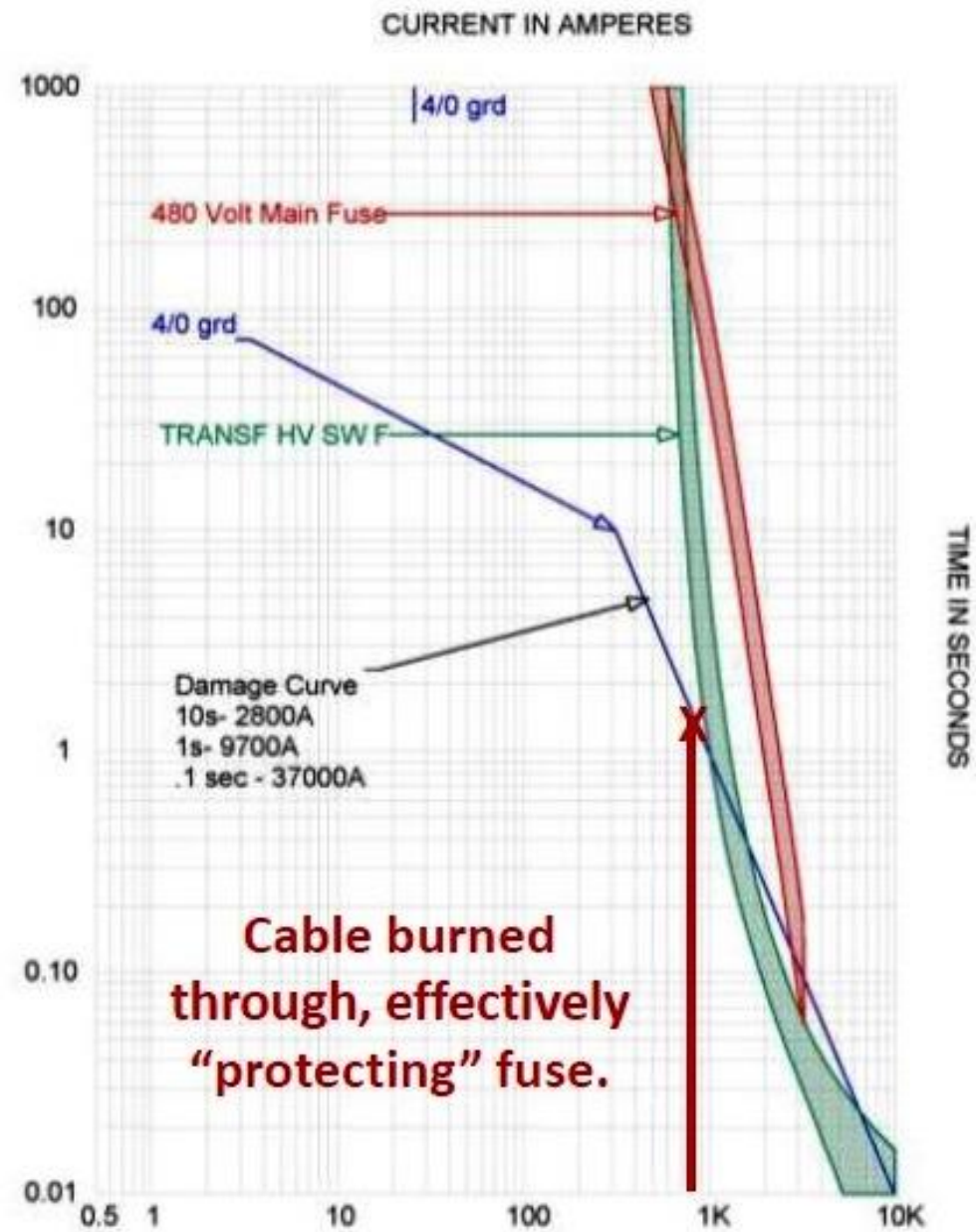


Ejemplos en Coordinación de Protecciones

Roberto Ruelas Gómez

www.ruelsa.com

r.ruelas-gomez@ieee.org



4/0 grd Cable Fault.tcc Ref. Voltage: 480 Current in Amps x 10
EJEMPLOS COMPLETOS - Roberto RUELAS-GOMEZ

5 EJEMPLO COMPLETO DE PROTECCIONES

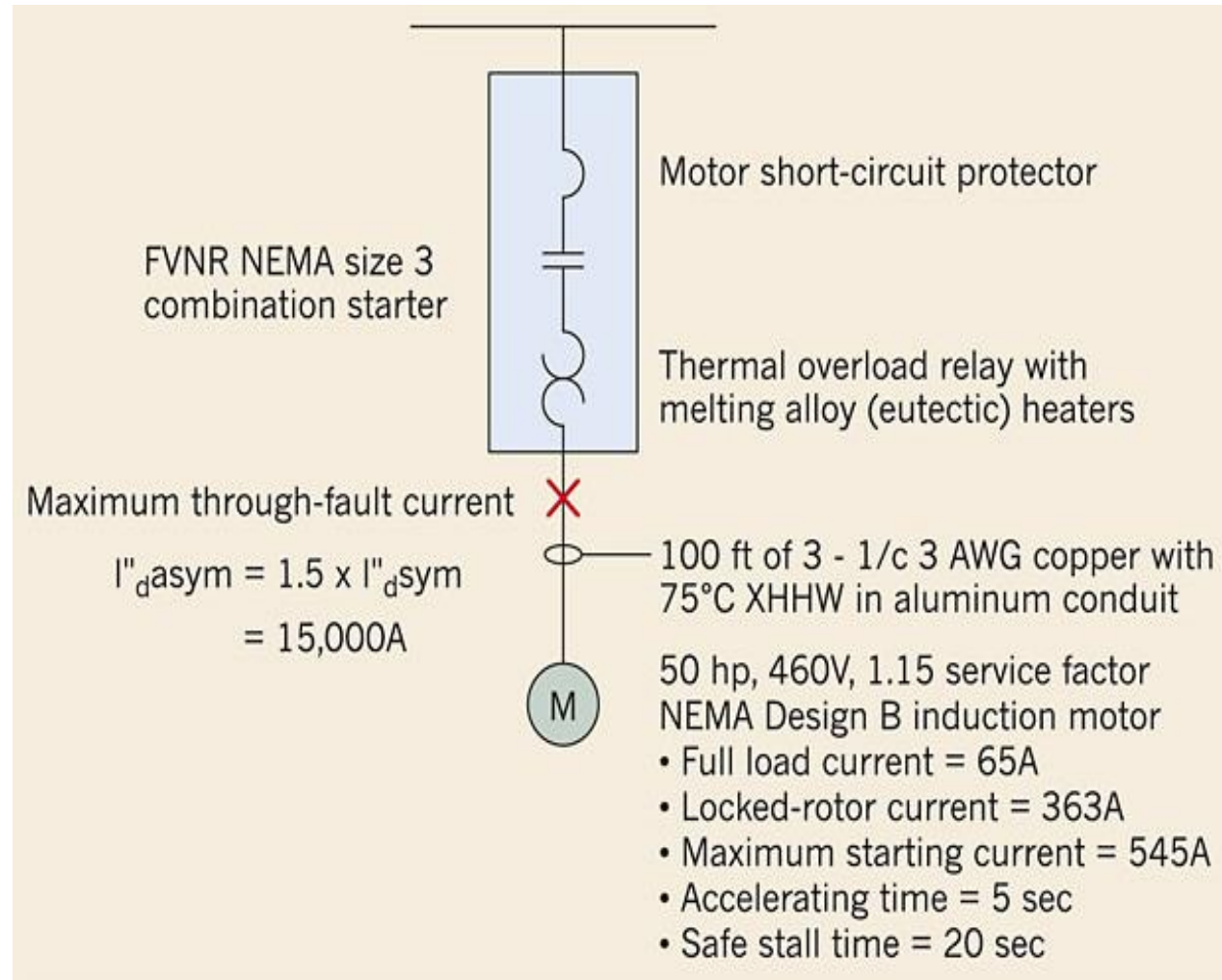
5.1 Protección de un motor

Coordinar las protecciones de un motor trifásico controlado por un arrancador NEMA tamaño 3, en un lugar donde la falla simétrica es de 10 kA

