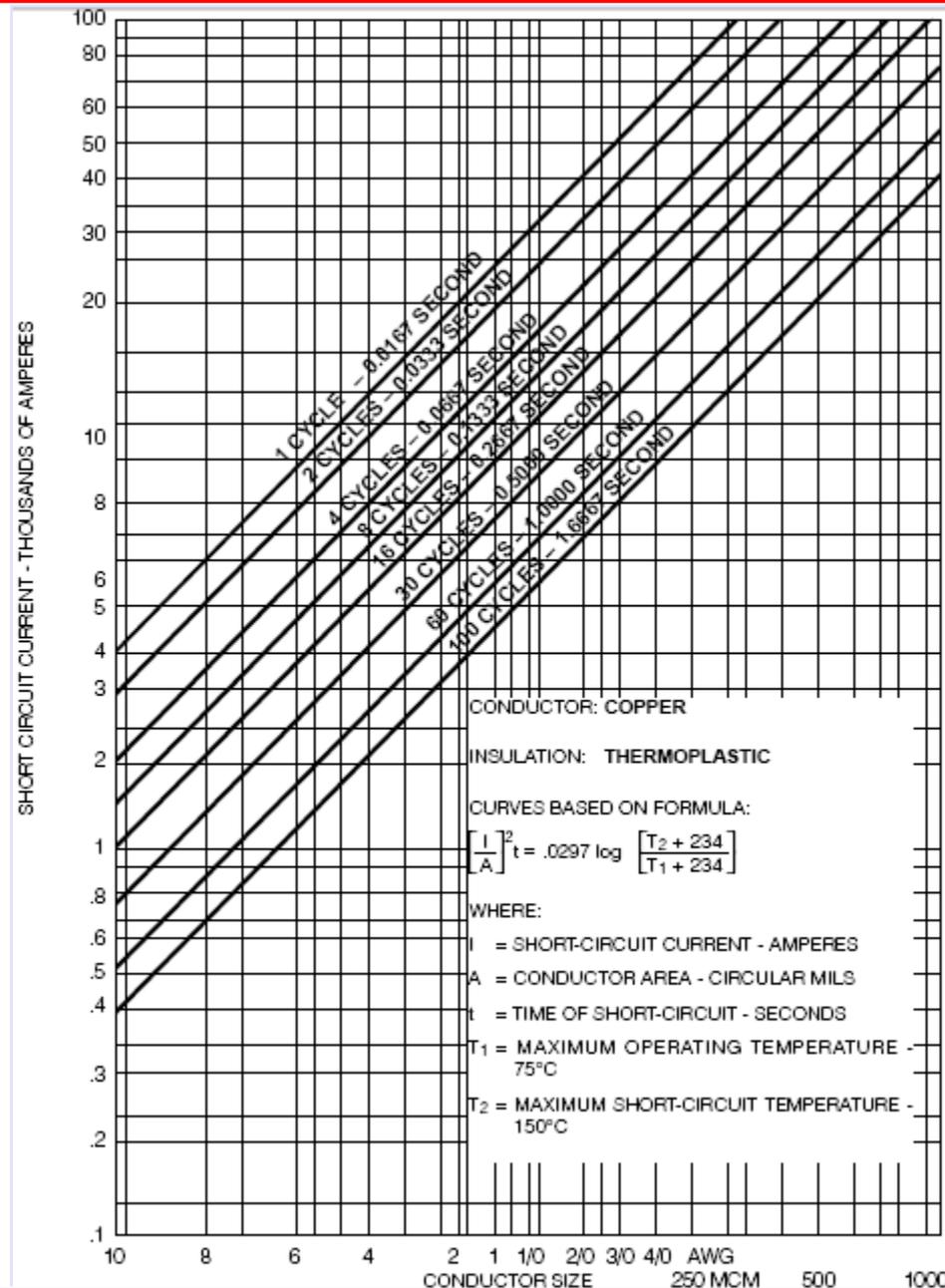
I = Corriente de Corto Circuito en A.

A = Area del Conductor en CM.

t = Tiempo de duración del CC en seg.

T₁ = Temp. máxima de operación (75°C).

T₂ = Temp. máxima de CC (150°C).





Cables.

Conductor: Cobre

Aislamiento: Polipropileno de Cadena Cruzada y/o EP.

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 t = 0.297 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$$

Donde:

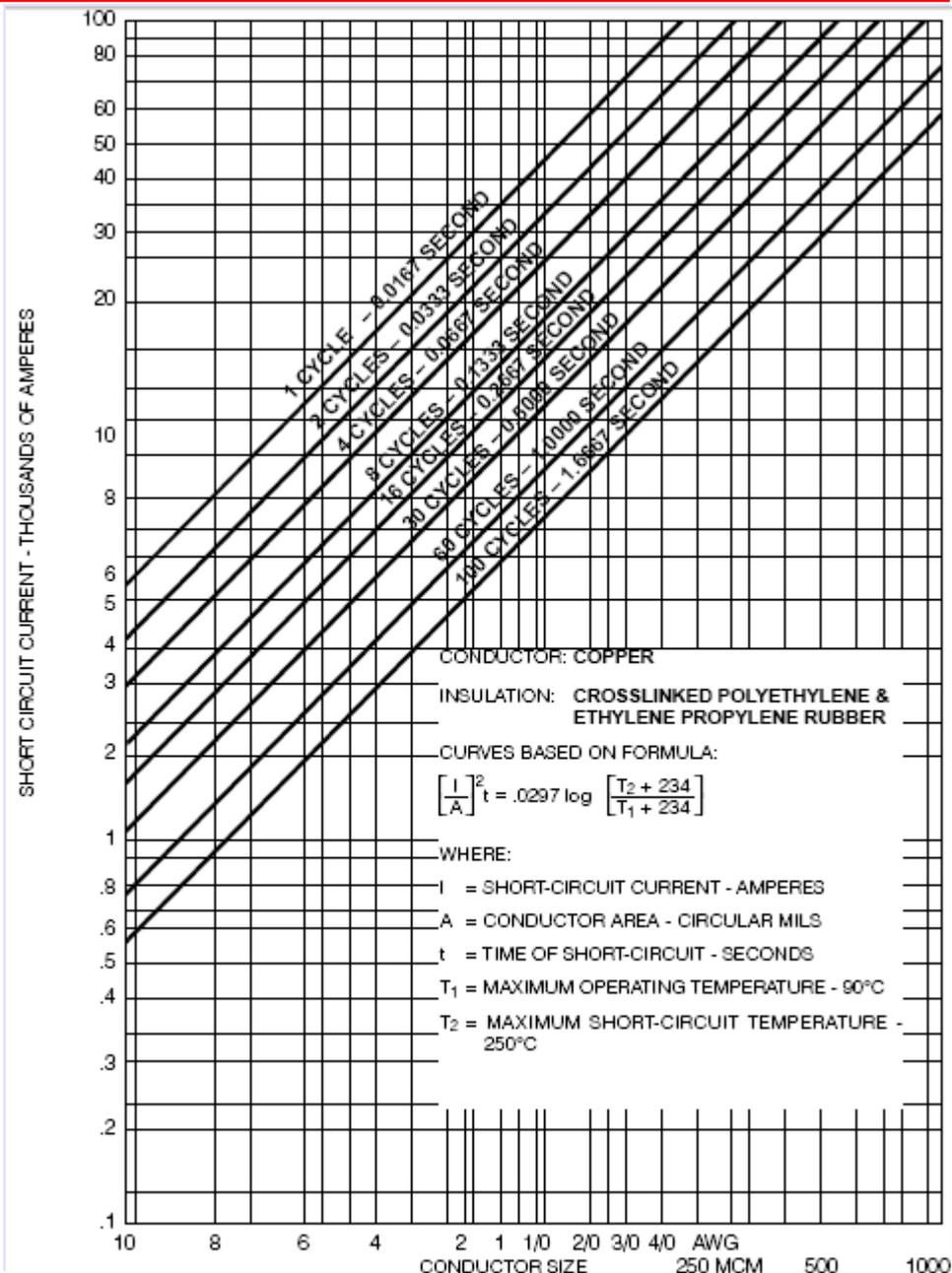
I = Corriente de Corto Circuito en A.

A = Area del Conductor en CM.

t = Tiempo de duración del CC en seg.

T₁ = Temp. máxima de operación (90°C).

T₂ = Temp. máxima de CC (250°C).





Cables.

Ejemplo:

Conductor= 4/0 AWG
211167.4 CM

Aislamiento= EP

$T_1 = 90^\circ\text{C}$

$T_2 = 250^\circ\text{C}$.

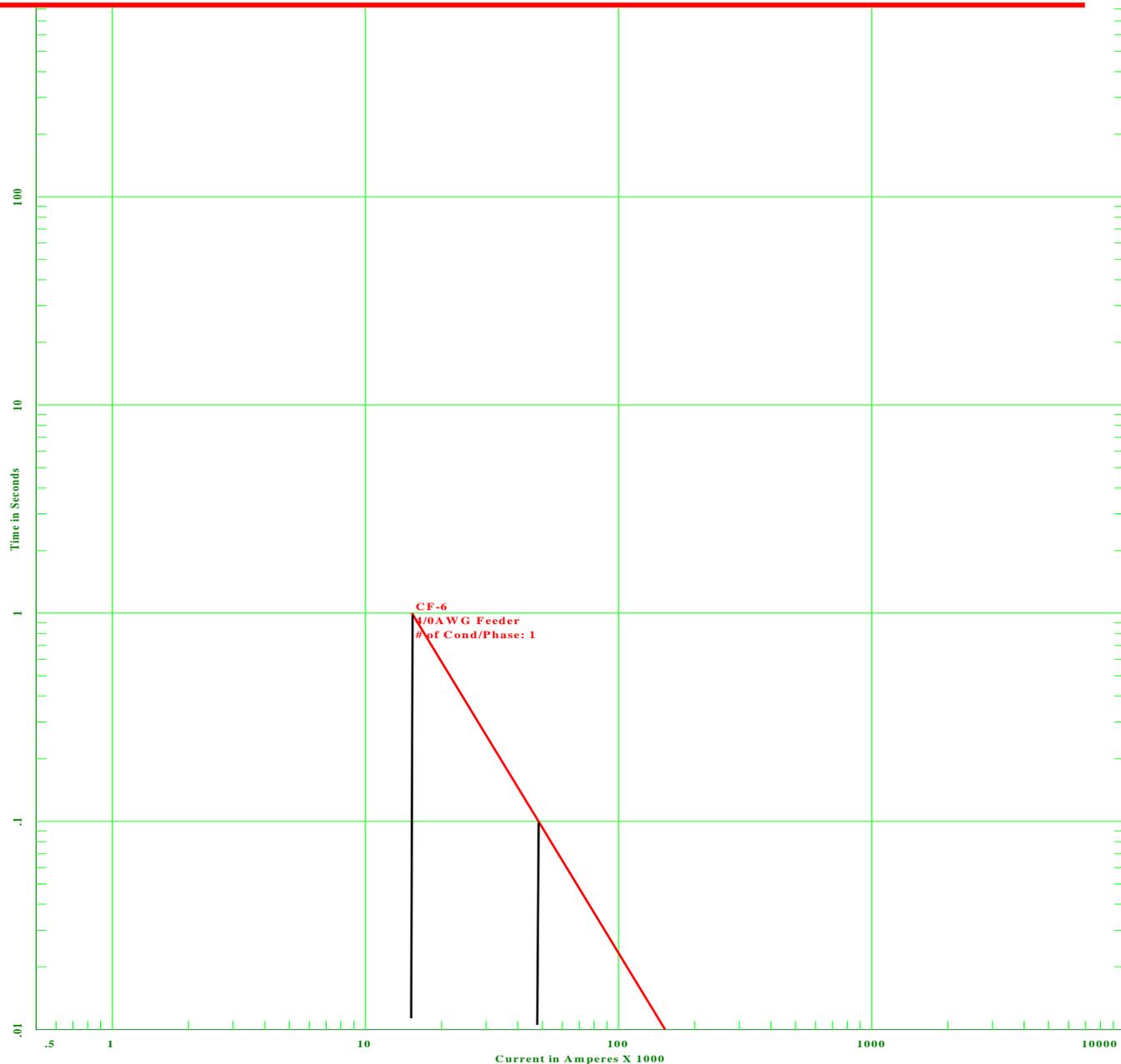
Sustituyendo en ecuación,
tenemos:

Para:

$t = 0.01 \text{ seg.}$ $I_{cc} = 151933 \text{ A}$

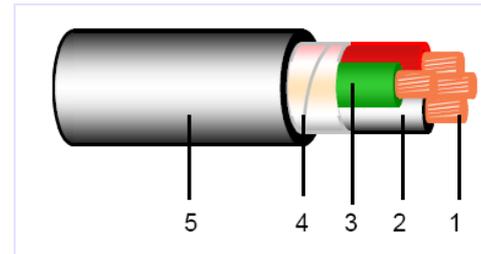
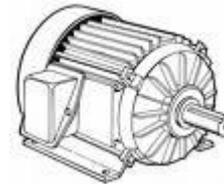
$t = 0.1 \text{ seg.}$ $I_{cc} = 48045 \text{ A}$

$t = 1 \text{ seg.}$ $I_{cc} = 15193 \text{ A}$



II.3. Protección de equipos.

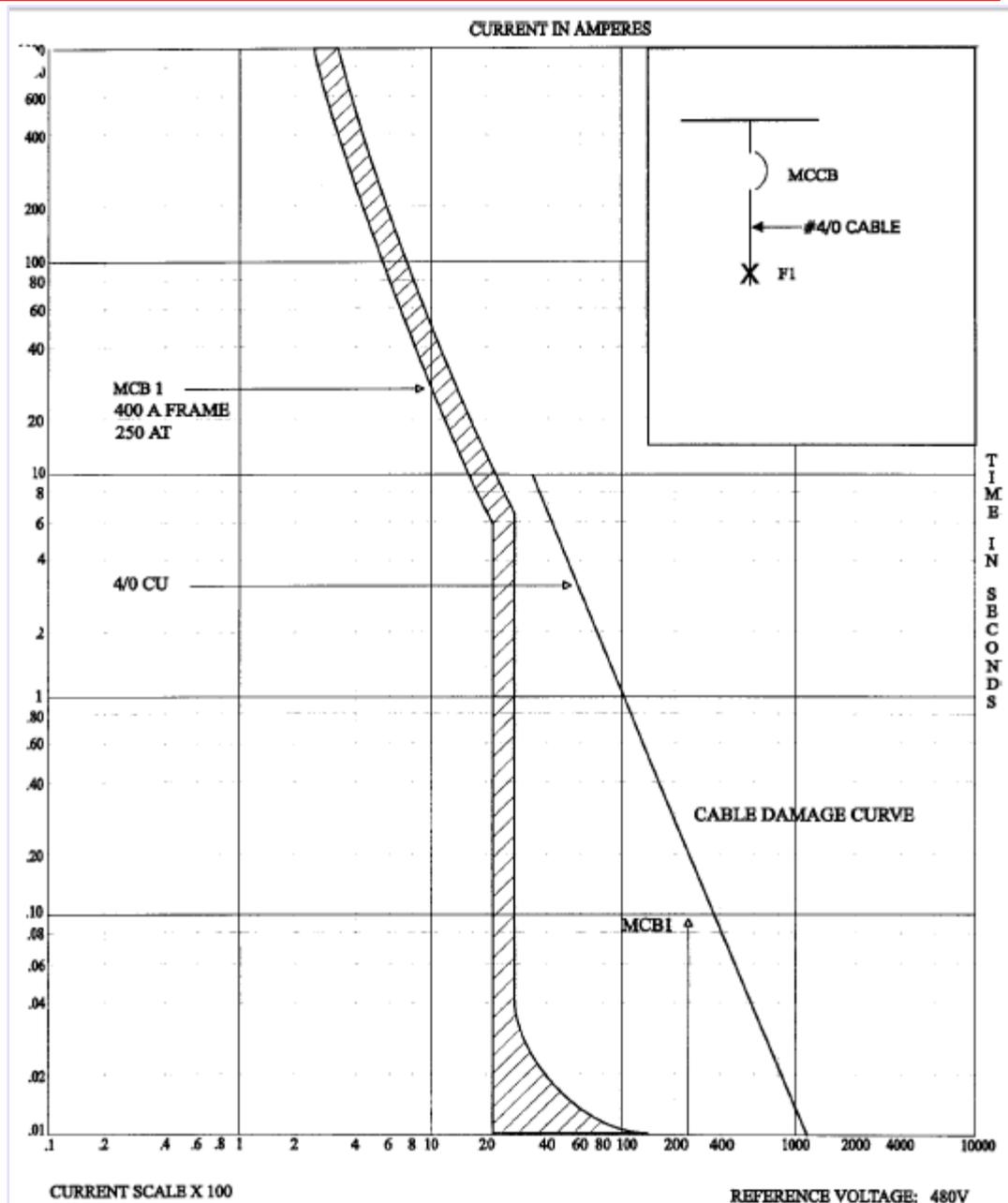
- ✓ Cables
- ✓ Generadores
- ✓ Motores
- ✓ Transformadores





Cables.

Las sobrecorrientes o sobrecargas originan calentamientos (I^2R) en conductores y pueden disminuir la vida del aislamiento del cable y causar fallas. Los conductores son normalmente protegidos por dispositivos de sobrecorriente, con los disparos basados en la ampacidad del cable. La NOM-001-SEDE proporciona reglas para la protección de conductores. Estas reglas generalmente se basan "long-time-pickup" y la corriente nominal (o ampacidad) del conductor.





Generadores.

Los Generadores son complejos y requieren una variedad mayor de dispositivos de protección. El uso de relevadores convencionales no es práctico, porque la corriente de corto circuito disponible desde un generador decrece a medida que pasa el tiempo. El ajuste de disparo de los relevadores debería ser lo suficientemente bajo para disparar en respuesta a la contribución mínima del generador, pero no debería disparar innecesariamente debido a sobrecargas normales. Para este tipo de situaciones se utiliza un relevador de sobrecorriente de voltaje-restringido o voltaje-controlado (51V). Este dispositivo diferencia entre fallas del sistema y fallas del generador.

Los esquemas de protección de generadores se dividen de acuerdo a su tamaño:

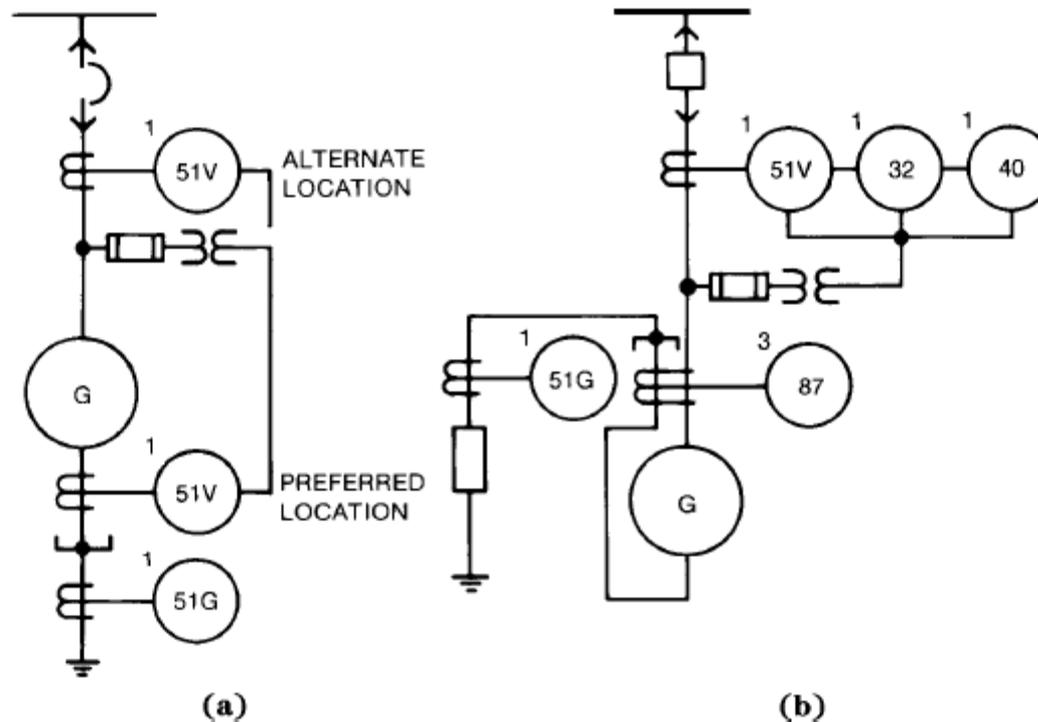
- a) Pequeños.- Máximo 1 MVA, menor a 600 VCA.
- b) Medianos.- Desde los tamaños pequeños hasta 12.5 MVA.
- c) Grandes.- Desde los tamaños medianos hasta 50 MVA aproximadamente.



Generadores.

IEEE
Std 242-2001

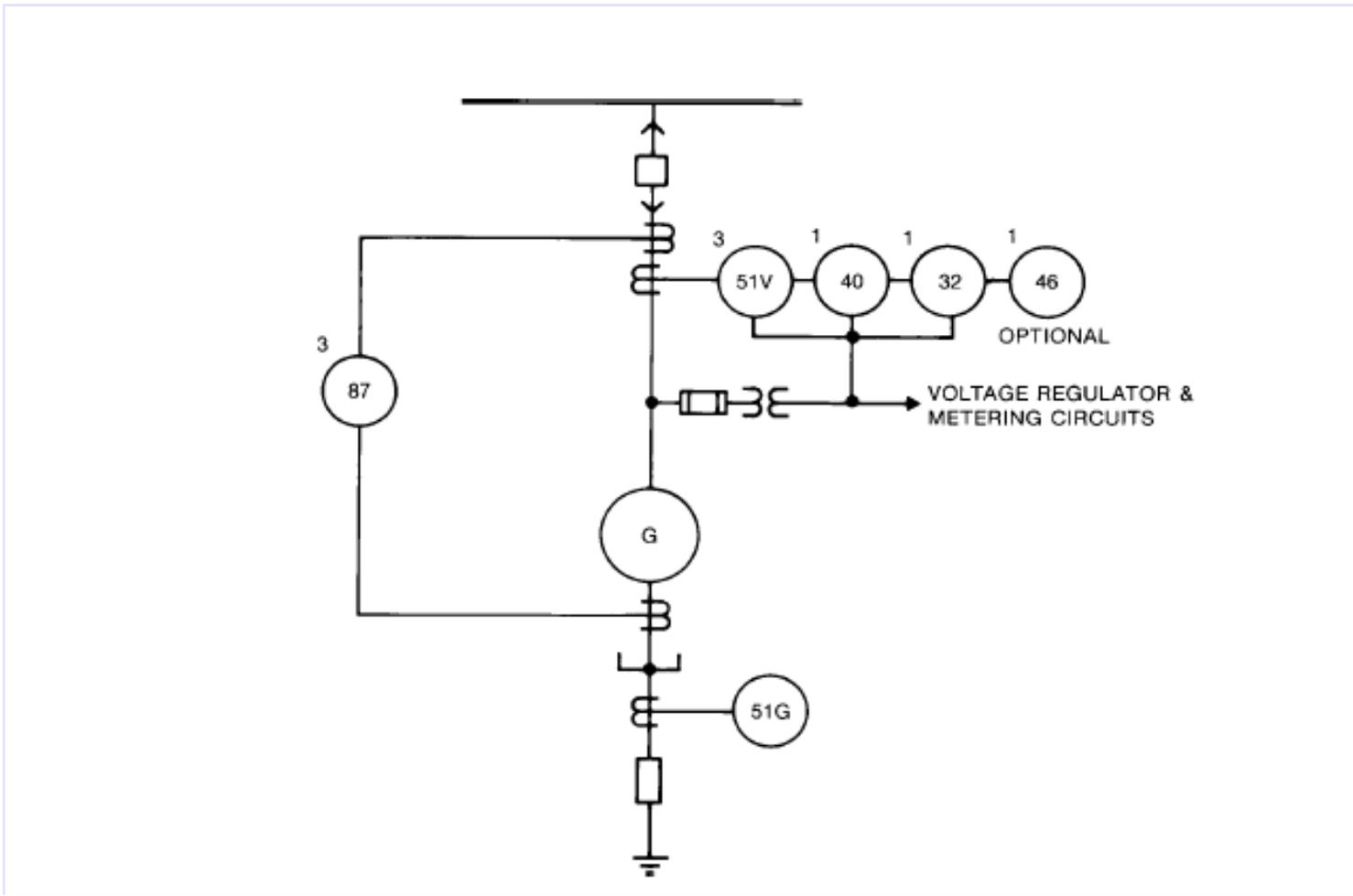
CHAPTER 12



- a) Single-isolated generator on low-voltage system
b) Multiple-isolated generator on medium-voltage system

Esquema de protección típico para *Generadores Pequeños*.

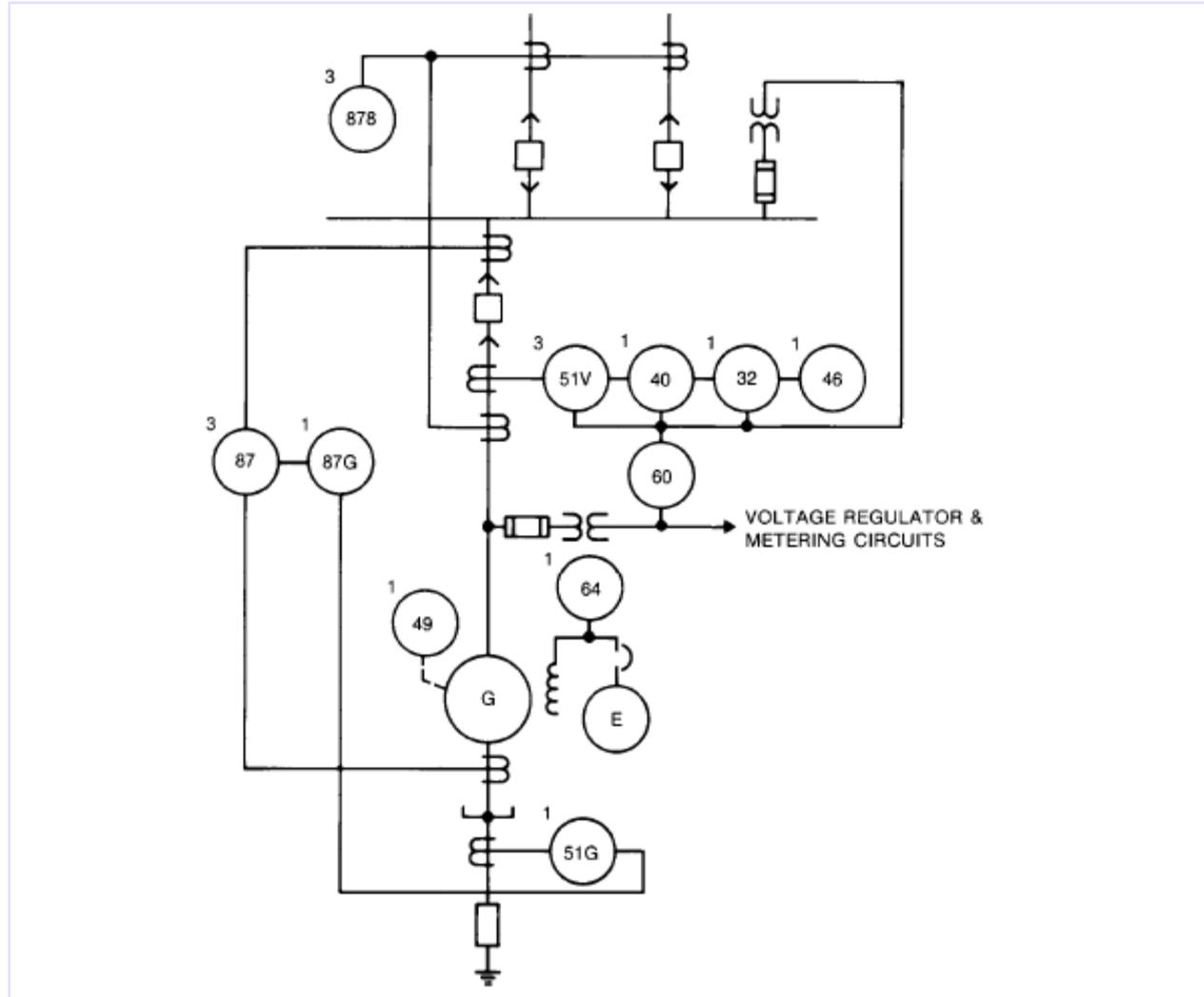
Generadores.



Esquema de protección típico para *Generadores Medianos*.

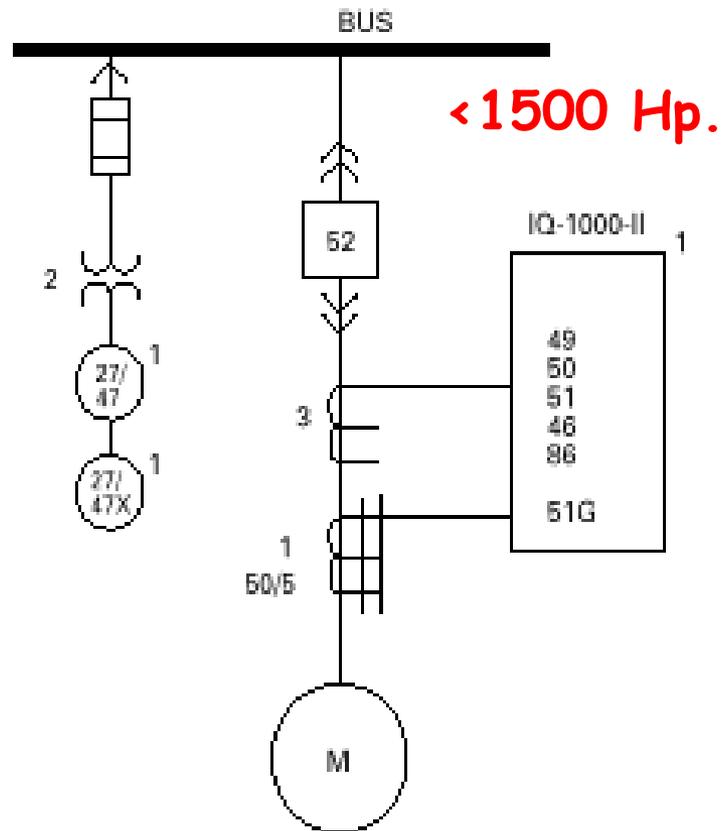


Generadores.

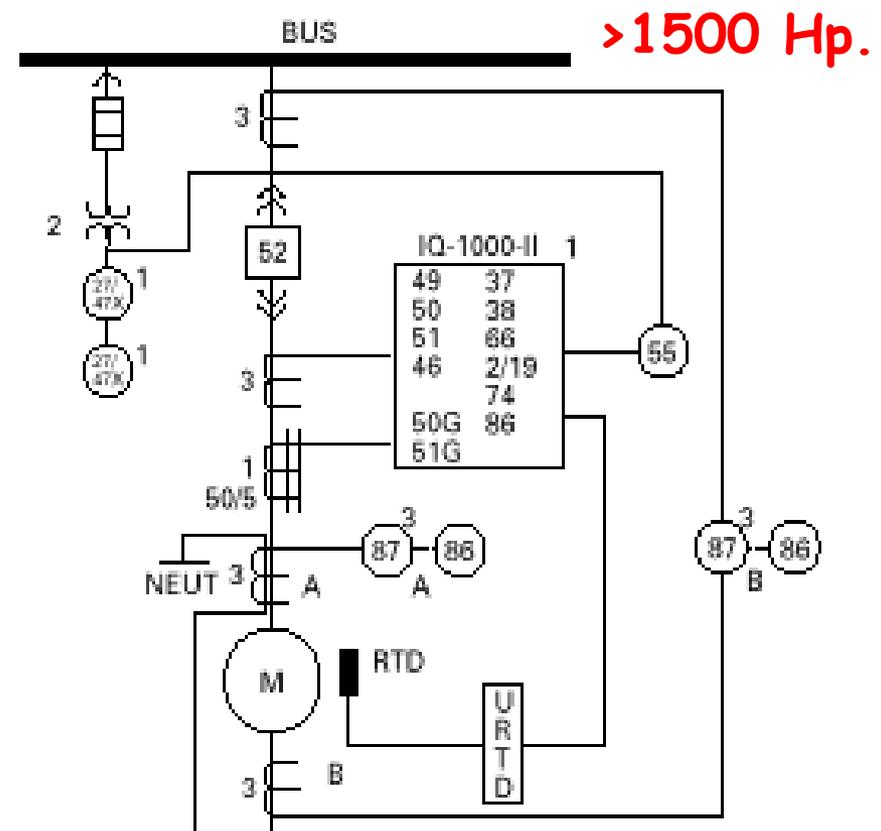


Esquema de protección típico para *Generadores Grandes*.

Coordinación de Protecciones.



Phase Ct Rating = 150% Full Load
 IQ-1000-II Multifunction Motor Protection Unit
 27/47 - Undervoltage, Phase Sequence, and Unbalanced Voltage Relay
 (One Per Bus)
 27/47x - Auxiliary Relay for Multimotor System



Phase Ct Rating = 150% Full Load
 A - Preferred Scheme
 B - Alternate Scheme
 IQ-1000-II - Multifunction Motor Protection Unit
 87 - Motor Differential Relay
 86 - Lockout Relay
 27/47 - Undervoltage, Phase Sequence, and Unbalanced Voltage Relay
 (One Per Bus)
 27/47x - Auxiliary Relay for Multi-motor System
 55 - Loss of Synchronism (Synchronous Motors Only)
 URTD - Universal RTD Interface Module



Motores.