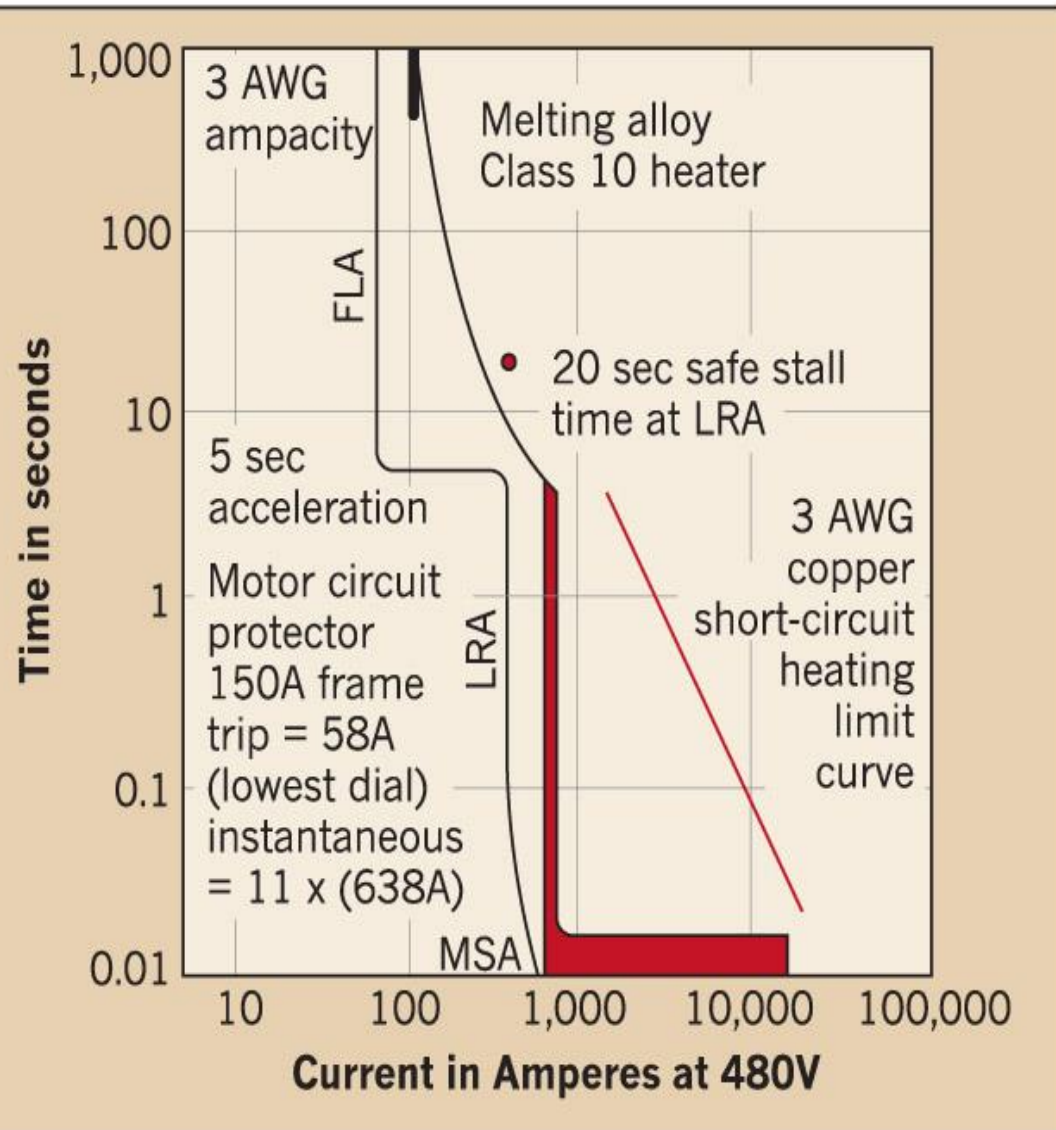
Datos del motor. Diseño NEMA B, 50 hp @ 460 V, 1.15 de factor de servicio, con una corriente a plena carga de 65 A tomada de la tabla 430-250 de la NOM y una corriente de rotor bloqueado de 363 A de la tabla 430-251(b) de la misma norma.

- Para obtener la corriente máxima que vamos a poner en nuestra gráfica tiempo corriente, requerimos considerar la asimetría máxima de la corriente al arranque y la corriente a rotor bloqueado, de ahí que tenemos $363\text{ A} \times 1.5$ del factor de asimetría = 545 A
- El tiempo lo consideramos seguro si no sobrepasa los 20 s , considerando las recomendaciones para un motor de diseño NEMA B y aislamiento clase B o F de la *“AC Motor Selection and Application Guide”*.

Caso 1. Protección con un interruptor magnético (*Motor Protector*) o fusibles



Caso 1. (Cont.)



La protección de sobrecarga la proveen tres relevadores de sobrecarga de aleación eutéctica clase 10, y la protección de cortocircuito mediante el interruptor tipo magnético

Caso 1. (Cont.)

En esta aplicación se está usando un interruptor de disparo solo magnético con un ajuste instantáneo de 125 A por encima de 545 A que necesita el motor para arrancar, de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012.



430-52. Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor.

c) Capacidad nominal o ajuste.

7) Protector del motor contra cortocircuito. *Se permitirá un protector contra cortocircuito del motor en lugar de los dispositivos especificados en la Tabla 430-52, si dicho protector es parte de una combinación aprobada de controlador de motor que posee protección coordinada contra sobrecarga del motor y protección contra cortocircuito y fallas a tierra en cada conductor, y que abrirá el circuito a corrientes que exceden el 1300 por ciento de la corriente de plena carga del motor para motores diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes y el 1700 por ciento de la corriente de plena carga para motores de diseño B energéticamente eficientes.*

Caso 1. (Cont.)

El relevador de sobrecarga clase 10 fue elegido por estar bajo el punto seguro de atasco del motor, protegiendo de esta manera la condición de rotor bloqueado por un tiempo largo.



Caso 1. (Cont.)

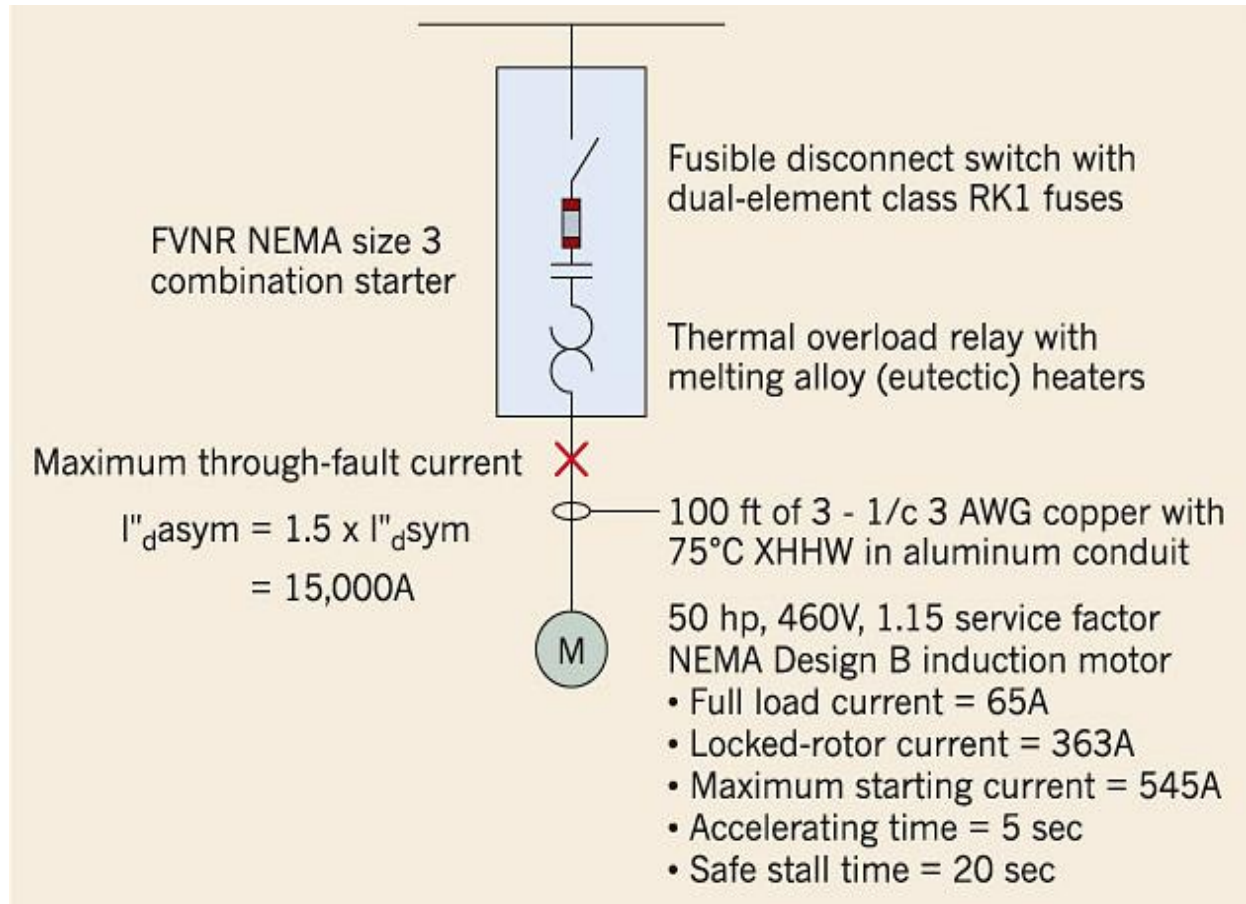
La ampacidad de cable de cobre tamaño 3 con aislamiento de 75 C es según la tabla 310-15(b)(16) de la NOM de 100 A, cumpliendo con ello también con la Sección siguiente:

430-22. Un solo motor. Los conductores que alimenten un solo motor usado en una aplicación de servicio continuo, deben tener ampacidad no menor al 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor, como se determina en 430-6(a)(1), o no menos a la especificada a continuación

Caso 1. (Cont.)

El conductor y el relevador de sobrecarga no tienen muy definida su selectividad por la banda de tolerancia real que existe, pero si está protegido el conductor por cortocircuito porque los conductores aguantan la corriente máxima que puede soportar el interruptor (*Maximum Through-Fault Current*) de 15 kA en 0.01 s

Caso 2. Protección contra Cortocircuito con Fusibles de Doble Elemento



Caso 2. (Cont.)

El fusible de protección se selecciona según la sección de la NOM

430-52. Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor.

c) Capacidad nominal o ajuste.