Ejemplo:

Motor: 125 Hp
Vnom: 480 VCA

$I_{nom} = 156 \text{ A}$
 $I_{rb} = 6 * 156 = 936 \text{ A}$
 $I_{mag} = 1.65 * 936 = 1544.4 \text{ A}$

De acuerdo al art. 430-52

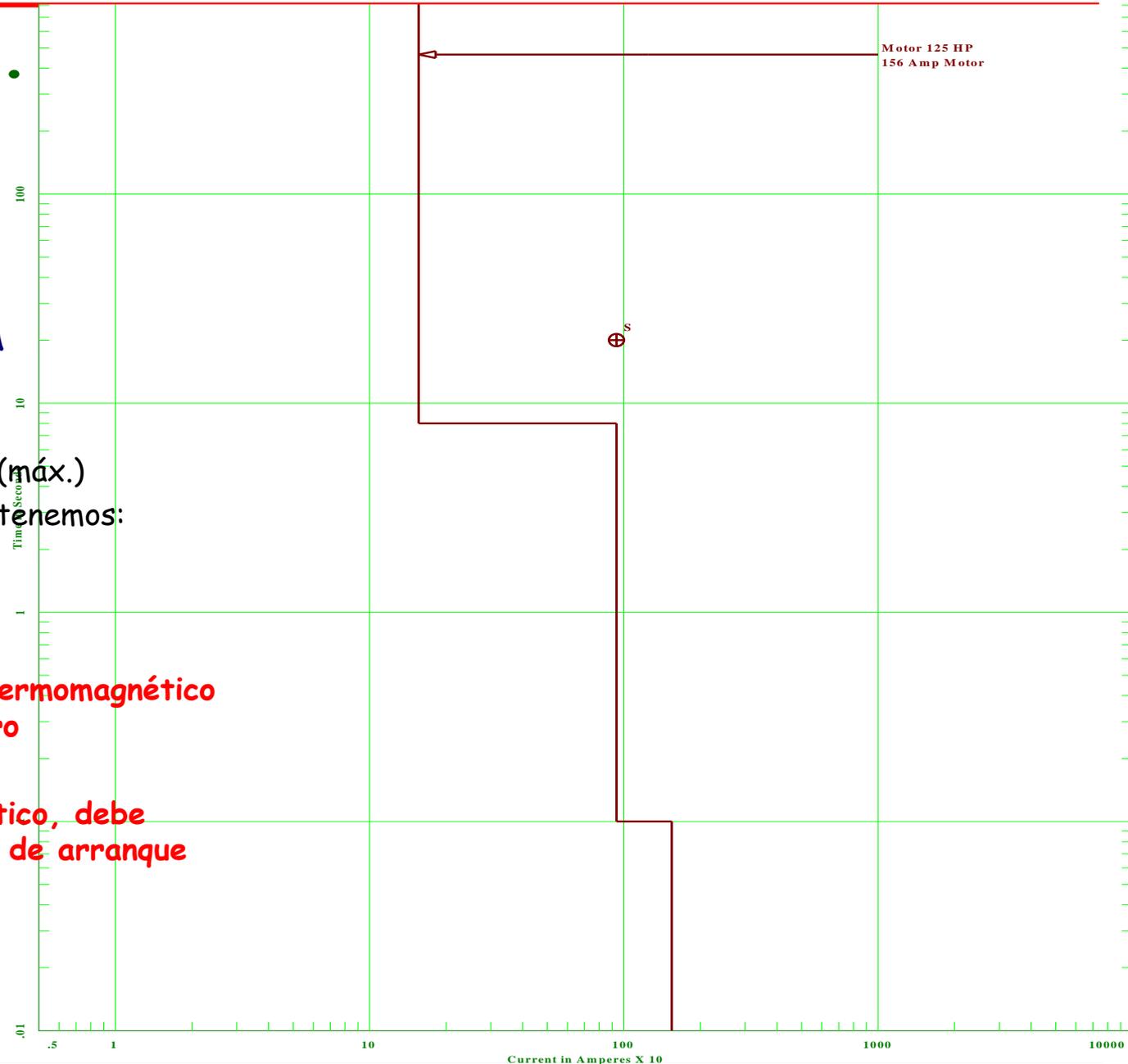
Disparo = $2.5 * 156 = 390 \text{ A}$ (máx.)

Para ajustar disparo al 200% tenemos:

$I_{prot} = 2 * 156 = 312$

Se puede seleccionar Int. Termomagnético de 300 A o 350 A de disparo

Selección del disparo magnético, debe permitir circular los 1544 A de arranque del motor.





Transformadores.

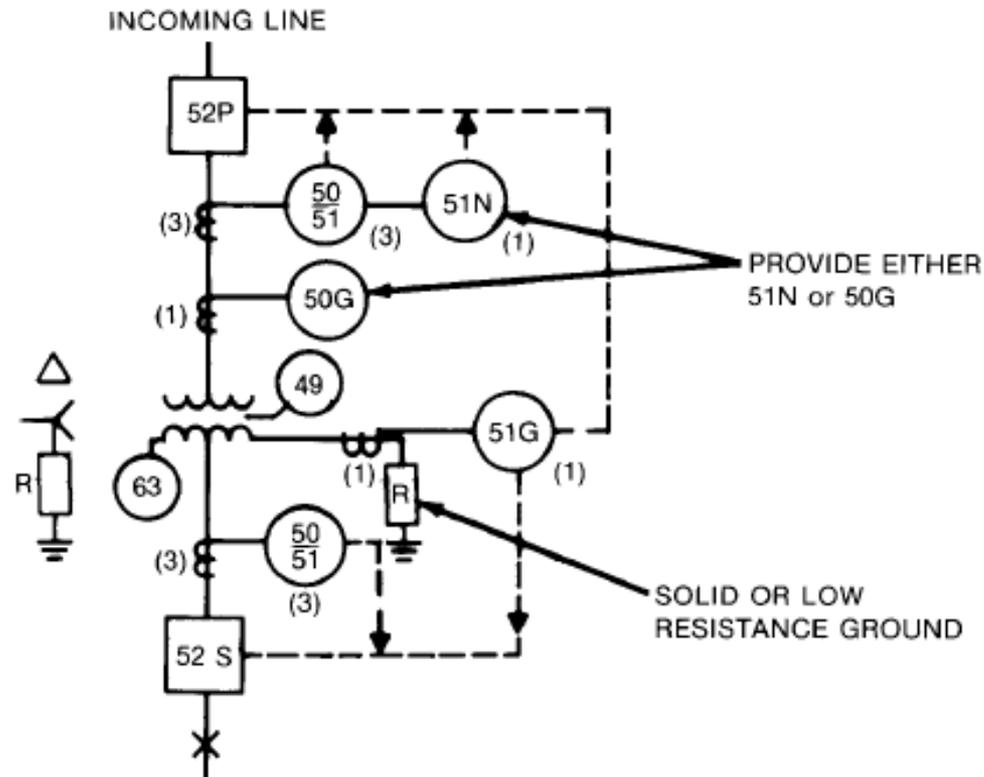


Figure 11-18—Overcurrent relays, frequently used to provide transformer protection in combination with primary circuit breaker or circuit switcher



Ajuste del Relevador 51.

Ejemplo:

TR-01 1500 KVA

13.8 - 0.48 KV

$I_{nom} = 1500 / (13.8 * 1.732) = 62.75 \text{ A}$

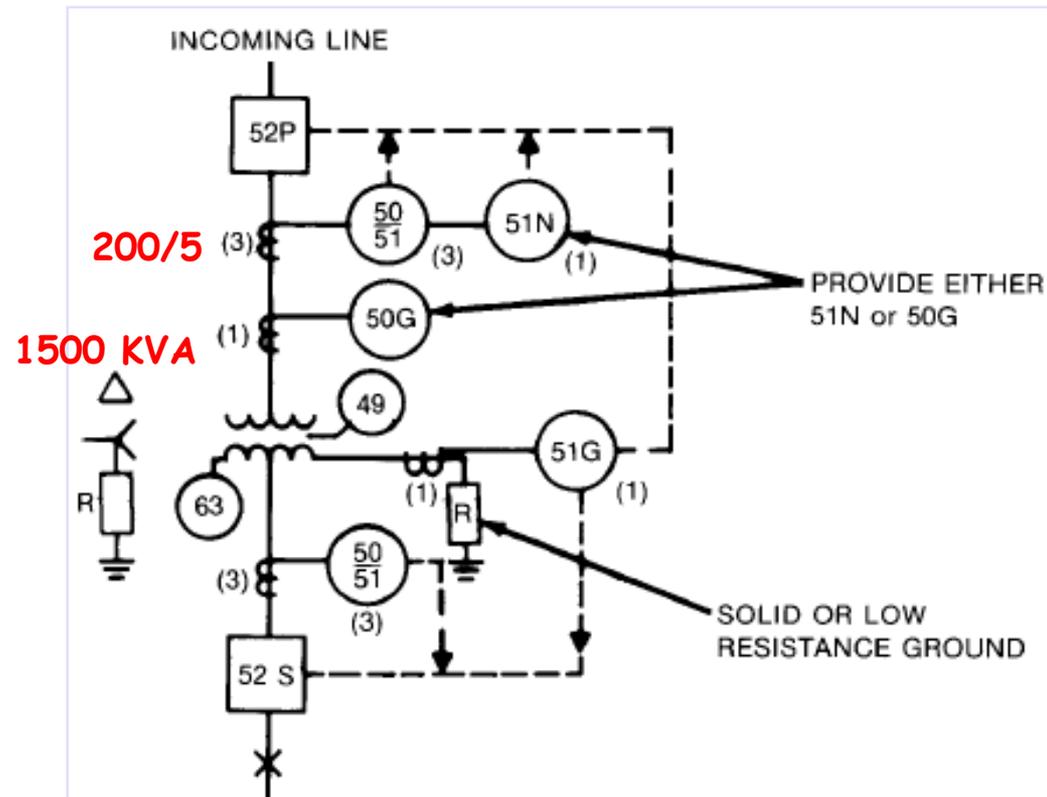
De acuerdo al art. 450-3 (a)(2)

Disparo = $3 * 62.75 = 188.25 \text{ A}$ (máx.)

RTC = $200 / 5 = 40$

Para ajustar disparo al 200% tenemos:

$Tap = 125.5 / 40 = 3.13$



PARTE III

COORDINACION DE PROTECCIONES EN INSTALACIONES ELECTRICAS DE PLANTAS INDUSTRIALES.

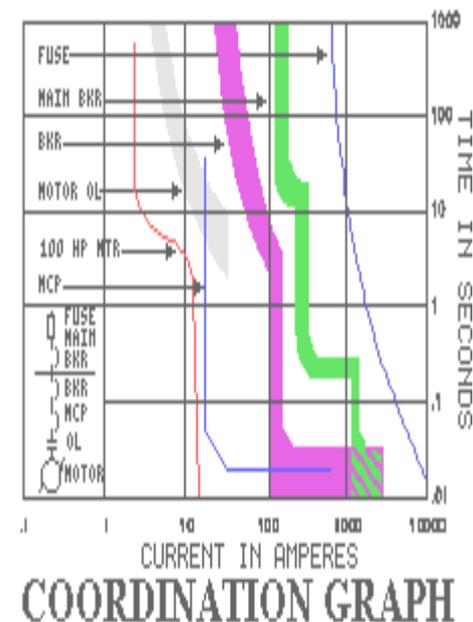
III.1.-Diagrama unifilar del sistema eléctrico.

III.2.-Rutas de coordinación.

III.3.-Márgenes de coordinación.

III.4.-Ejemplos de coordinación de protecciones.

III.5.-Interpretación de Coordinación protecciones.





III.1. Diagrama unifilar del sistema eléctrico.

Acometida. Nivel de tensión, Corriente y Potencia Aparente de Cortocircuito trifásicas y monofásicas, Relación X/R, Impedancia (resistencia y reactancia en %)

Generadores. Nivel de tensión, Potencia, Reactancia (Subtransitoria, Transitoria y Síncrona), Relación X/R y Tipo de conexión.

Cables. Nivel de tensión, Tipo de aislamiento, Calibre, Longitud, No. de Conductores por fase, Resistencia y Reactancia.

Buses. Nivel de tensión e Impedancia

Transformadores. Niveles de tensión, Potencia, Fabricante, Tipo de Aislamiento, Tipo de enfriamiento, Impedancia (de secuencia Positiva y Cero), Relación X/R, Tipo de conexión y Forma de conexión a Tierra y Ajuste del cambiador de derivaciones en %.

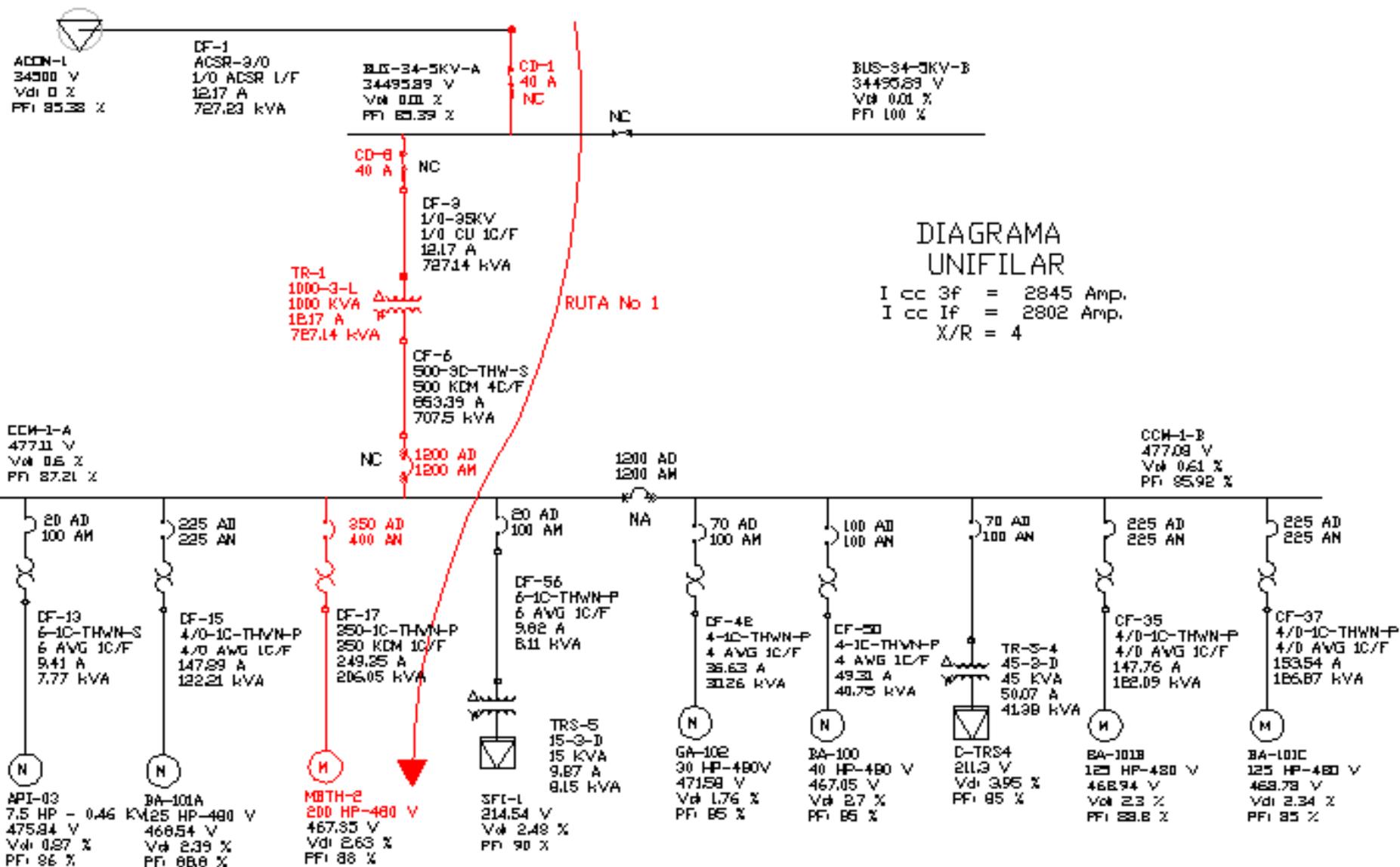
Motores de Inducción y Síncronos. Nivel de Tensión, No. de Fases, Potencia, Factor de Potencia, Factor de Servicio, Reactancia y Relación X/R, Tipo de conexión.



III.2. Rutas de coordinación.

Previo a la selección y ajuste de los dispositivos de protección, es necesario definir uno o más caminos (rutas) desde el punto más remoto de utilización (barras en baja tensión), hasta el más cercano al suministro de energía (buses de generación y/o acometidas).

- ❑ Las rutas se inician desde el equipo de mayor capacidad del bus bajo análisis.
- ❑ Para efectos de coordinación, únicamente se toman como referencia las protecciones ubicadas en serie.
- ❑ Se generaran tantas rutas como sean necesarias, con la finalidad de mostrar de manera clara la coordinación de los dispositivos de protección.





III.3. Márgenes de coordinación.

Cuando se coordinan relevadores de sobrecorriente con retardo de tiempo, su intervalo de tiempo se encuentra **entre 0.3 y 0.4 segundos**, distribuidos de la siguiente forma:

Donde un valor conservador típicamente usado es .0.3 segundos.

Table 15-1 – CTIs without field calibration

Components	CTI without field testing	
	Electromechanical	Static
Circuit breaker opening time (5 cycles)	0.08 s	0.08 s
Relay overtravel	0.10 s	0.00 s
Relay tolerance and setting errors	0.17 s	0.17 s
Total CTI	0.35 s	0.25 s

Capítulo 15, Numeral 15.5, Std-IEEE 242



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.

Calculo de la Curva de Daño del motor MBTH-2 de 200 Hp. en 480 VCA.

Datos:

Motor: 200 Hp
Vnom: 480 VCA
Letra Cod.= G

Corriente Nominal:

$I_{nom} = 240 \text{ A}$ Tabla 430-150 NOM-001-SEDE

Corriente a rotor Bloqueado:

$I_{rb} = 6 * 240 = 1440 \text{ A}$ $t = 8 \text{ seg.}$ Para el punto "Safe Stall Time" $t=20 \text{ seg.}$

Corriente de Magnetización:

$I_{mag} = 1.65 * 1440 = 2376 \text{ A}$ $t = 0.1 \text{ seg.}$



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.

Calculo de la Curva de Daño del circuito alimentador a MBTH-2.

Datos:

No Circuito: CF-17

Vnom: 480 VCA

Calibre: 350 KCM

Aislamiento: Termoplastico

Para:

t = 0.01 seg. Icc= 184934 A

t = 0.1 seg. Icc= 58481 A

t = 1 seg. Icc= 18493 A

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 t = 0.297 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$$

Donde:

I = Corriente de Corto Circuito en A.

A = Area del Conductor en CM.

t = Tiempo de duración del CC en seg.

T₁ = Temp. máxima de operación (75°C).

T₂ = Temp. máxima de CC (150°C).



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.

Calculo de la Protección del circuito alimentador a MBTH-2 en 480 VCA.

Datos:

Motor: 200 Hp
Vnom: 480 VCA
Dispositivo: Interruptor Termomagnético

Corriente Nominal:

$$I_{\text{nom}} = 240 \text{ A.}$$

(Tabla 430-150 NOM-001-SEDE)

Protección contra sobrecarga:

$$I_{\text{psobrecarga}} = 1.25 * 240 = 300 \text{ A}$$

$$I_{\text{ajuste}} = 270 \text{ A}$$

(Art. 430-32(a)(1))

(Valor máximo)

(típicamente al 12%)

Protección contra cortocircuito y falla a tierra:

$$I_{\text{prot}} = 2.5 * 240 = 600 \text{ A}$$

$$I_{\text{ajuste}} = 400 \text{ A}$$

(Art. 430-32(a)(1))

(Valor máximo)

(típicamente al 200%)

Ajuste del Disparo magnético:

El interruptor tiene dos ajustes "bajo" y "alto":

se selecciona "alto"

Bajo: 3.9 a 6.8 veces la corriente de disparo 1550 a 2720 A

Alto: 8 a 12.5 veces la corriente de disparo 3200 a 5000 A.



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.

Calculo de la Curva de Daño del circuito alimentador a CCM-01.

Datos:

No Circuito: CF-6

Vnom: 480 VCA

Calibre: 500 KCM (4C/F)

Aislamiento: Termoplastico

Para:

t = 0.01 seg. Icc= 264341 A

t = 0.1 seg. Icc= 83592 A

t = 1 seg. Icc= 26434 A

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 t = 0.297 \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$$

Donde:

I = Corriente de Corto Circuito en A.

A = Area del Conductor en CM.

t = Tiempo de duración del CC en seg.

T₁ = Temp. máxima de operación (75°C).

T₂ = Temp. máxima de CC (150°C).



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.

Calculo de la Curva de Daño del Transformador TR-01.

Datos:

TR-01 1000 KVA

34.5 - 0.48 KV

$Z_t = 6.04\%$ (OA)

$I_{nom} = 1000 / (0.48 * 1.732) = 1202.8A$

$K_1 = 5$ para 50 seg.

$K_2 = 0.58$

Punto (1): en 2 seg.

$$\frac{1202.8 * 0.58}{0.0604} = 11550 A$$

Punto (2): en 4 seg.

$$\frac{0.7 * 1202 * 0.58}{0.0604} = 8085 A$$

Punto (3):

$$\frac{0.7 * 1804.3 * 0.58}{0.0604} = 8085 A$$

$$t = 2551 * 0.0604^2 = 9.3 \text{ seg}$$

Punto (4): en 50 seg.

$$1202 * 5 * 0.58 = 3488A$$



III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones. Calculo de la Protección Principal del CCM-01.

Datos:

Vnom: 480 VCA
Capacidad Barras: 1600 A
Inom: 1200 A (secundario del TR-1)
Icarga: 854 A
Dispositivo: Int. Máster Pack

Long Time

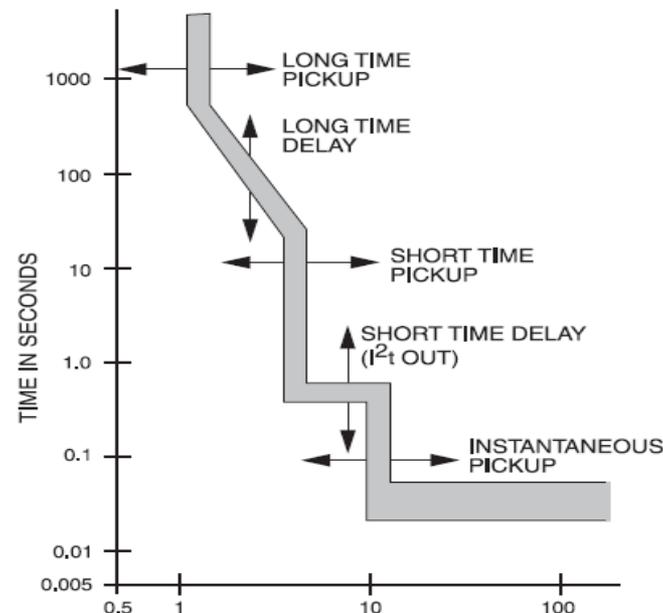
PickUp: 1.0 (1200 A)
Delay: 8

Short Time

PickUp: 5 (6000 A)
Delay: 0.3 Off

Instantaneo

PickUp: 8 (9600 A)

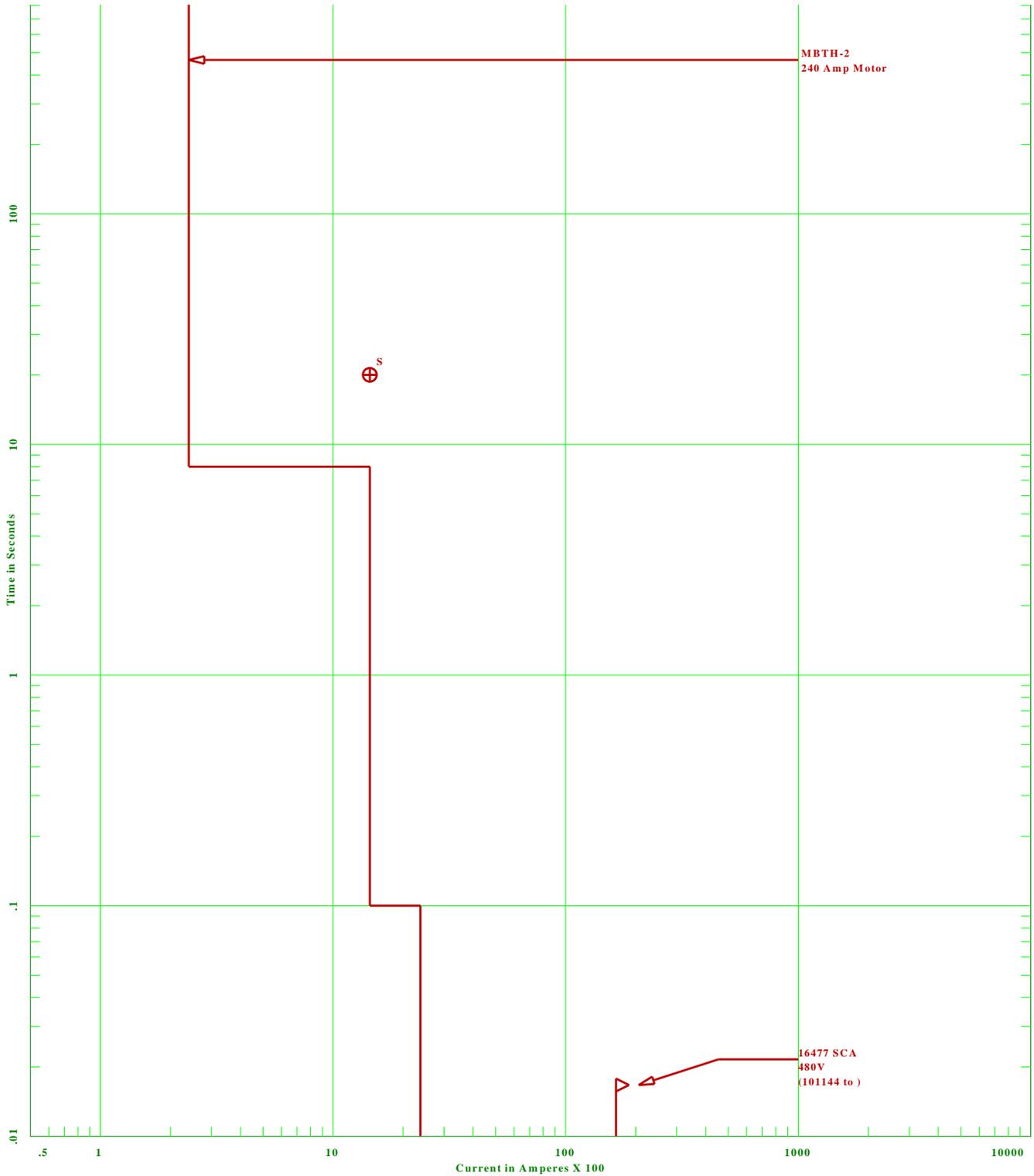




III.4. Ejemplo de Coordinación Protecciones.



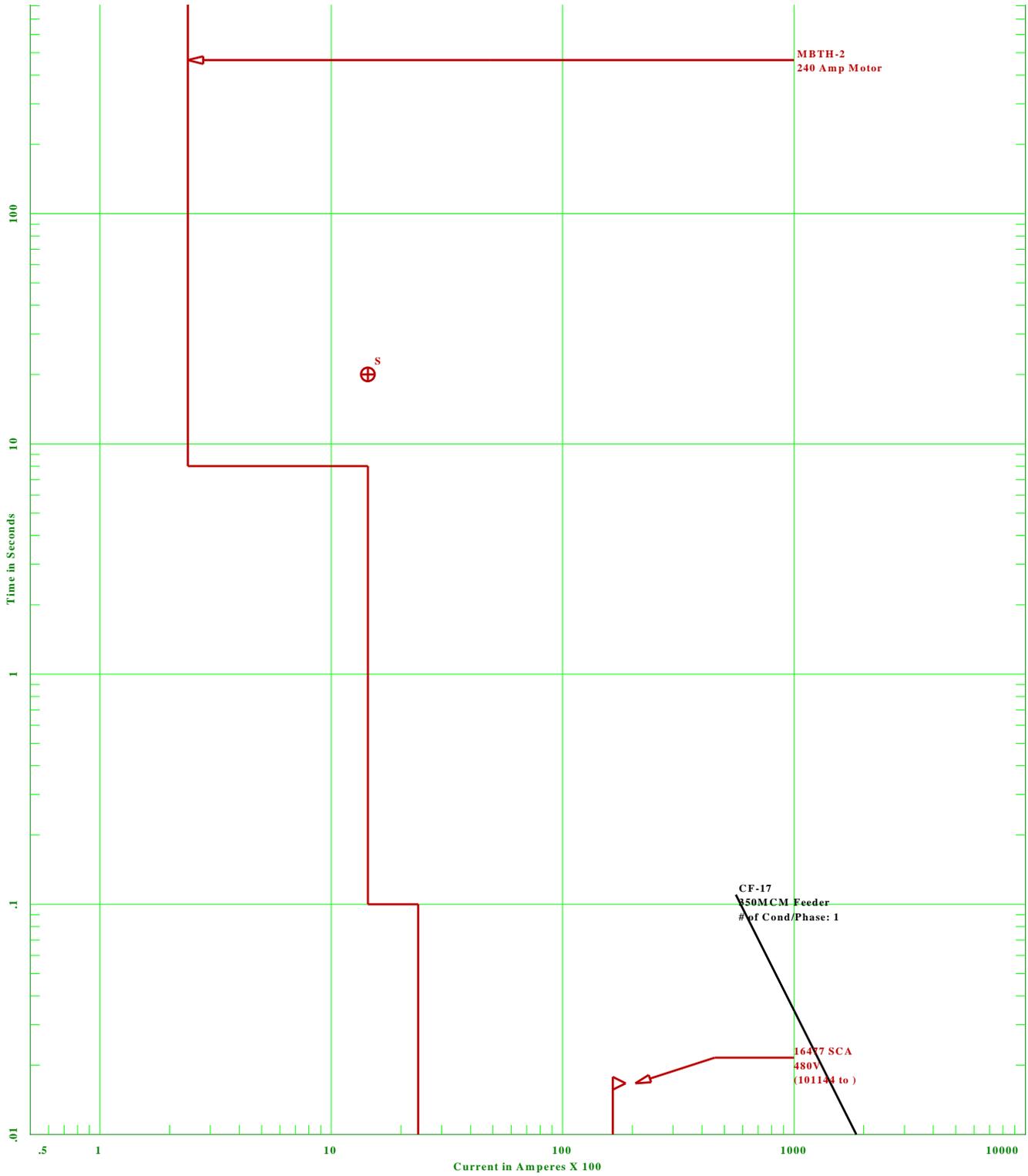
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/19/2008
RUTA No 1		08:48:19
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratacion y Desalado Samaria II.	D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC	



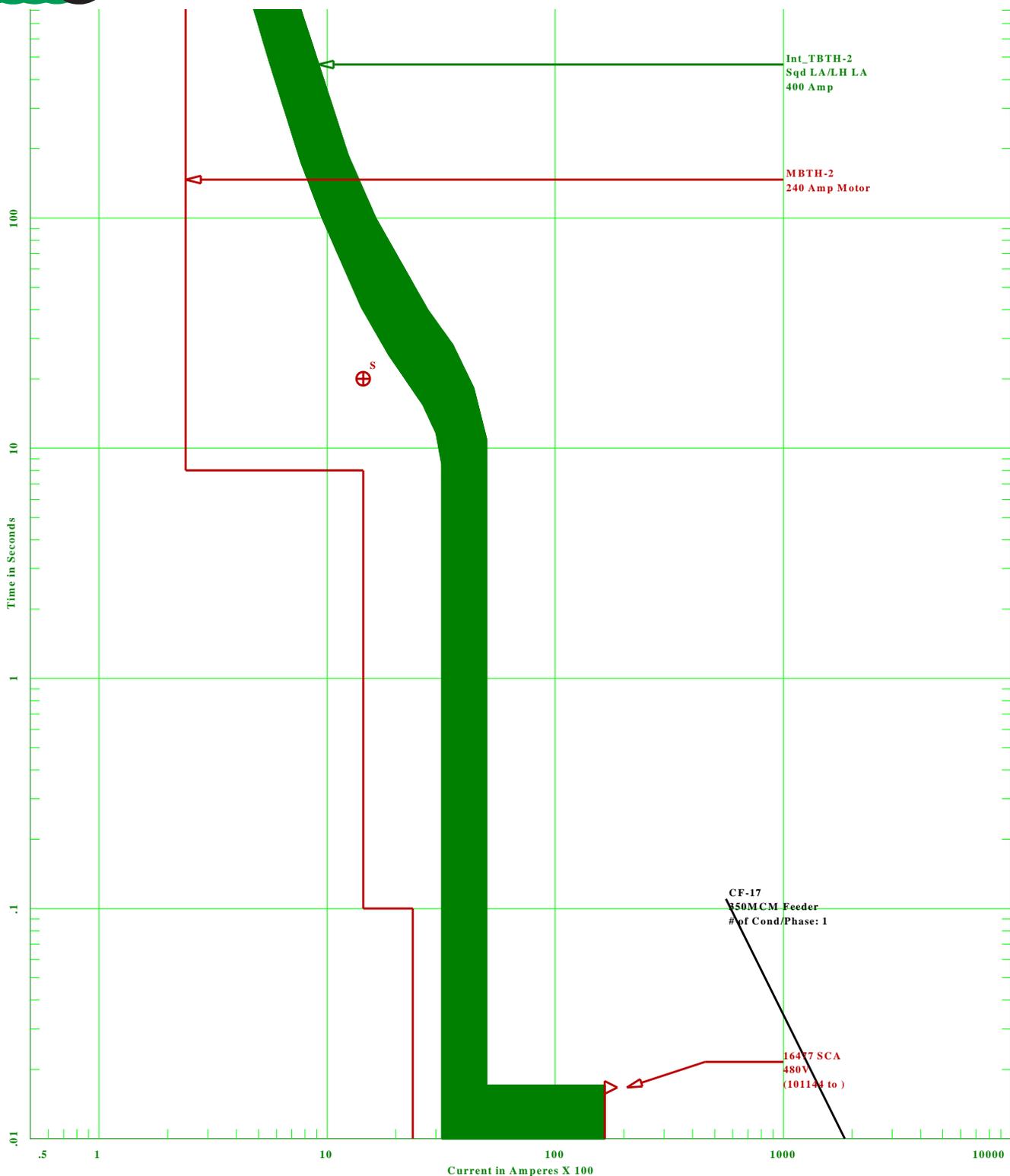
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/19/2008
RUTA No 1		08:59:34
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratacion y Desalado Samaria II.	D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC	