1) De acuerdo con la Tabla 430-52. Se debe emplear un dispositivo de protección con valor nominal o un ajuste que no exceda el valor calculado de acuerdo con los valores dados en la Tabla 430-52.

Tabla 430-52.- Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores

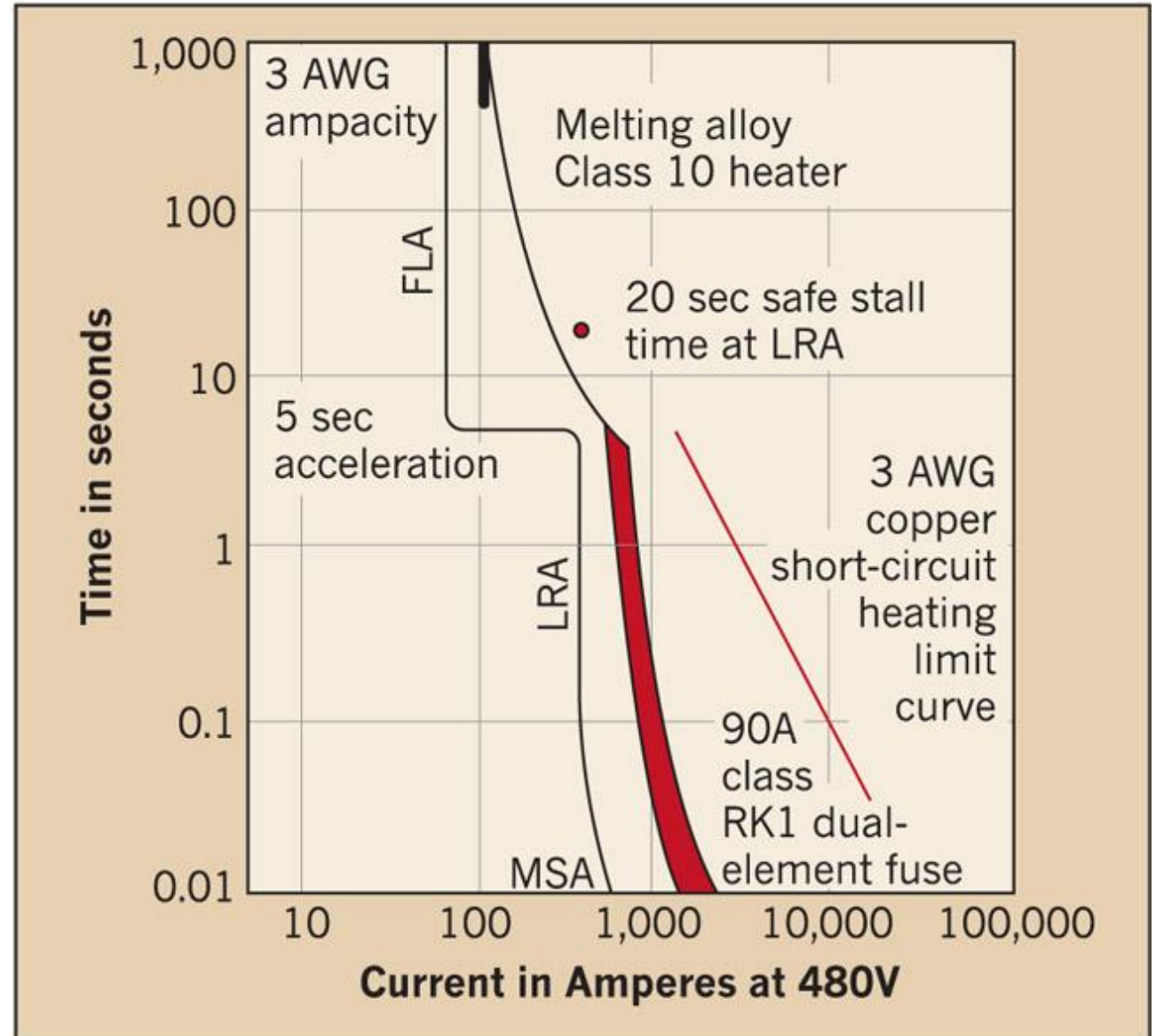
Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible de dos elementos ¹ (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos ³	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

Caso 2. (Cont.)

$$65 \text{ A} \times 175\% = 113.75 \text{ A}$$

Aunque un fusible de 125 A es aceptable por la Excepción 1 de 430-52, fusibles de 90 A permiten una mejor protección por fallas a tierra del lado de carga de los fusibles.

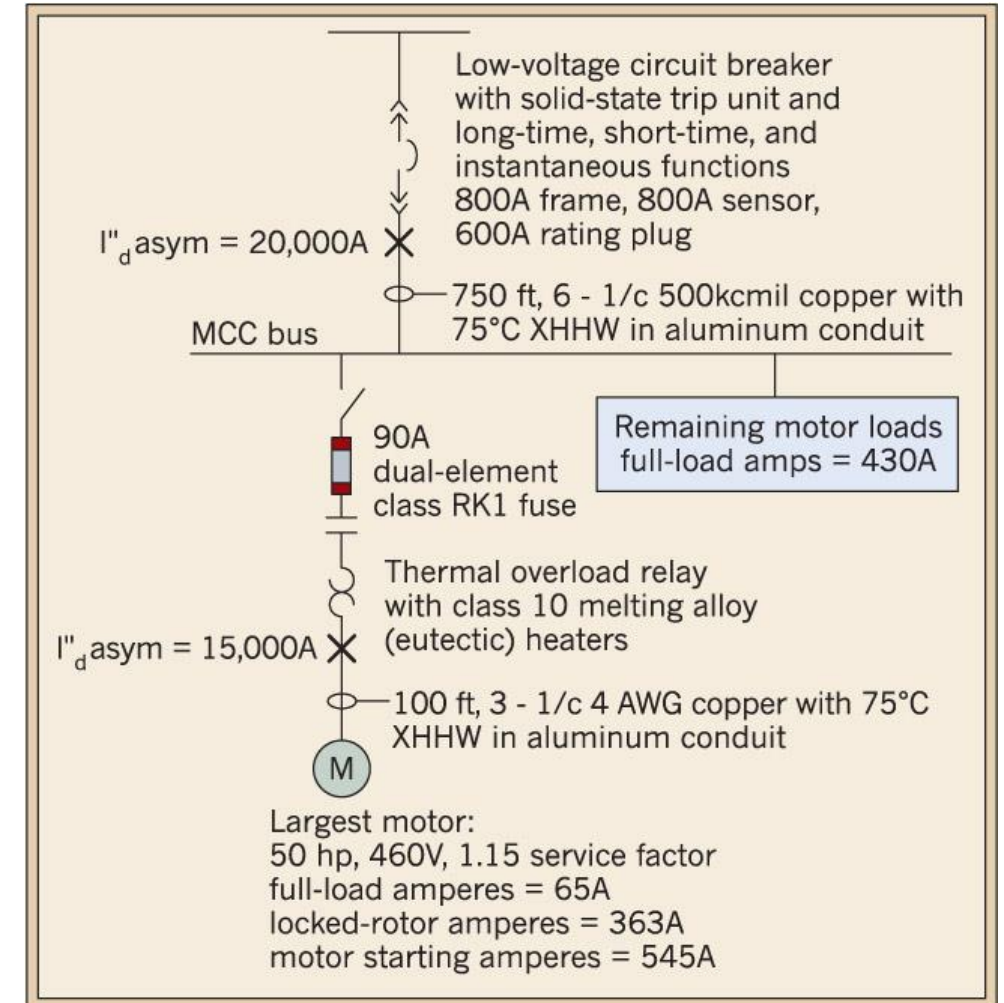
Caso 2. (Cont.)



5.2 Protección del CCM

La protección del CCM es un interruptor de potencia (LVPCB) con una unidad de disparo electrónica que tiene las funciones instantánea, tiempo largo y tiempo corto.

En el CCM la mayor carga de motores es el motor de 50 hp



5.2 CCM (Cont.)

El CCM tiene un bus y conductores para 600 A de acuerdo con la NOM

430-24. Varios motores o motores y otras cargas. *Los conductores que alimentan varios motores o motores y otras cargas deben tener una ampacidad no menor a la suma de cada uno de los siguientes:*

(1) 125 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, tal como se determina en 430-6(a).

$$65 \text{ A} \times 125\% + 430 \text{ A} = 511 \text{ A}$$

Los conductores fueron calculados con la Tabla 310-15(b)(16) considerando los factores de corrección de la Sección 310-15 también de la NOM