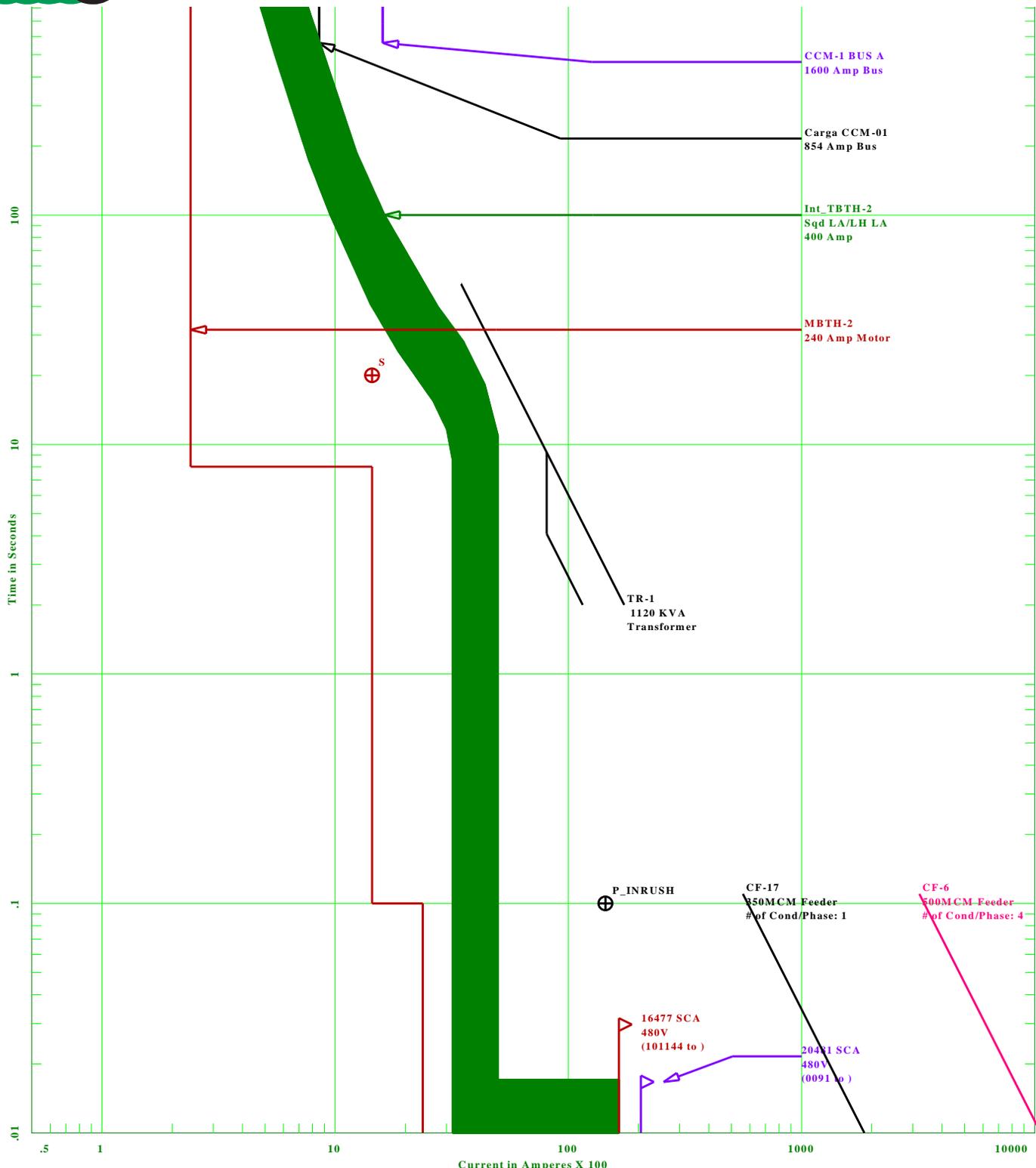
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/19/2008
RUTA No 1		09:32:30
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratacion y Desalado Samaria II.	D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC	



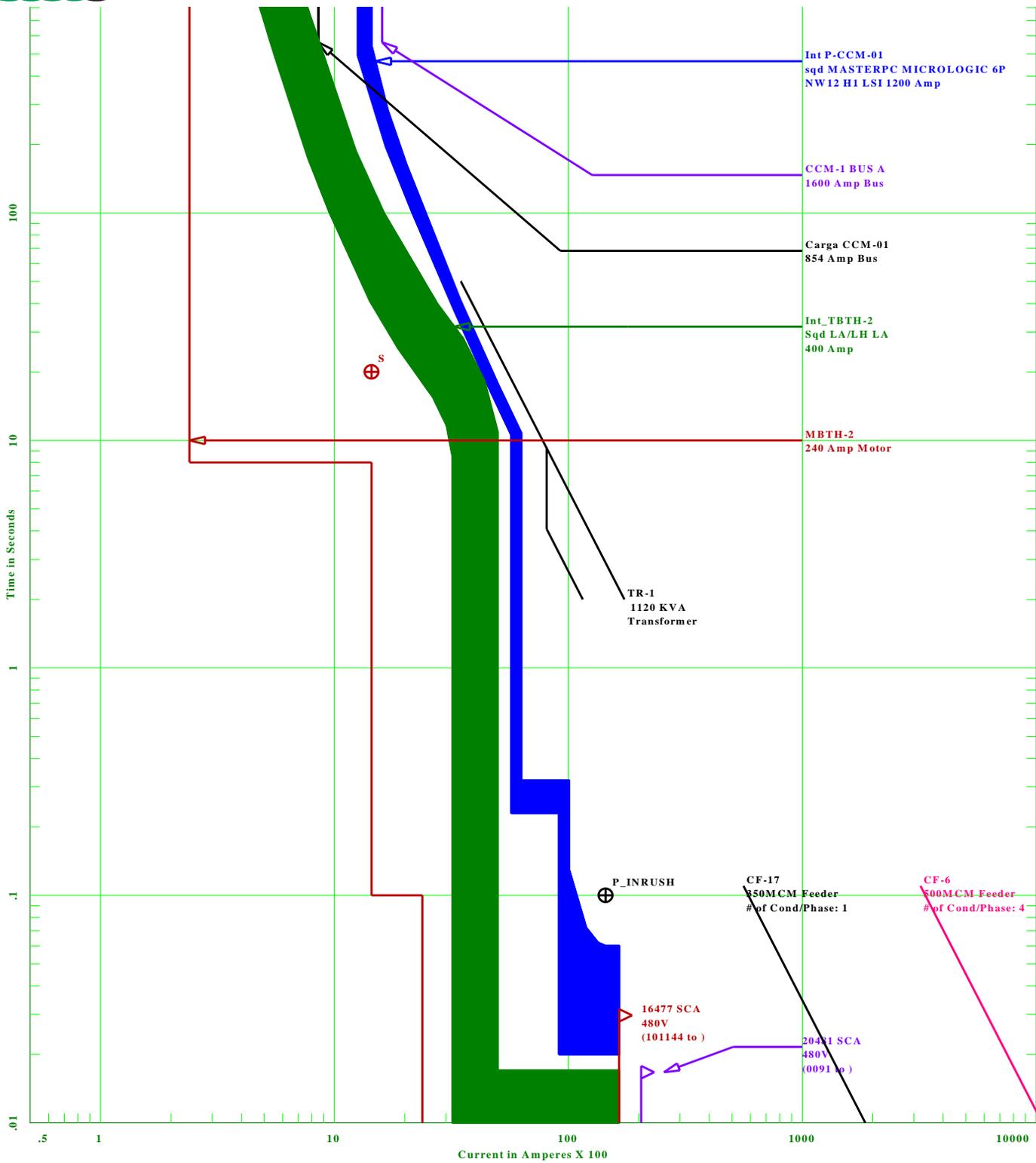
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/18/2008
RUTA No 1		17:33:00
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratación y Desalado Samaria II.		D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC



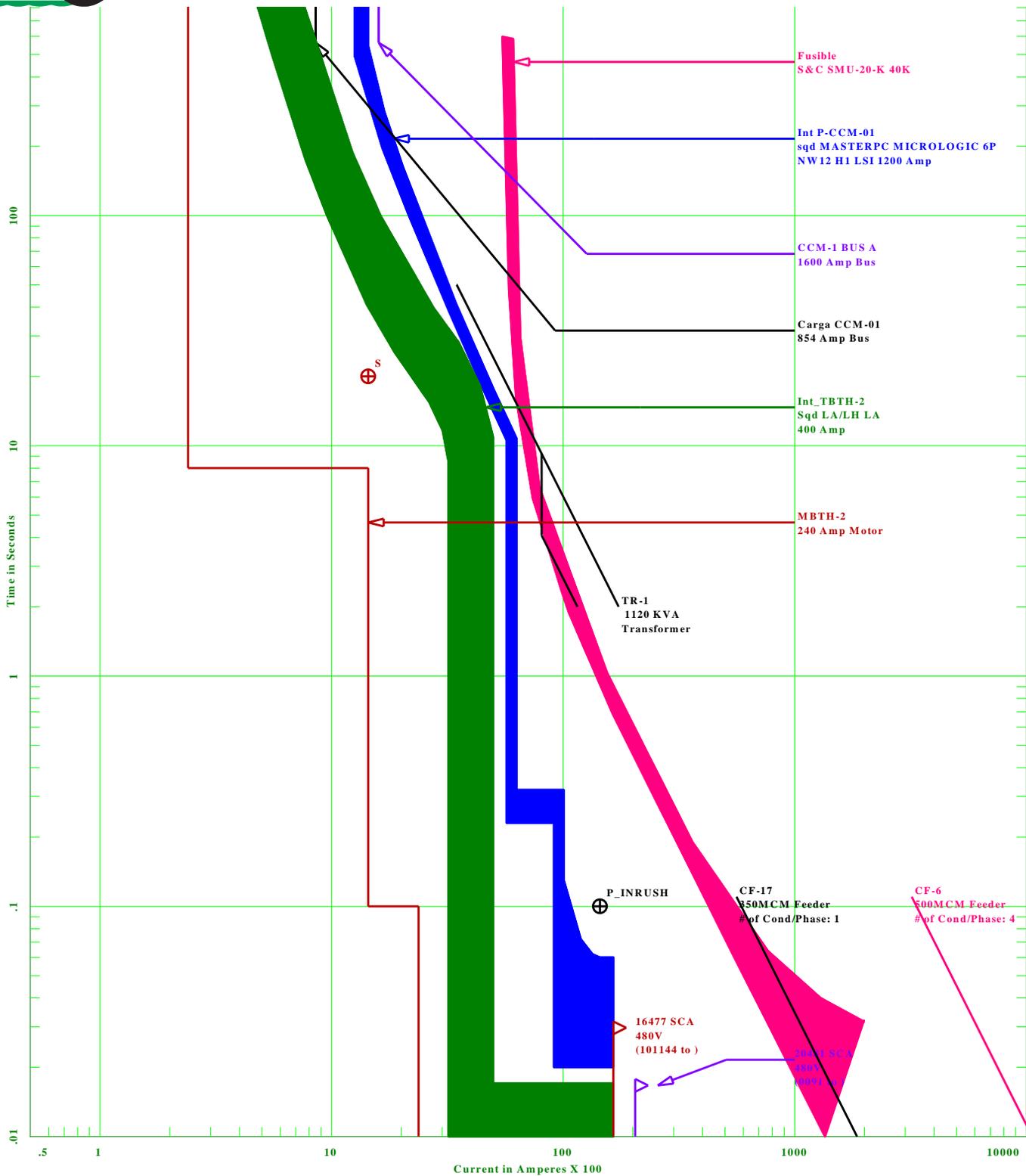
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/18/2008
RUTA No 1		17:32:02
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratación y Desalado Samaria II.		D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC



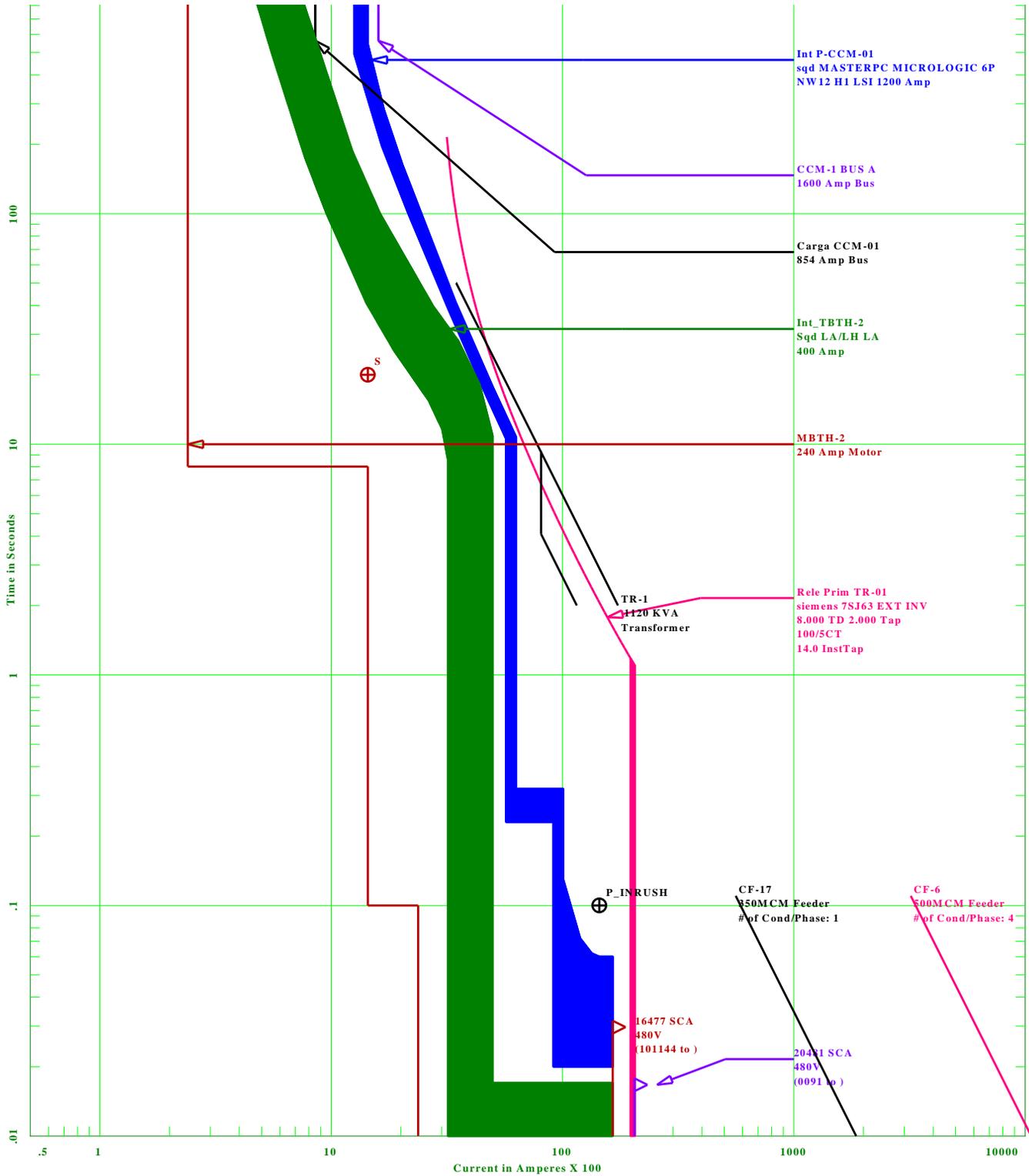
Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/18/2008
RUTA No 1		17:30:43
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratacion y Desalado Samaria II.	D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC	



Coordinación de Protecciones.



480 Volt Phase and Ground	Time-Current Characteristic Curves	07/18/2008
RUTA No 1		17:11:49
Ruta 1 Alimentación a MNTH-2 desde CCM-01		
Sistema eléctrico de la Planta de Deshidratacion y Desalado Samaria II.	D:\JOBS\CURSOS\CURSO_CP\BDATOS-2\EJEMPLO2.PDC	



III.5. Interpretación de Coordinación Protecciones.

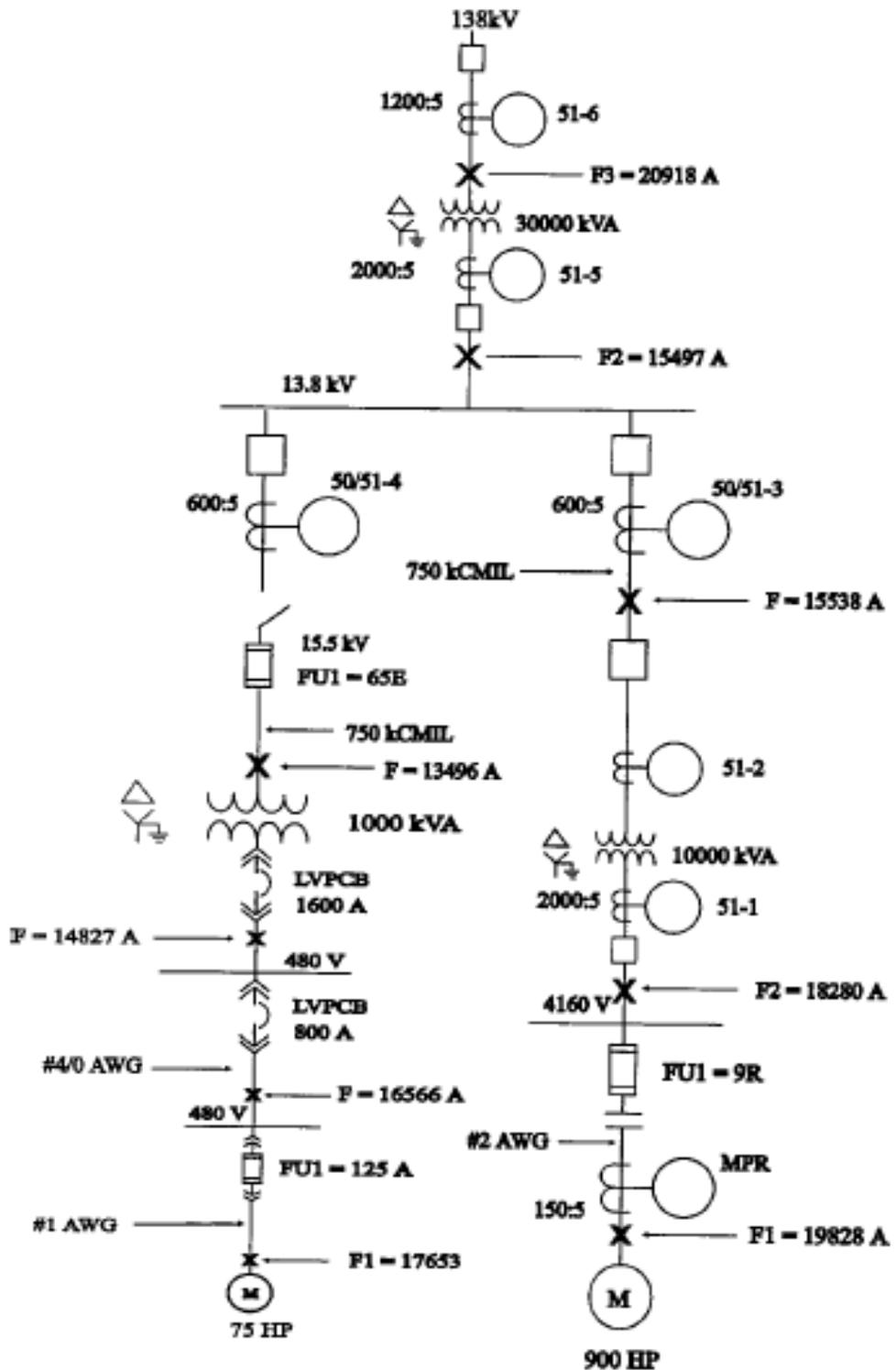


Figure 15-13—One-line diagram for coordination study



OVERCURRENT COORDINATION

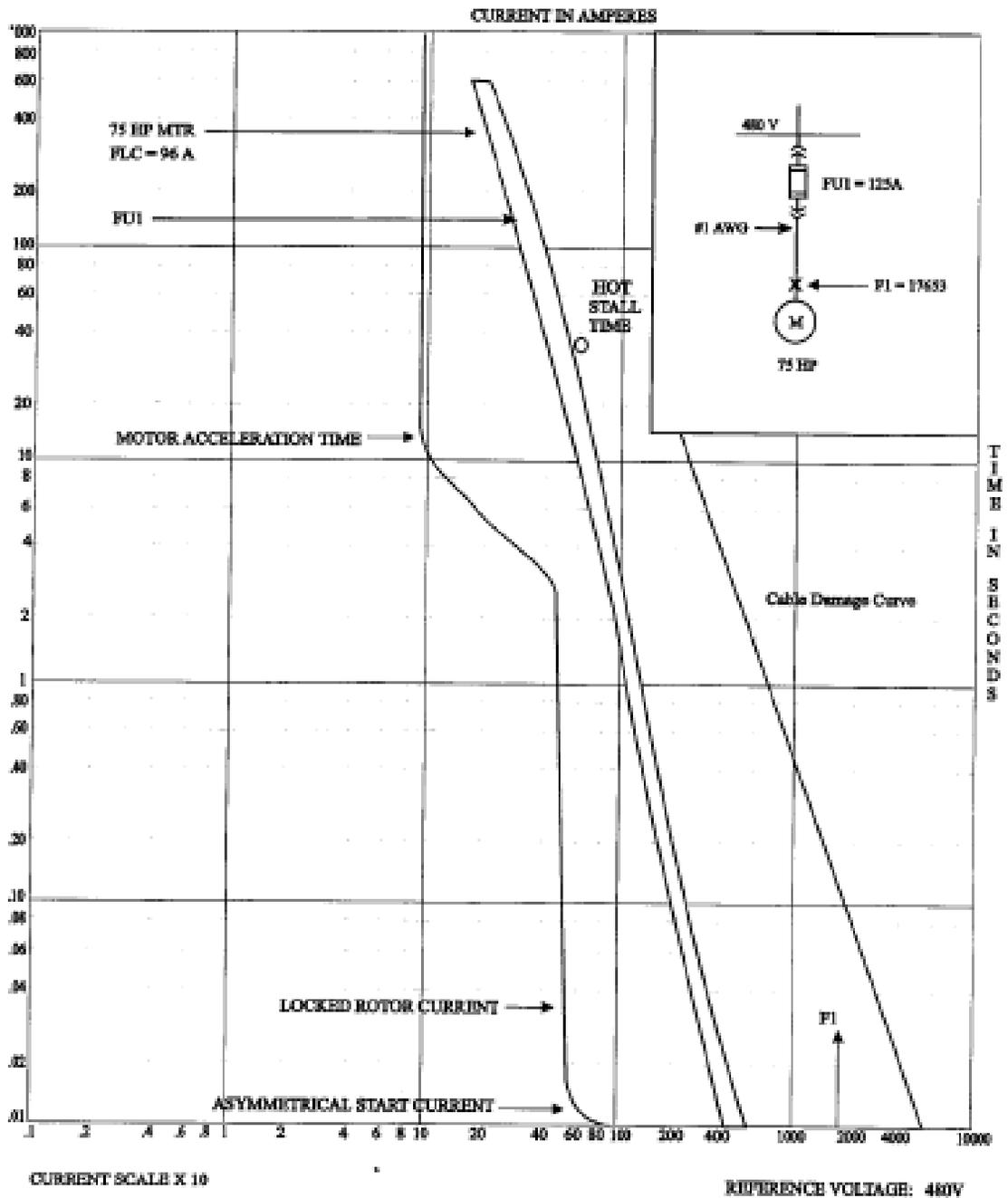


Figure 15-14— 480 V fuse coordination plot

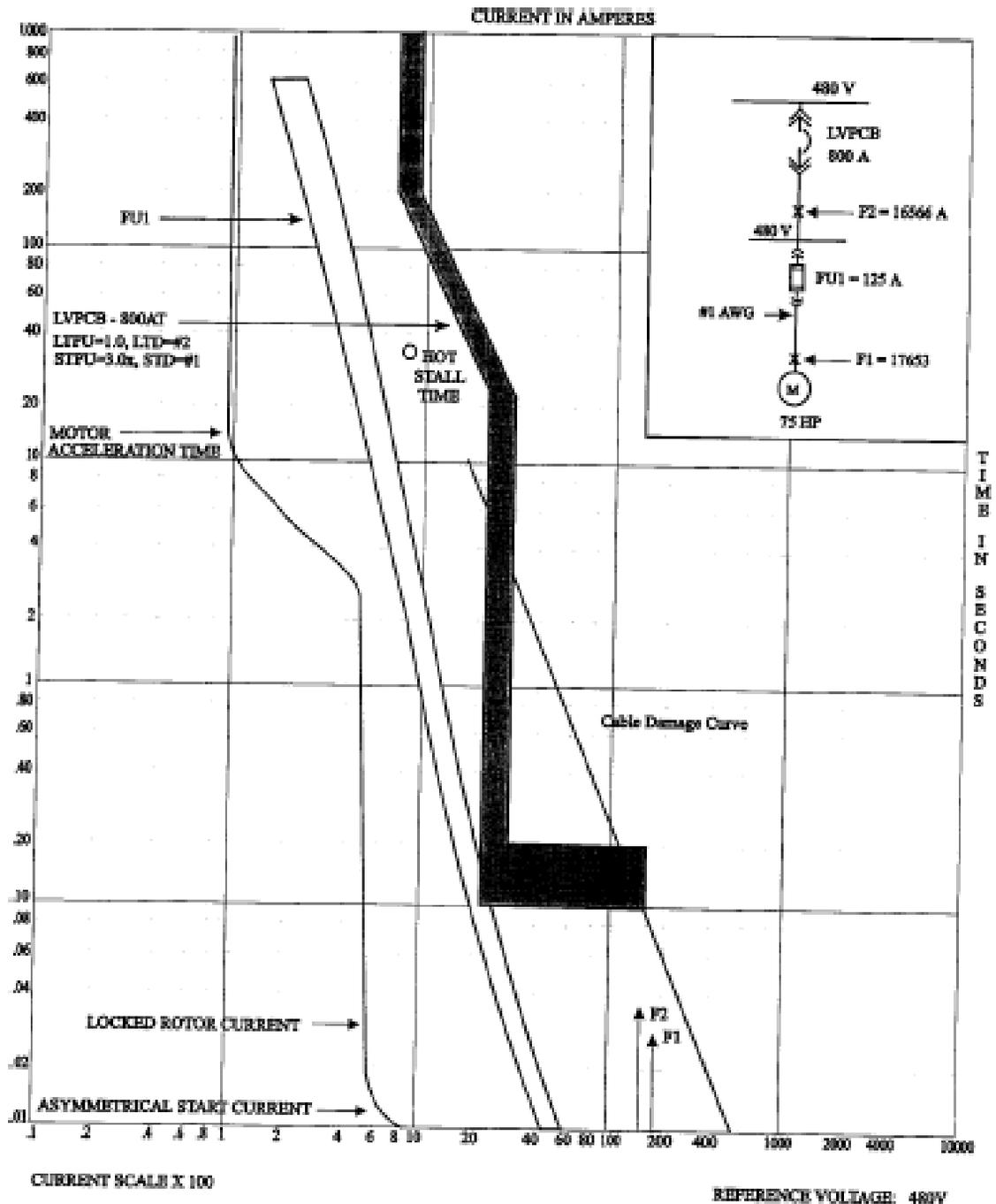
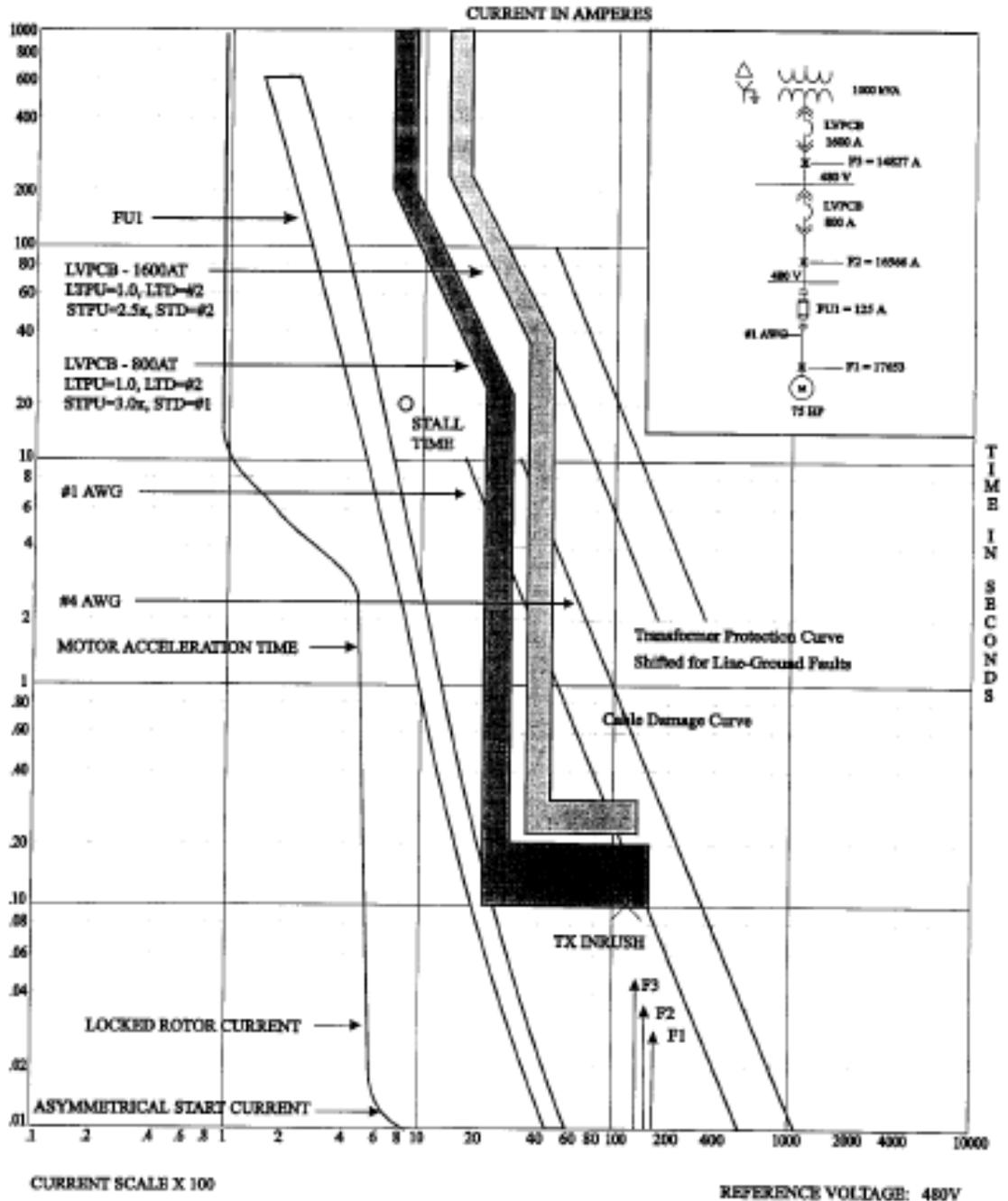


Figure 15-15— 480 V feeder circuit breaker coordination plot





OVERCURRENT COORDINATION

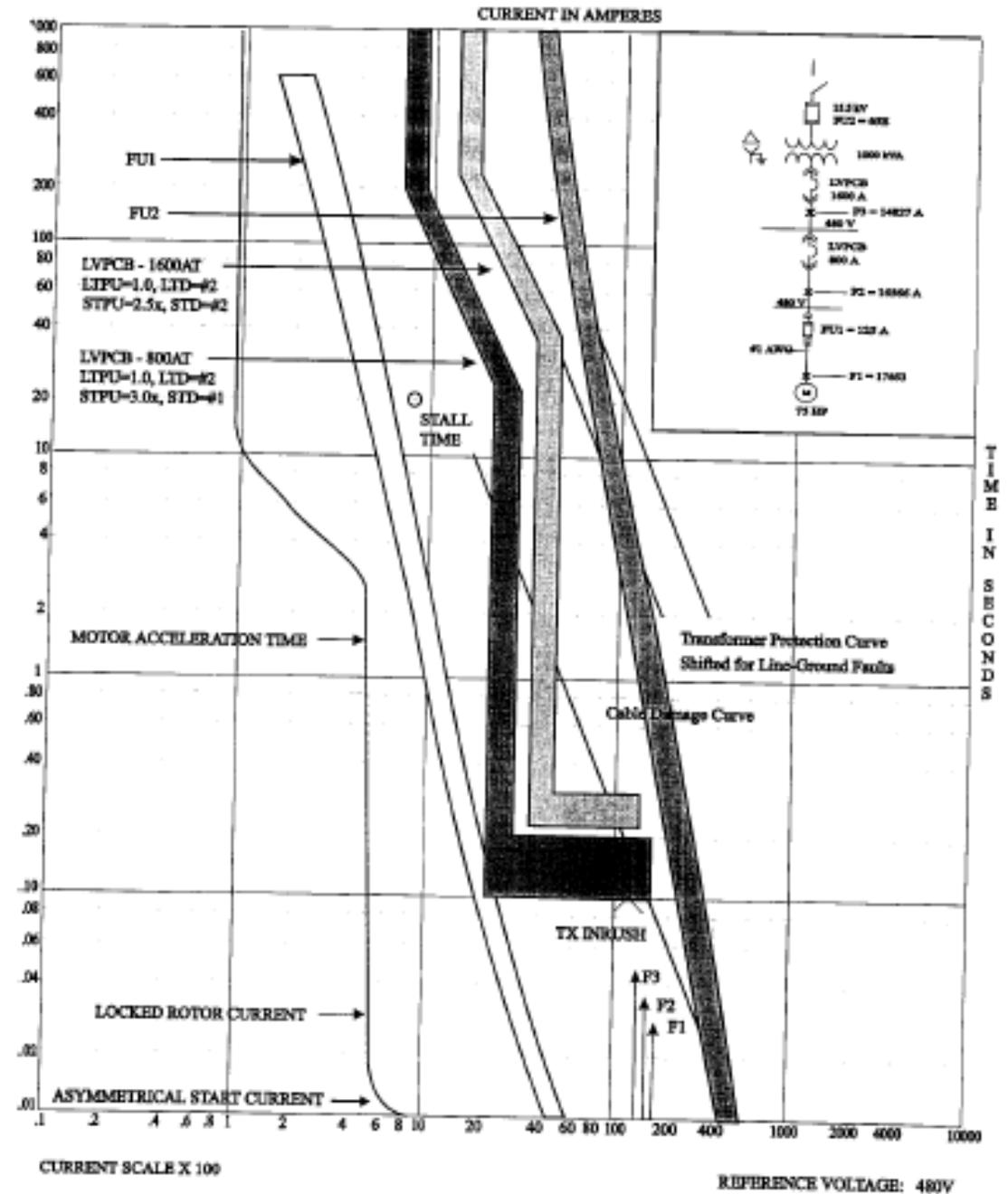


Figure 15-17— 1000 kVA transformer primary fuse coordination plot



Coordinación de Protecciones.