5.2 CCM (Cont.)

Ampacidad de los conductores de cobre tamaño 500 kcm @ 75 C = 380 A c/u

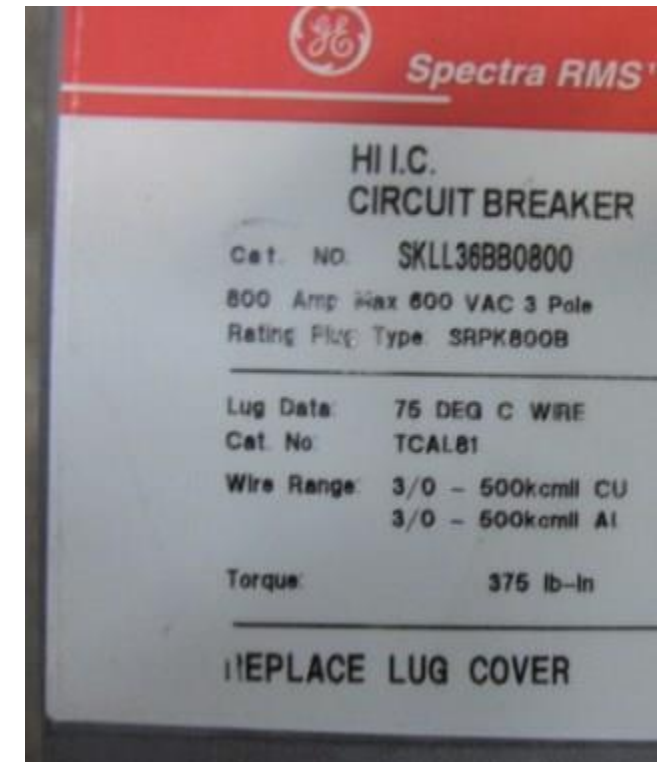
Factor de agrupamiento de 6 conductores en una misma canalización = 80%

Ampacidad de los 2 cables en paralelo => $380 \text{ A} \times 80\% \times 2 = 608 \text{ A}$

El ajuste de pastilla de 600 A del interruptor satisface los requisitos de la Sección

5.2 CCM (Cont.)

430-94. Protección contra sobrecorriente. Los centros de control de motores deben estar dotados con protección contra sobrecorriente de acuerdo con las Partes A, B y G del Artículo 240. El valor nominal en amperes o el ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorriente no debe exceder el valor nominal de corriente de las barras.



5.2 CCM (Cont.)

Sin embargo, el ajuste de tiempo largo de la unidad de disparo debe ser colocado a un menor valor para cumplir con

430-62. Capacidad o ajuste (carga del motor).

a) Carga específica. *Un circuito alimentador que se utilice para la alimentación de unas cargas fijas específicas de motores y que conste de conductores dimensionados en base a 430-24, debe estar dotado de un dispositivo de protección con un valor nominal o ajuste no mayor al mayor valor nominal o ajuste del dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado para cualquier motor alimentado por el alimentador más la suma de todas las corrientes de plena carga de los demás motores del grupo.*

5.2 CCM (Cont.)

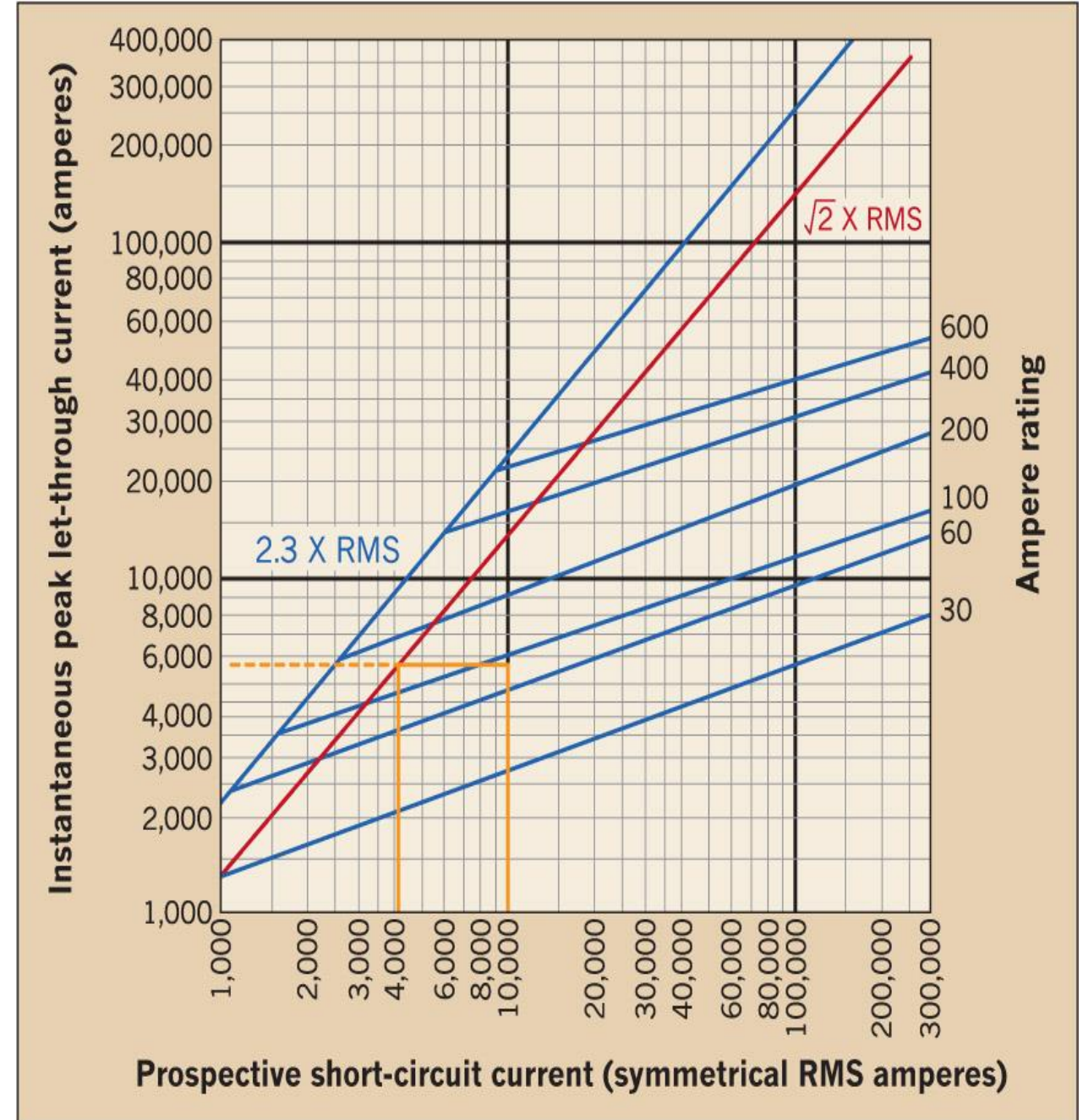
En este caso: $90\text{ A} + 430\text{ A} = 520\text{ A}$

Debido a que los CCMs son probados a una corriente sostenida de cortocircuito por 3 ciclos solamente según UL 845 *Motor Control Centers*, la función instantánea de la unidad de disparo tiene que ser ajustada para proteger el CCM con esos valores. En el ejemplo, el CCM aguanta una corriente de cortocircuito simétrico rms de 42 kA.

5.2 CCM (Cont.)

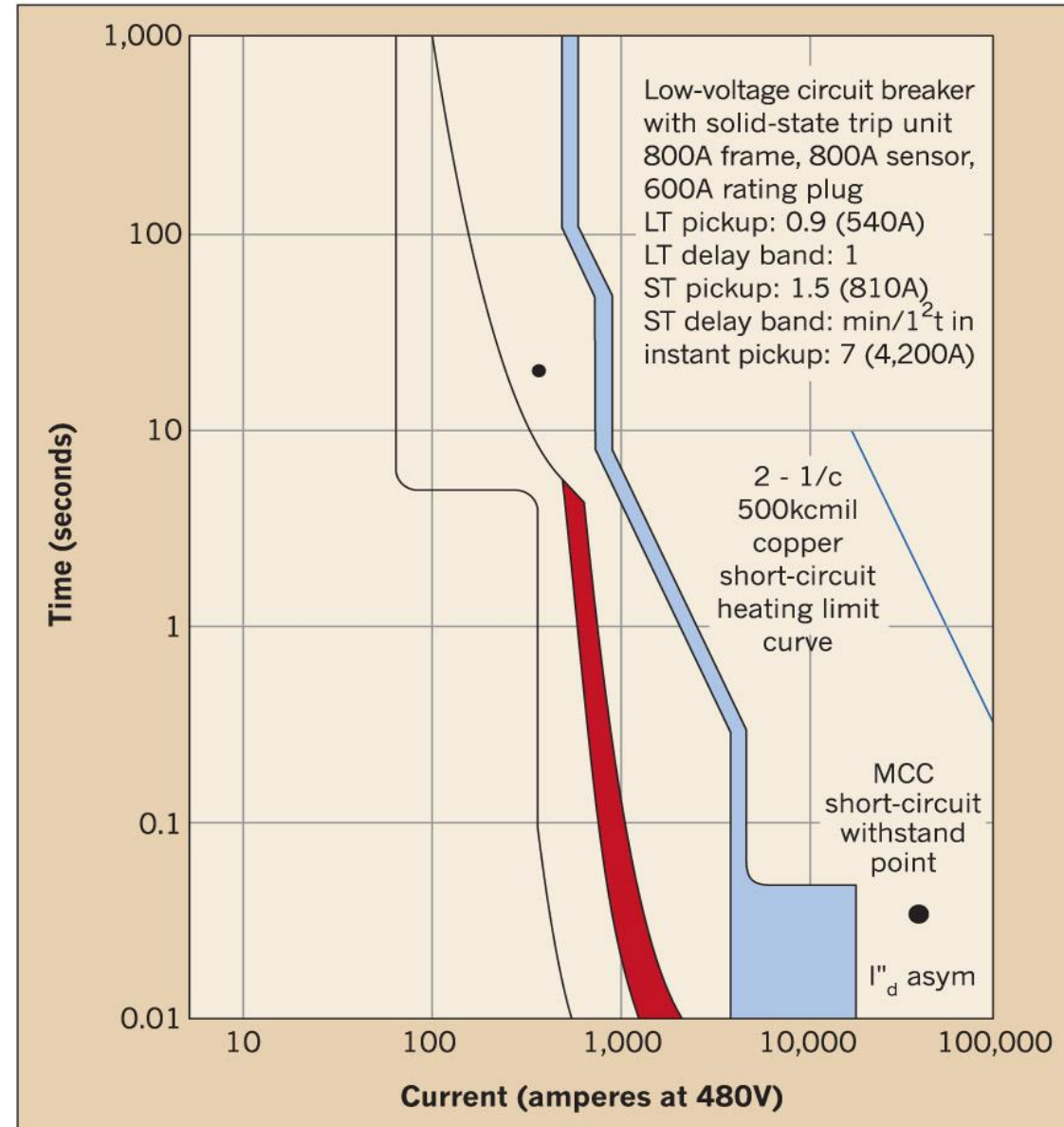
En el diagrama unifilar se muestra que el circuito derivado del motor está protegido por fusibles de tipo RK1 como vimos en el caso 2 anterior. Como ese tipo de fusible es capaz de interrumpir una falla en menos de medio ciclo (i.e. 0.0083 s) en su parte de limitación de corriente, las curvas de tiempo corriente que empiezan en 0.01 s no nos sirven para determinar la coordinación que existe entre los fusibles y el interruptor en fallas de gran corriente. Por lo que el valor mínimo de ajuste (*pick up*) instantáneo para asegurar la selectividad se determinará con la gráfica *Peak Let-Through* del fusible a la corriente máxima esperada.