IEEE
Std 242-2001

OVERCURRENT COORDINATION

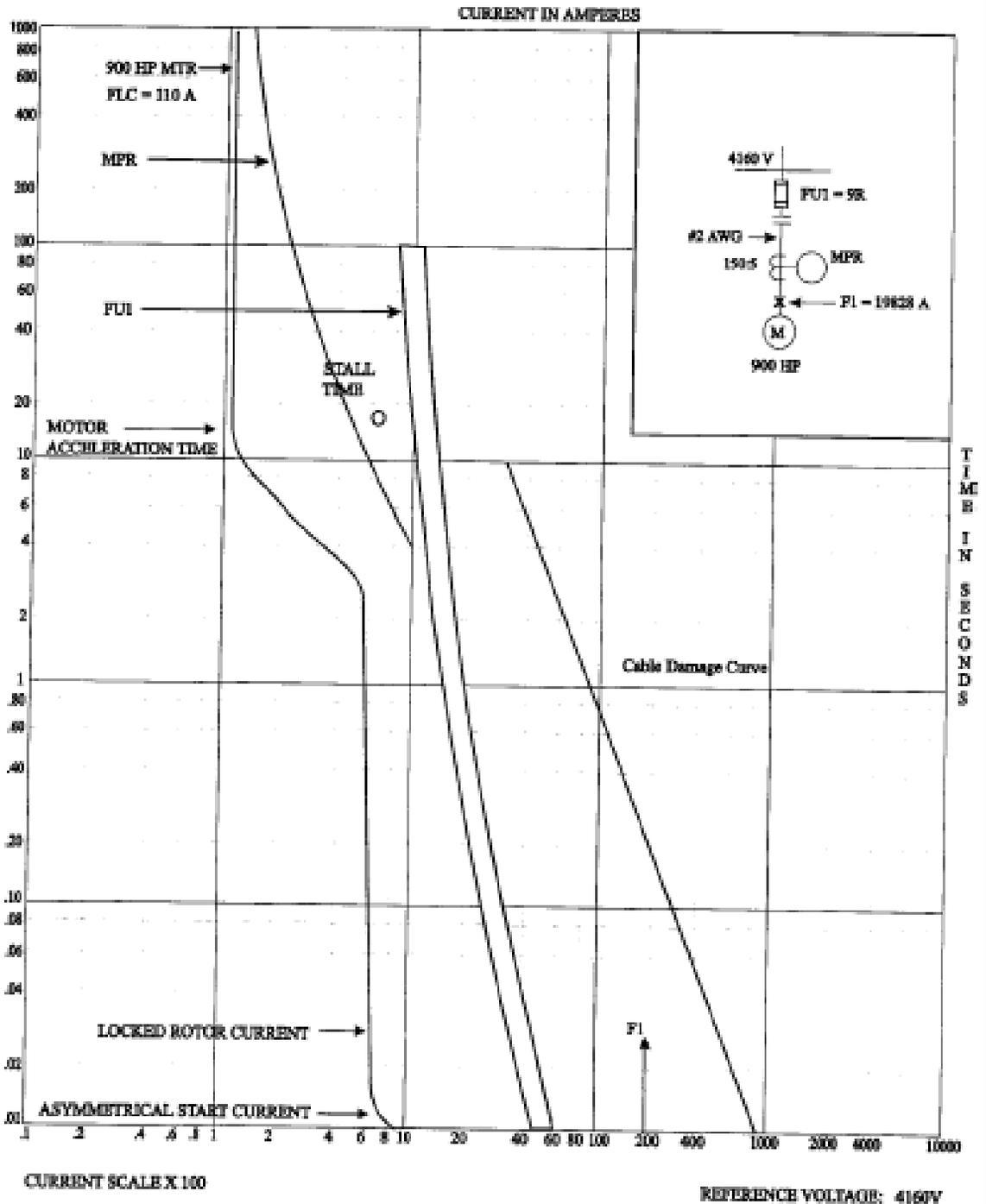


Figure 15-18—4160 V—680 kW motor protection coordination plot

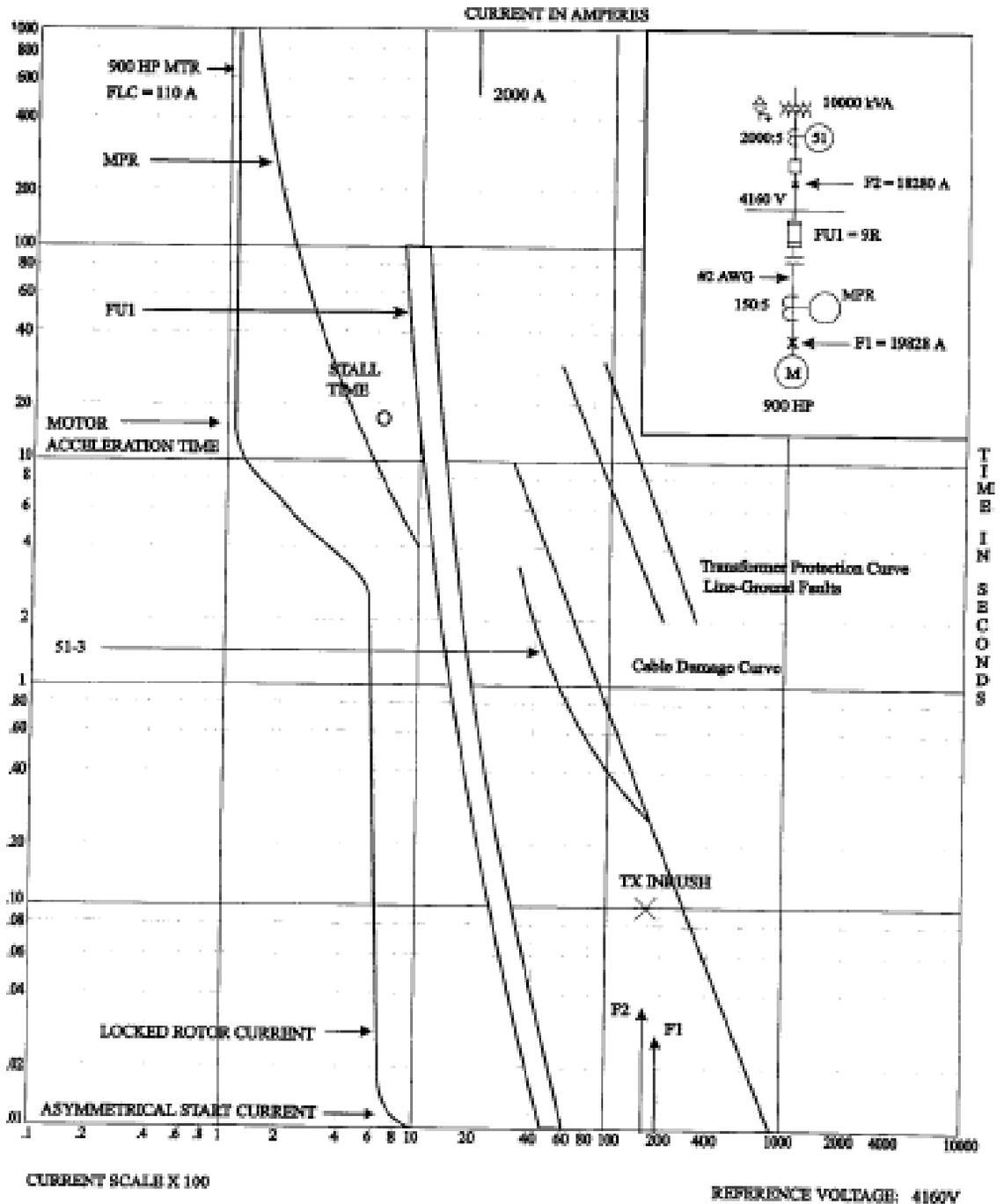


Figure 15-19— 10 000 kVA transformer secondary main coordination plot

OVERCURRENT COORDINATION

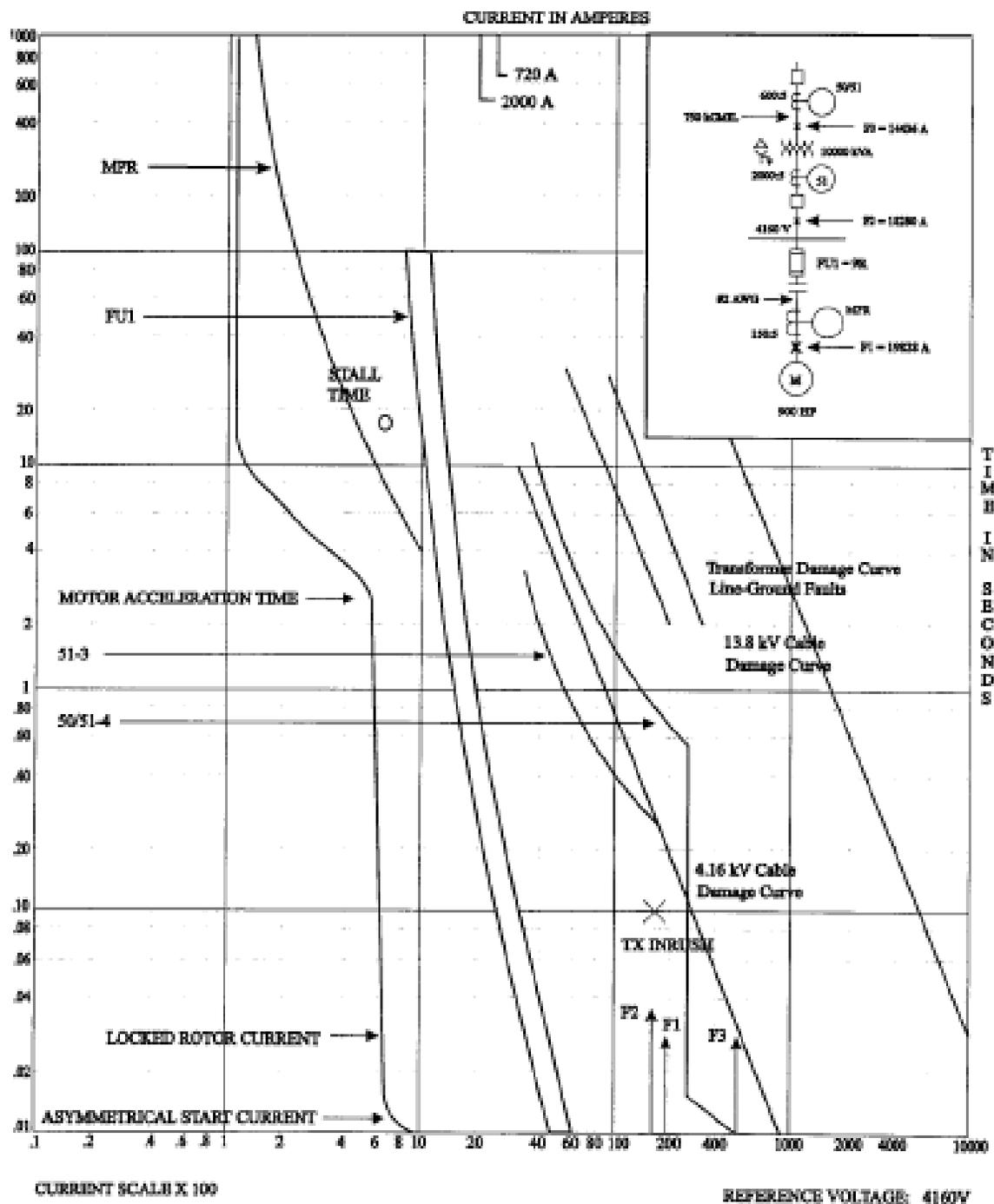


Figure 15-20— 10 000 kVA transformer primary relay coordination plot



Coordinación de Protecciones.