Esta gráfica para el fusible de característica RK1 tiene dos líneas diagonales, una marcada como “2.3 x RMS”, y otra “Raiz 2 x RMS”. La primera es la corriente disponible de pico a un factor de potencia de 15%, y la segunda es la corriente disponible de pico para el interruptor porque su ajuste pico es igual a su ajuste rms x raíz (2).



5.2 CCM (Cont.)

Se recuerda que la corriente simétrica de falla es de 10kA, y con un fusible de 90 A, la corriente que deja pasar el fusible (Peak Let Thru) es de 5800 A, lo que equivale a 4100 A de corriente simétrica rms que ve el interruptor. Ajustando el “pick up” instantáneo del interruptor arriba de este valor asegura una operación selectiva entre fusible e interruptor en todas las condiciones, por lo que se ajusta a 7 veces el valor ($7 \times 600 = 4200$ A).



5.2 CCM (Cont.)

Los ajustes de tiempo corto deben tomar en cuenta la corriente máxima de carga que se puede tener

Corriente a rotor bloqueado del motor mayor por 1.5 del factor de asimetría de la falla + la corriente de plena carga de las otras cargas.

$$363 \text{ A} \times 1.5 + 430 \text{ A} = 975 \text{ A}$$

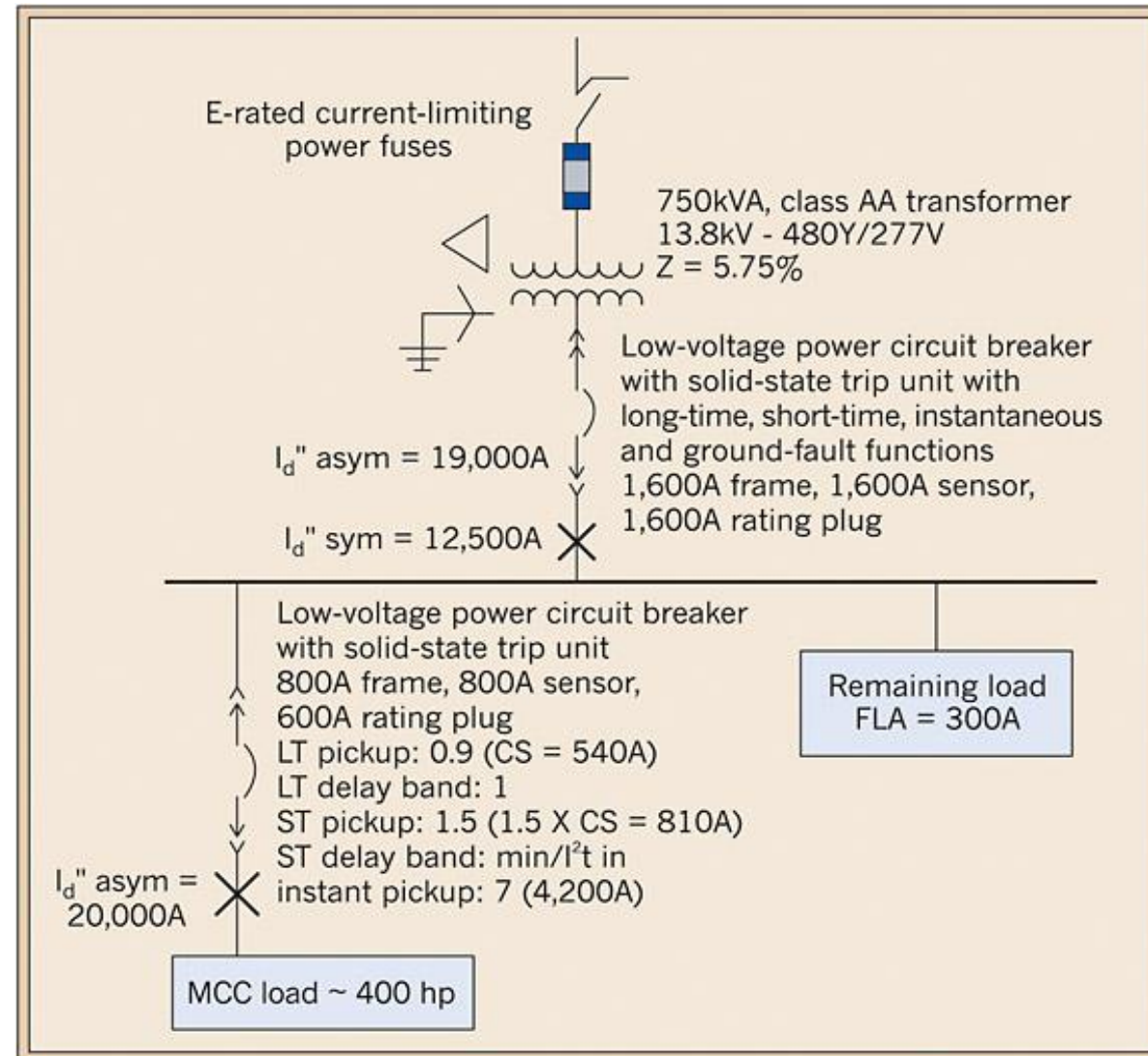
Y, baja ese factor de asimetría a 1 en unos cuantos ciclos, que normalmente se considera en 0.1, por lo que a partir de ese tiempo la corriente es:

$$363 \text{ A} \times 1.0 + 430 \text{ A} = 793 \text{ A}$$

Como se observa, cualquier ajuste de tiempo corto del interruptor no es afectado por esos valores.

Finalmente, la parte instantánea del interruptor protege que el CCM sea sujeto a niveles de corriente mayores más allá de su especificación a 3 ciclos y cumple con la Sección 430-63(a) de la NOM-001-SEDE-2012.

5.3 Protección de la subestación



5.3 Subestación

Marcamos en la gráfica tiempo corriente:

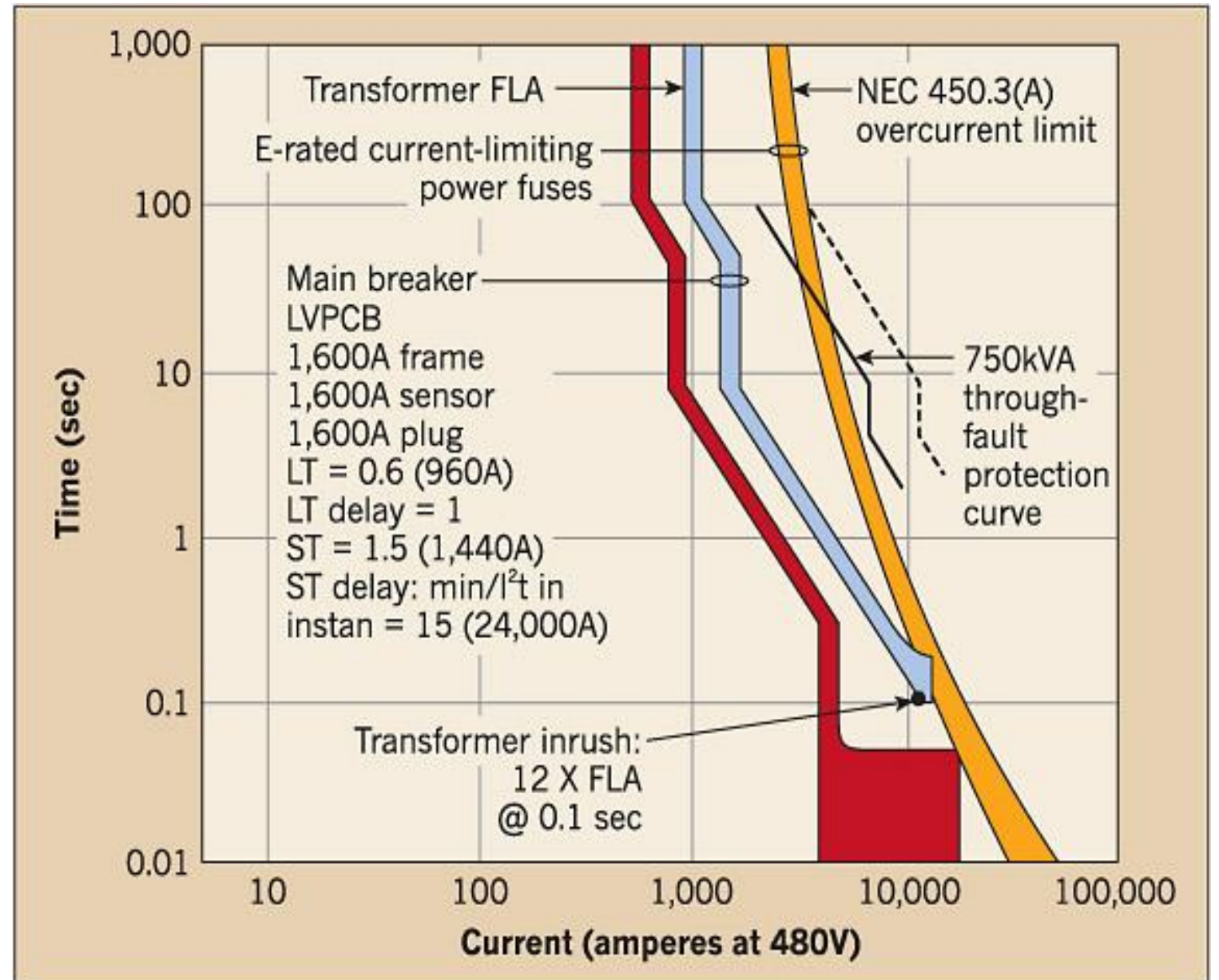
- El punto Inrush, a 12 veces la corriente nominal del transformador @ 0.1 s. $12 \times 902 \text{ A} = 10\,825 \text{ A}$
- El punto ANSI a 17.7 el 58% de la corriente de plena carga a 3.77s, para transformadores de 5.7% de impedancia.

$$7.7 \times 0.58 \times 902 \text{ A} = 9260 \text{ A} @ 3.77 \text{ s}$$

- El punto NEC a 3 veces la corriente de plena carga por ser protegido por fusibles

$$3 \times 902 \text{ A} = 2706 \text{ A}$$

5.3 Subestación



5.3 Subestación (Cont.)

- Si la protección de tiempo largo del interruptor del secundario (en azul en la gráfica) la ajustamos a 960 A (0.6×1600 A) para cumplir con la

Tabla 450-3(a).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador).

Tabla 450-3(a).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador).

Limitaciones sobre el lugar	Impedancia nominal del transformador	Protección del secundario (ver la Nota 2)				
		Protección del primario, más de 600 volts		Protección del secundario (ver la Nota 2)		
		Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Valor nominal del interruptor automático o fusible
Cualquier lugar	No más del 6%	600% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	125% (ver Nota 1)
	Más del 6%, pero máximo el 10%	400% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	225% (ver Nota 1)	125% (ver Nota 1)
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3).	Cualquiera	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	No se exige	No se exige	No se exige
	No más del 6%	600%	300%	300% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)
	Más del 6% pero máximo el 10%	400%	300%	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)

NOTAS:

NOTAS:

- Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior.
- Donde la corriente nominal del transformador por 125% es el valor de ajuste máximo de la protección

5.3 Subestación (Cont.)

- $902 \text{ A} \times 1.25 = 1128 \text{ A}$
- Es importante notar que la región instantánea de este interruptor quedó deshabilitada al ajustarla arriba de los 19 kA del cortocircuito
- $15 \times 1600 \text{ A} = 24000 \text{ A}$

5.3 Subestación (Cont.)

- Y la parte de tiempo corto apenas la ajustamos para que el punto Inrush quede a la izquierda, y, tomamos como referencia la curva del interruptor de protección del CCM, logramos tanto la selectividad como la protección en todos los puntos.

5.3 Subestación (Cont.)

- Los ajustes de tiempo corto deben tomar en cuenta la corriente máxima de carga que se puede tener
- Corriente a rotor bloqueado del motor mayor por 1.5 del factor de asimetría de la falla + la corriente de plena carga de las otras cargas del CCM + corriente de plena carga de otras cargas conectadas a la subestación.

5.3 Subestación (Cont.)

- $363 \text{ A} \times 1.5 + 430 \text{ A} + 300 \text{ A} = 1275 \text{ A}$
- Y, baja ese factor de asimetría a 1 en unos cuantos ciclos, que normalmente se considera en 0.1, por lo que a partir de ese tiempo la corriente es:
- $363 \text{ A} \times 1.0 + 430 \text{ A} + 300 \text{ A} = 1093 \text{ A}$

5.3 Subestación (Cont.)

- Como se observa, cualquier ajuste de tiempo corto del interruptor no es afectado por esos valores.
- Continuamos ahora con las consideraciones que nos permiten elegir un fusible de media tensión 40E.

5.3 Subestación (Cont.)

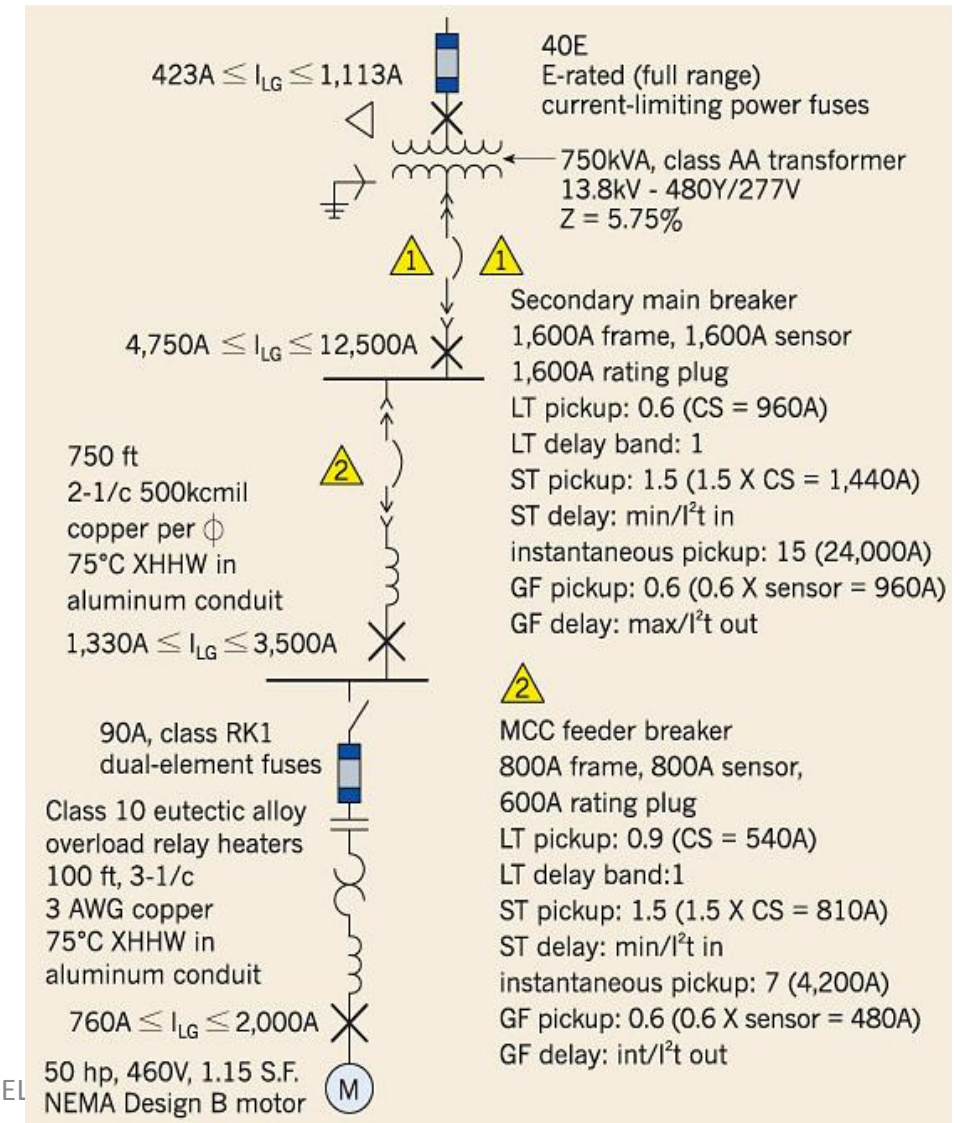
Primeramente observamos que la corriente a plena carga del transformador @ 13.8 kV es 31 A y la tabla 450-3(a) vista arriba nos pone un límite máximo a la protección del primario de la subestación en 300% la corriente nominal, o 94 A @ 13.8 kV (2706 A @ 480 V) lo cual cumplimos con este fusible y, que apenas sobrepasamos el punto Inrush, y coordina bien con el interruptor principal (19 kA) antes de los 30 ciclos (0.5s) de daño de los equipos.

5.3 Subestación (Cont.)

Hay que observar que existe la posibilidad de daño al transformador con corrientes bajas por estar fuera del rango de ese fusible debido a las limitaciones del Punto NEC y del Punto Inrush.

5.4 Protección por falla a tierra

Se desea ajustar las protecciones por falla a tierra de los dos interruptores marcados con triángulos



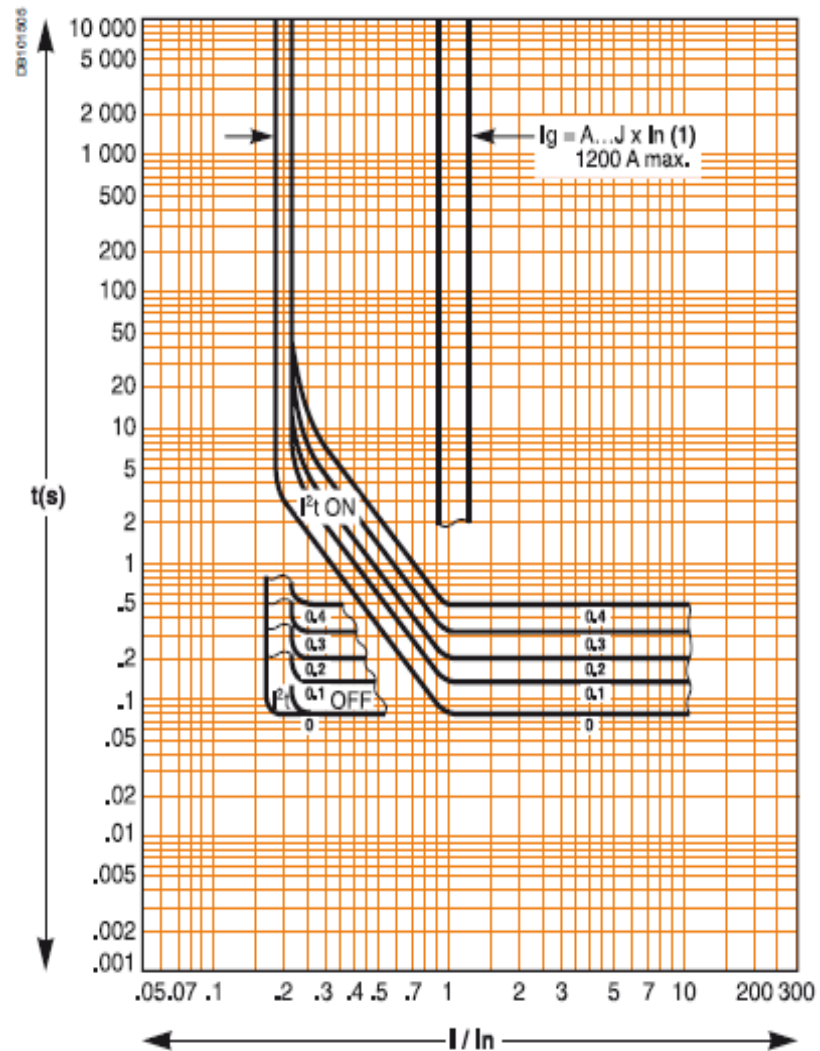
5.4 Protección por falla a tierra (Cont.)

230-95. Equipo de protección contra falla a tierra.

a) Configuración y Ajuste. *El sistema de protección contra fallas a tierra debe funcionar haciendo que el medio de desconexión de los conductores de recepción del suministro abra todos los conductores de fase del circuito con falla. El máximo ajuste de esa protección debe ser de 1200 amperes y el retardo máximo debe ser de un segundo para corrientes de falla a tierra iguales o mayores que 3000 amperes.*

- En el interruptor grande colocamos los ajustes máximos de corriente y de tiempo a $I_g = 0.6 \times 1600 \text{ A} = 960 \text{ A}$ y $t_g = 0.4 \text{ s} - I_2 t \text{ off}$.
- Y, en el interruptor pequeño: $I_g = 0.6 \times 800 \text{ A} = 480 \text{ A}$, y $t_g = 0.2 \text{ s} - I_2 t \text{ off}$

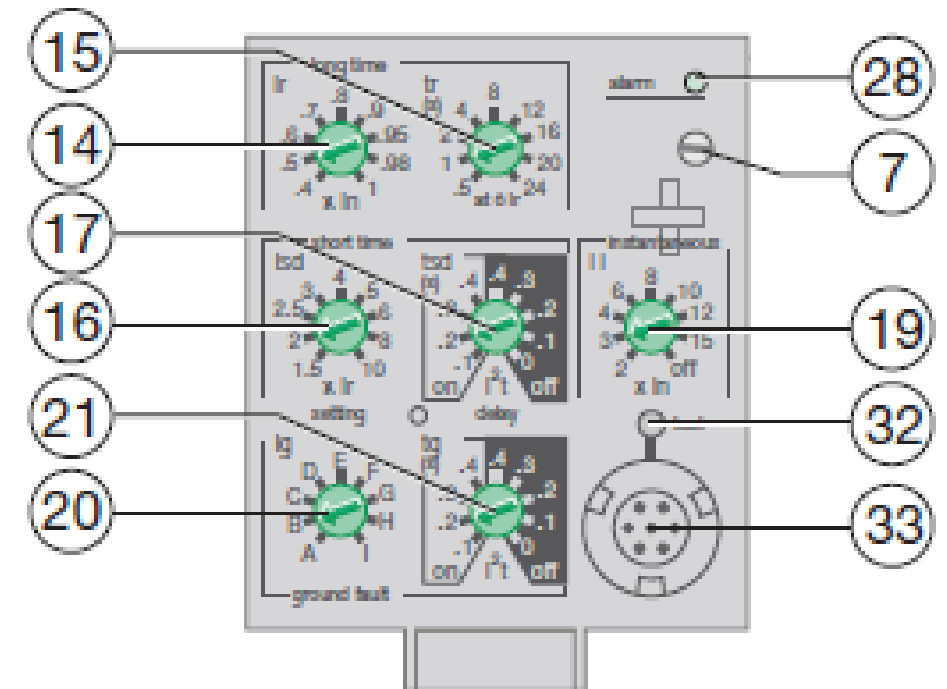




(1)

Ig = ln x...	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ig < 400 A	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
400 A ≤ Ig ≤ 1200 A	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Ig > 1200 A	500	640	720	800	880	960	1040	1120	1200

Micrologic 6.0 A



5.4 Protección por falla a tierra (Cont.)

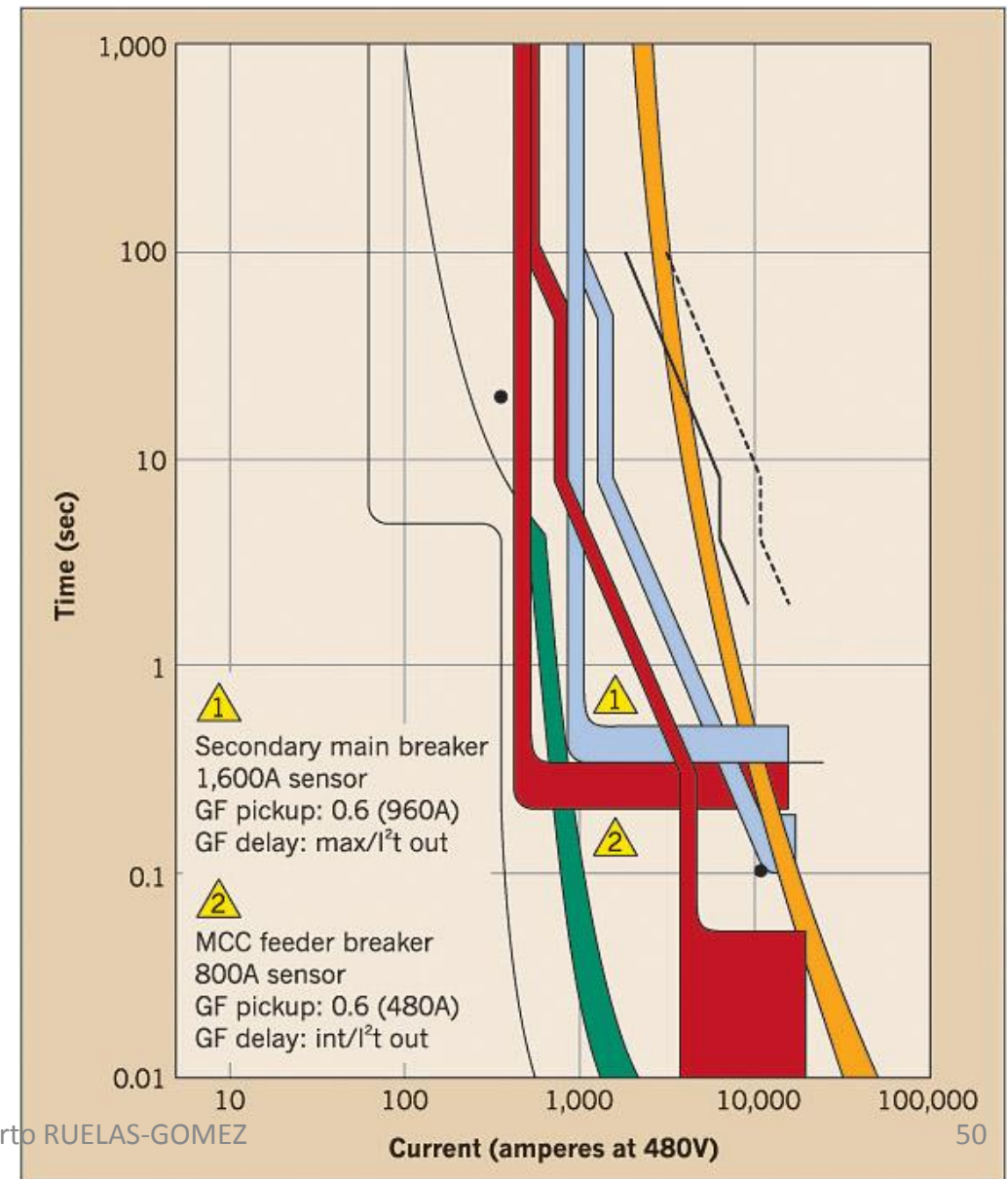
Del cálculo de cortocircuito obtenemos los valores de las fallas a tierra en los siguientes puntos

- Int. Principal $4750 \text{ A} < I_{LG} < 12500 \text{ A}$
- CCM $1330 \text{ A} < I_{LG} < 3500 \text{ A}$
- Motor $760 \text{ A} < I_{LG} < 2000 \text{ A}$

5.4 falla a tierra (Cont.)