OVERCURRENT COORDINATION

IEEE
Std 242-2001

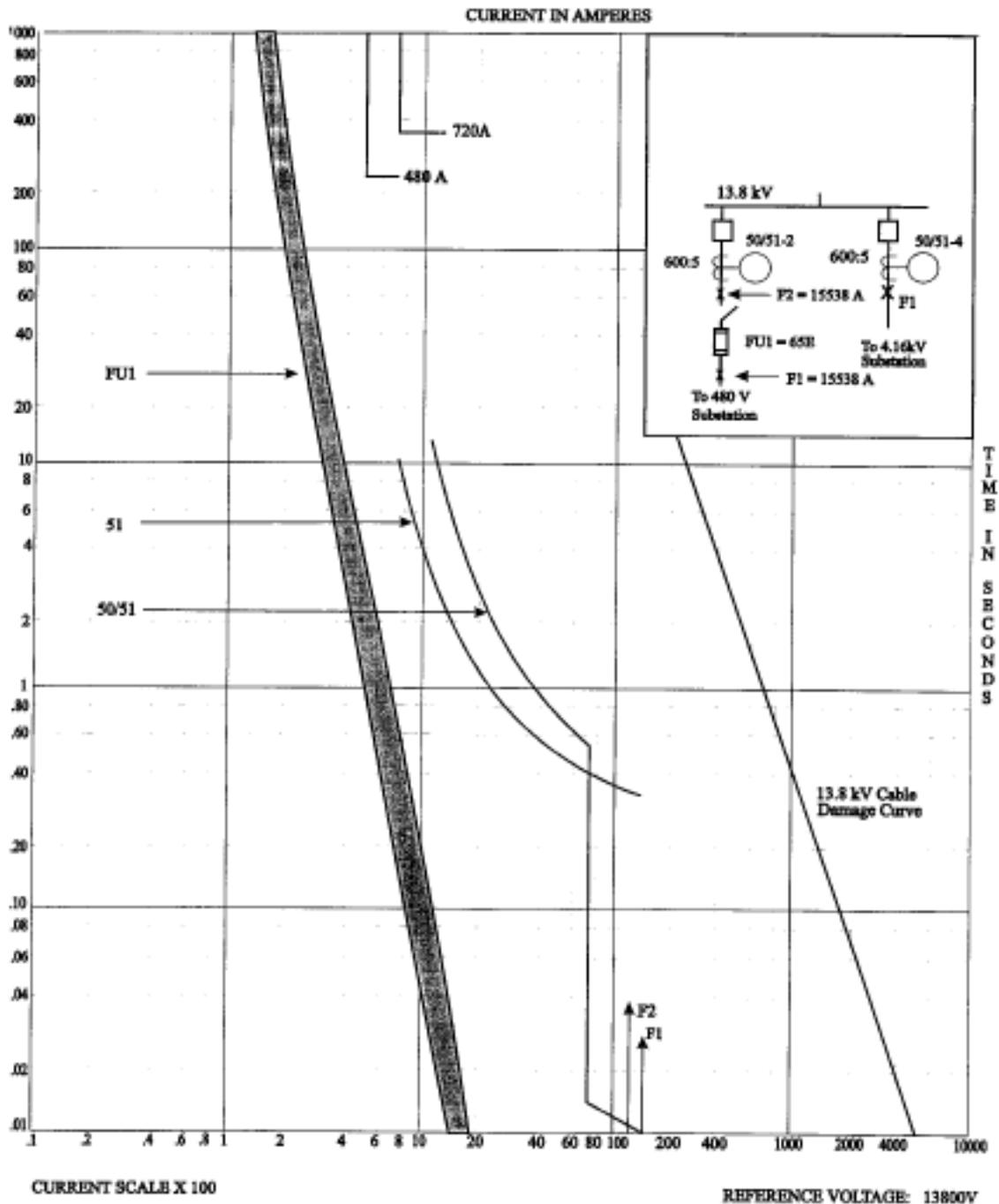
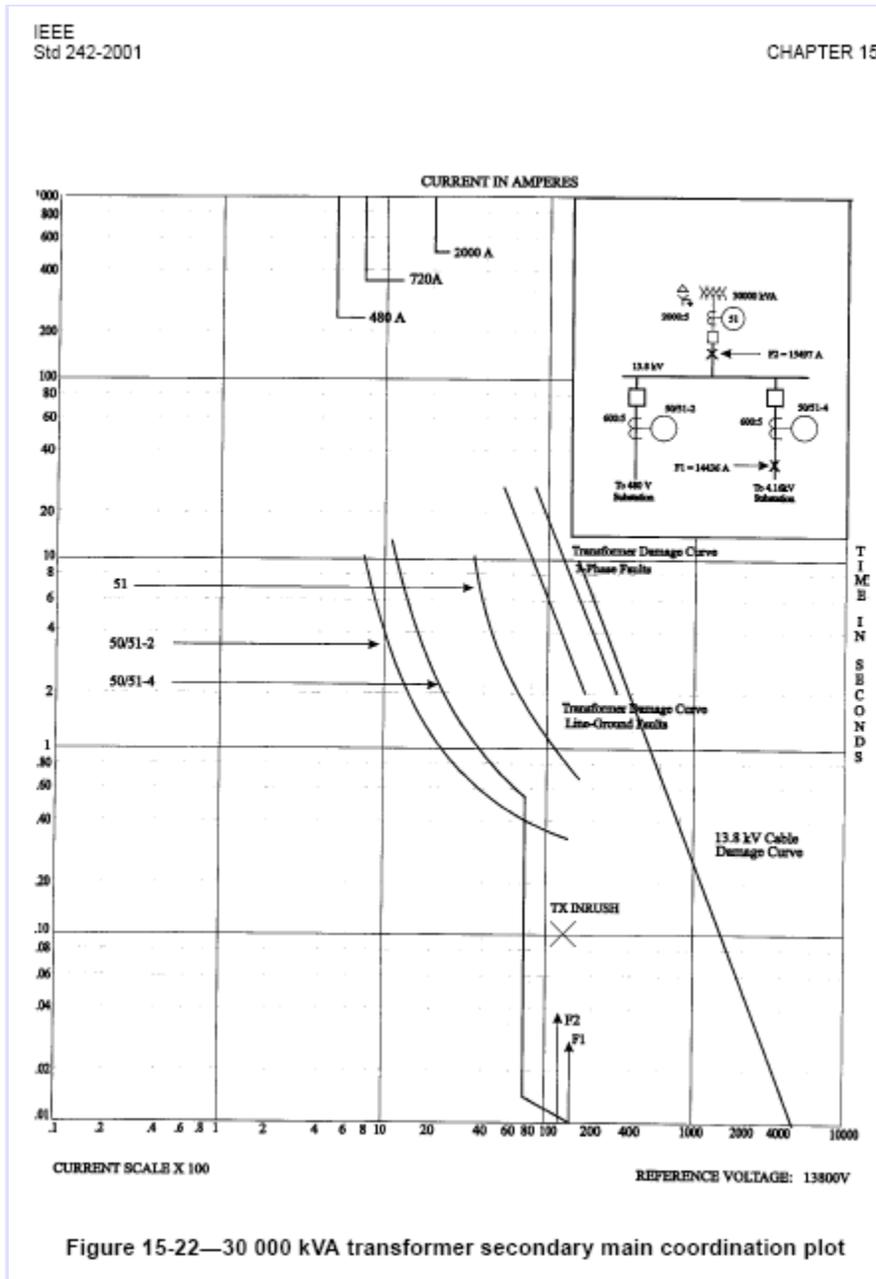
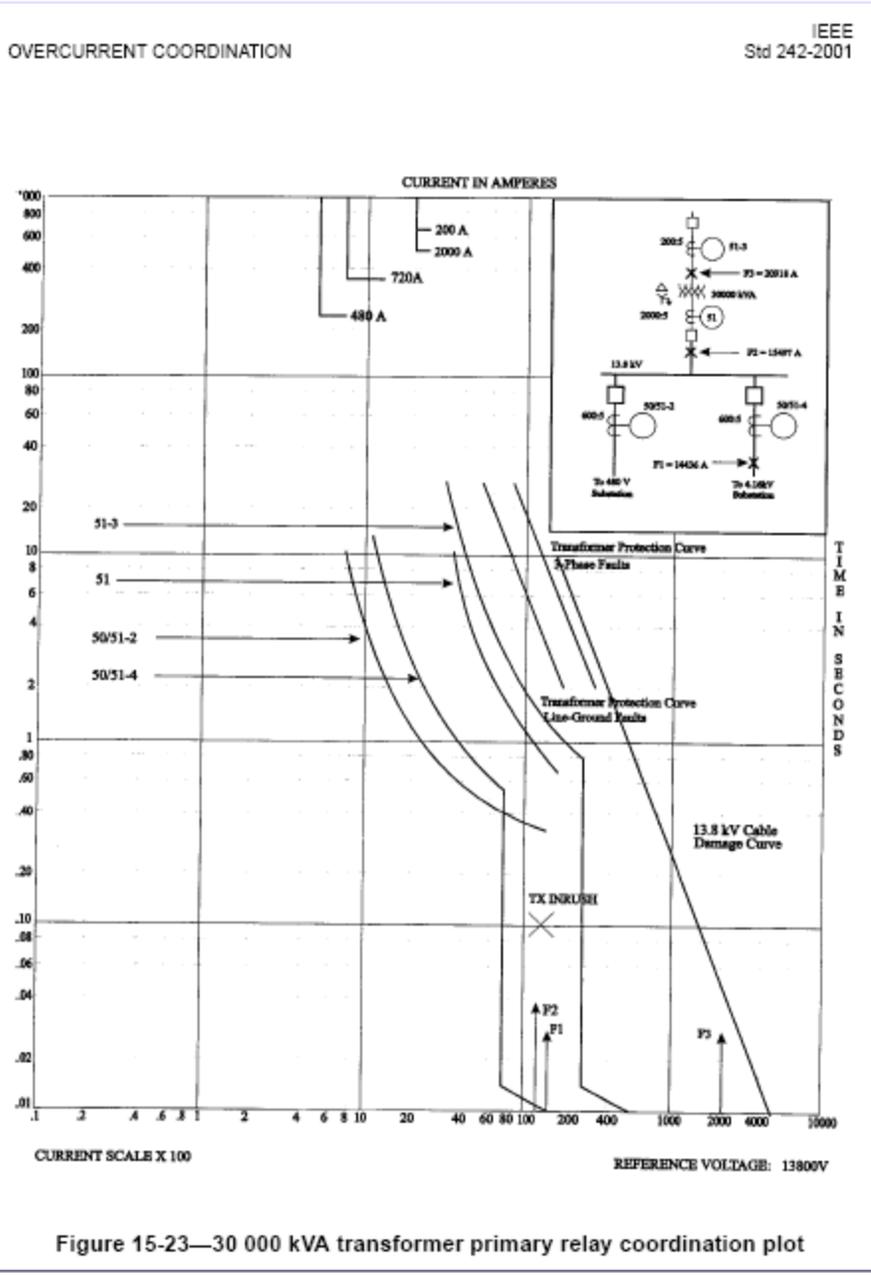


Figure 15-21— 13.8 kV feeder relay coordination plot



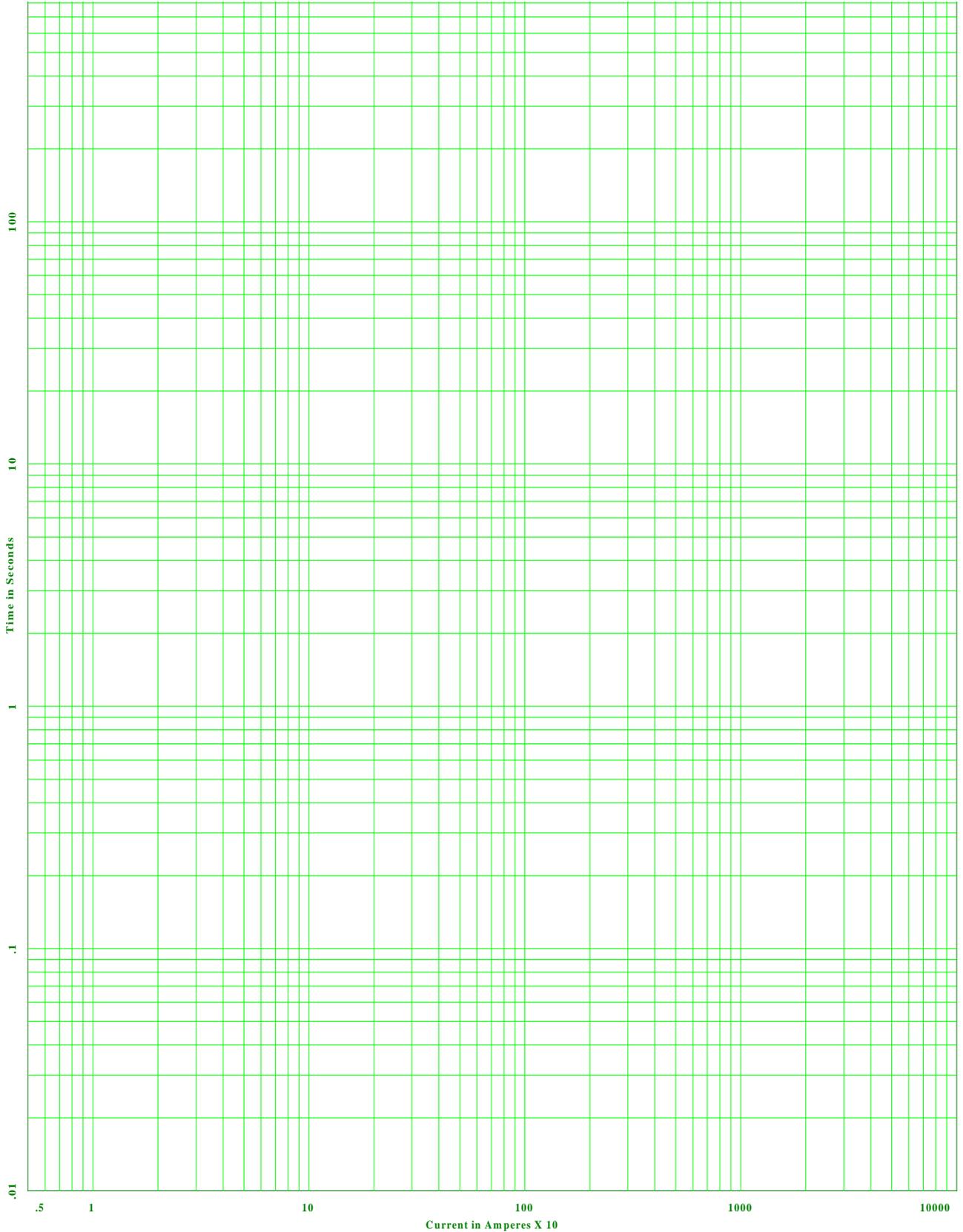


Coordinación de Protecciones.



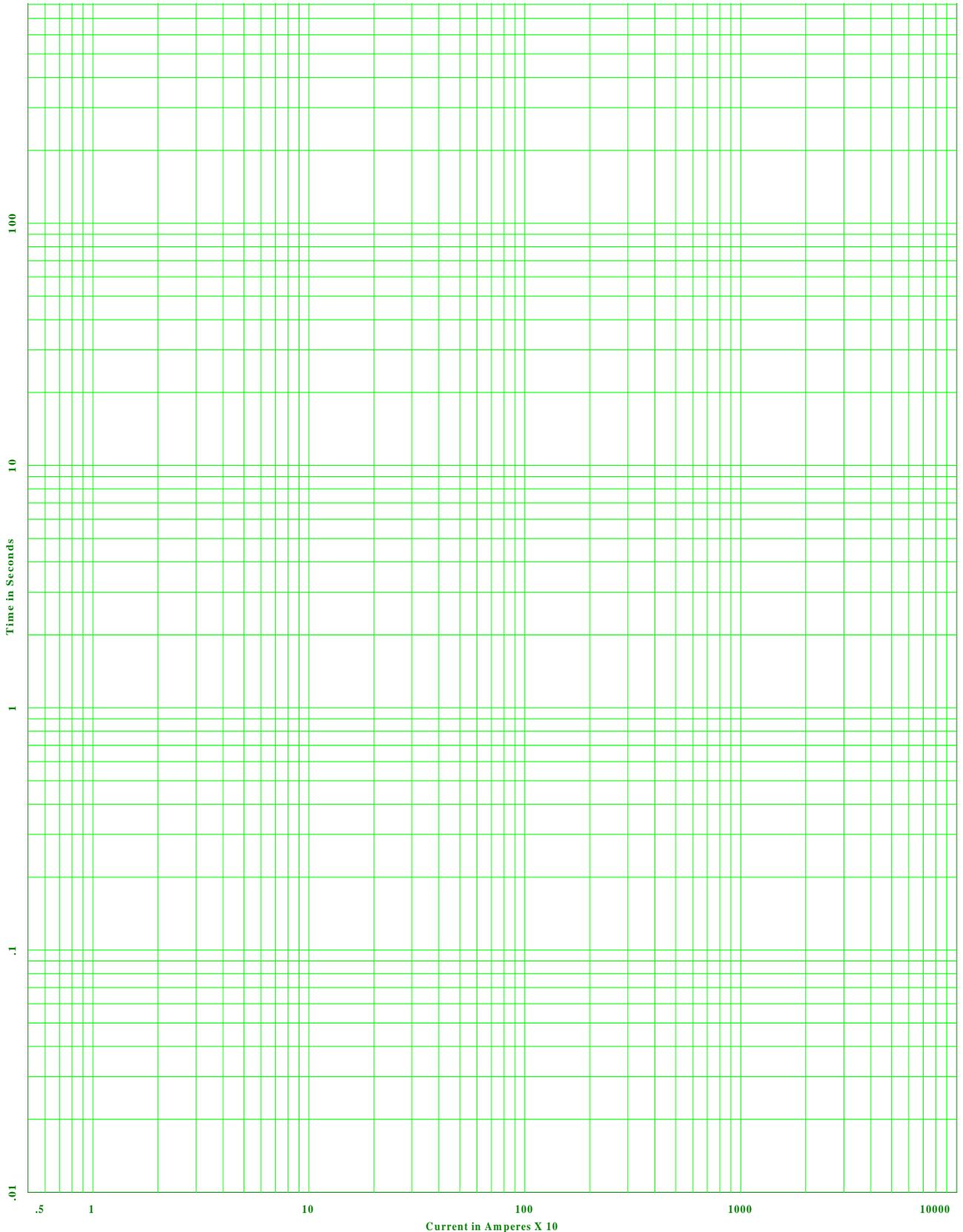


Coordinación de Protecciones.



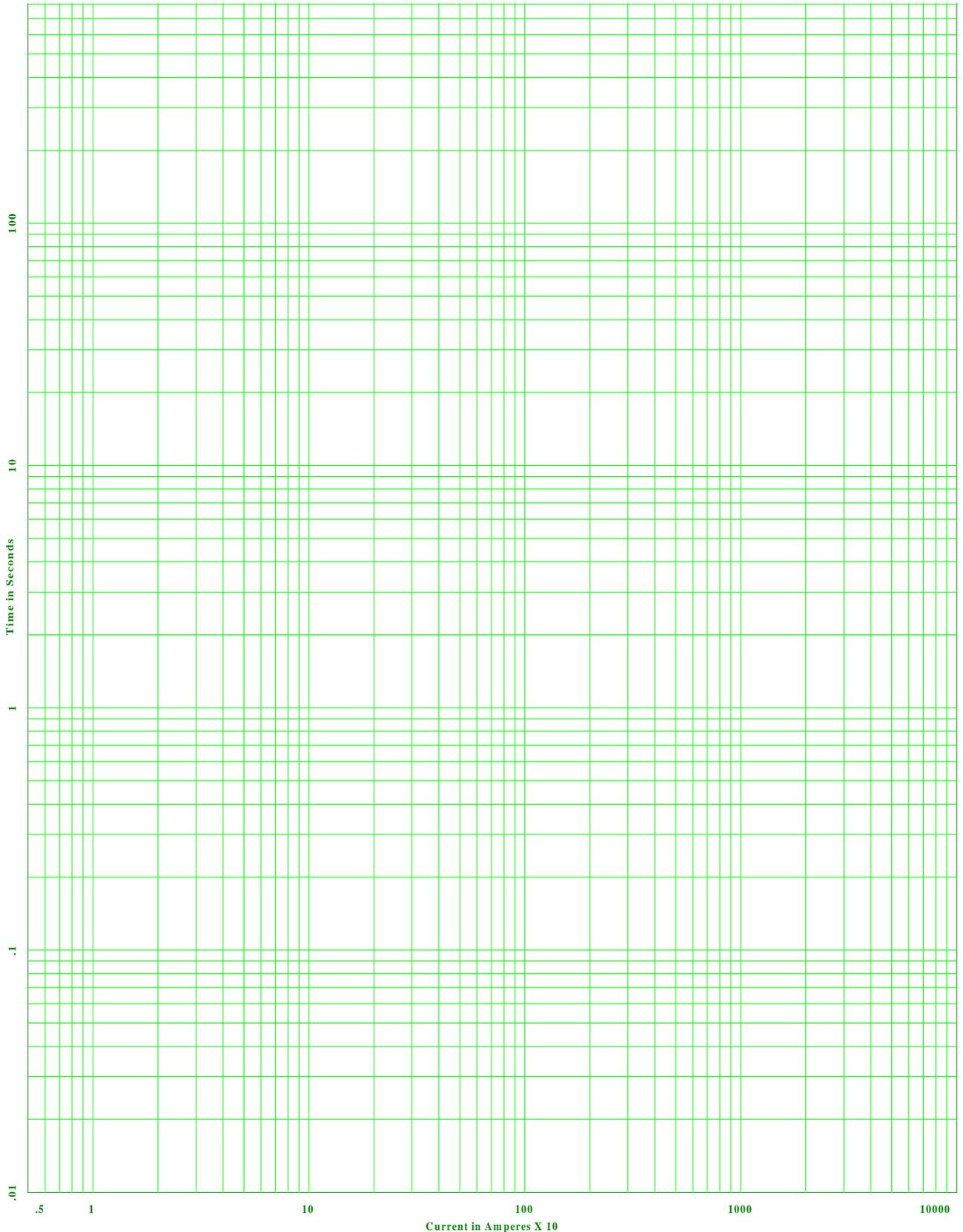


Coordinación de Protecciones.





Coordinación de Protecciones.





Coordinación de Protecciones.