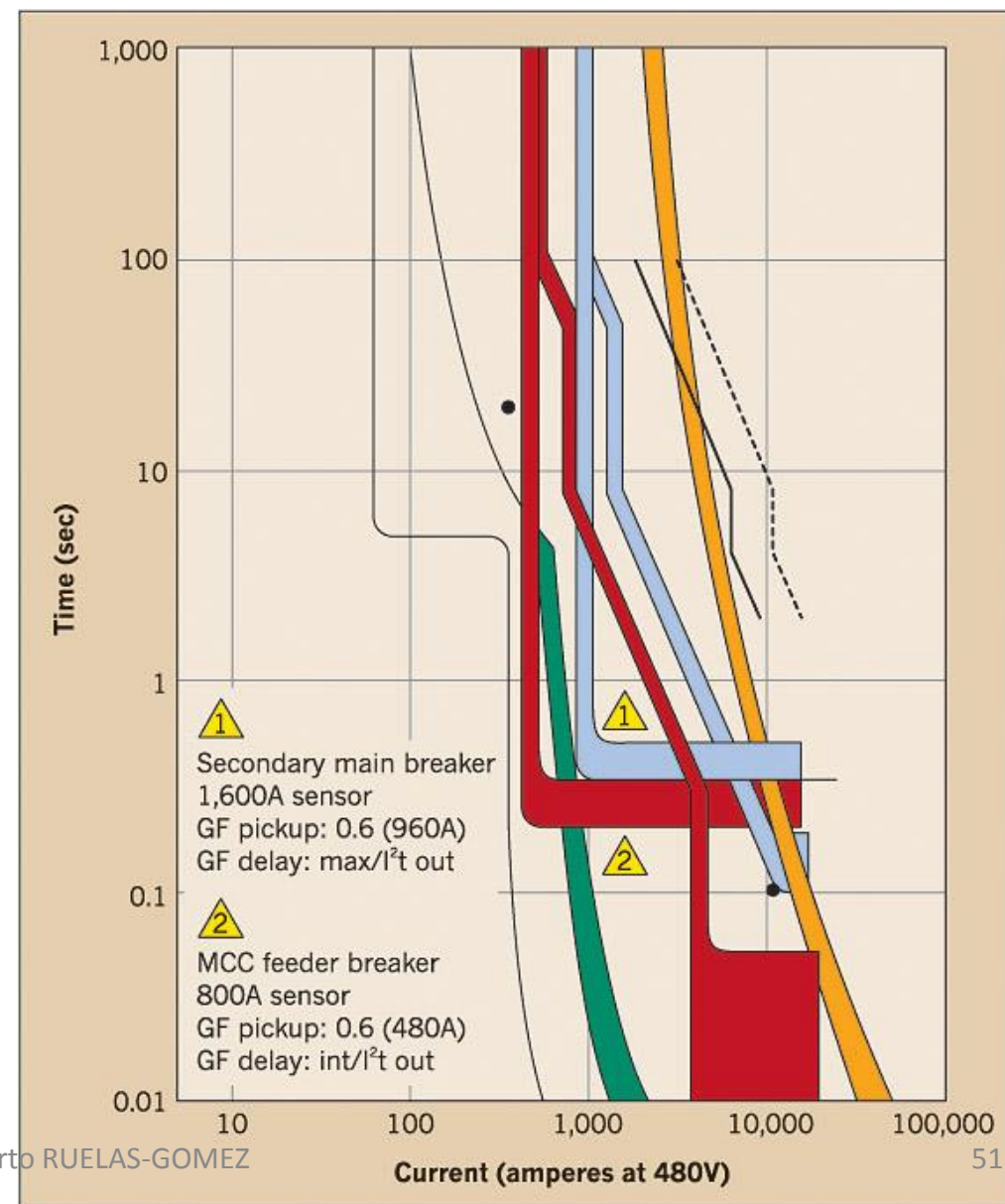
Una falla a tierra en el motor y su control será abierta por el fusible de 90 A (en verde).

Las corrientes de falla en el CCM serán abiertas por el sensor de falla a tierra del interruptor del alimentador del CCM (en rojo), y se extiende esta conclusión al alimentador mismo del CCM, porque la parte instantánea del interruptor del CCM abrirá con una corriente de 3800 A o más.

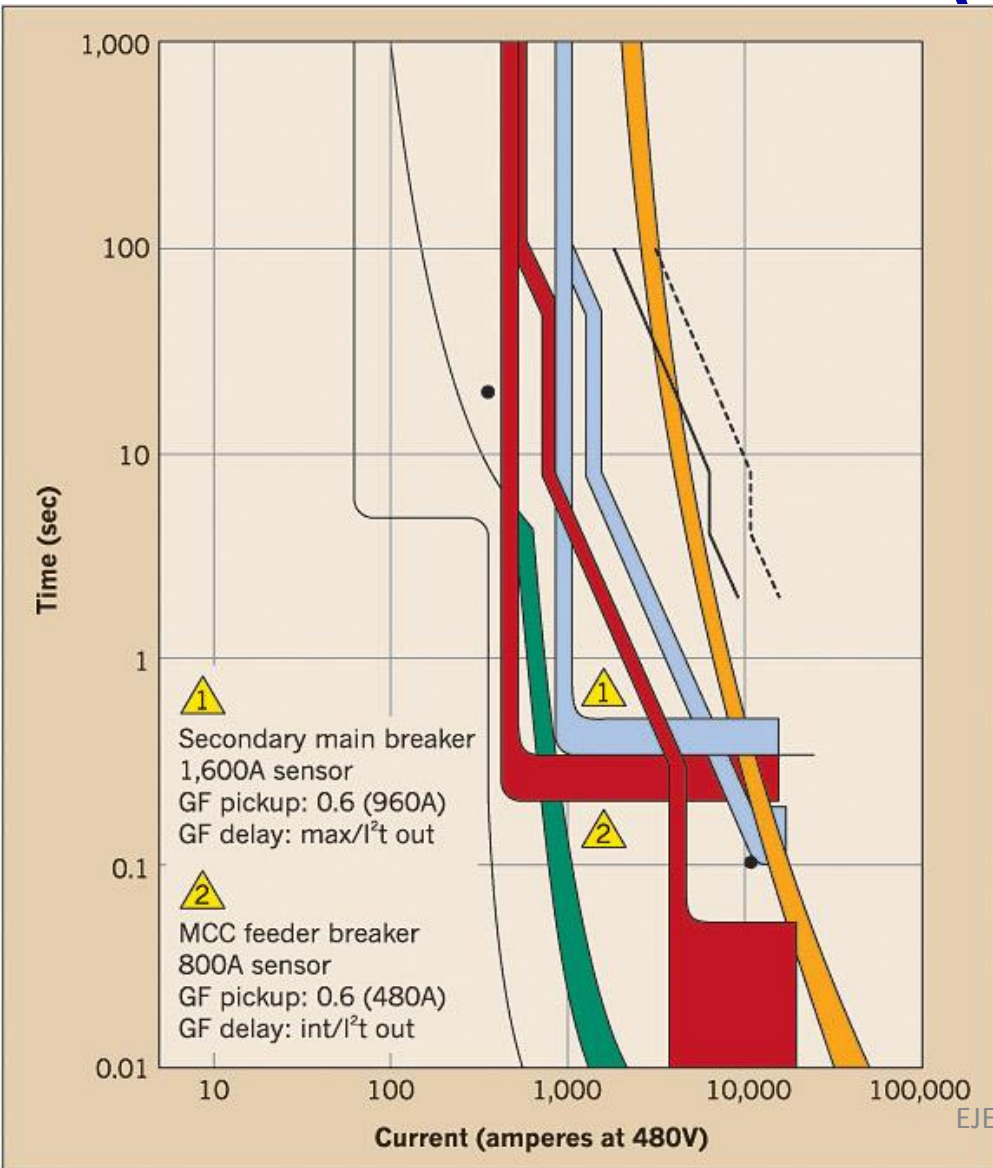


5.4 falla a tierra (Cont.)

Las fallas a tierra en el lado carga del interruptor principal del secundario serán abiertas por la parte de protección de falla a tierra y por la de tiempo corto. De 4750 a 6300 A, y de 6300 a 12500 A respectivamente. Los fusibles no responden a esta falla porque la corriente de fase en el lado primario se reduce al 58% en la misma base.

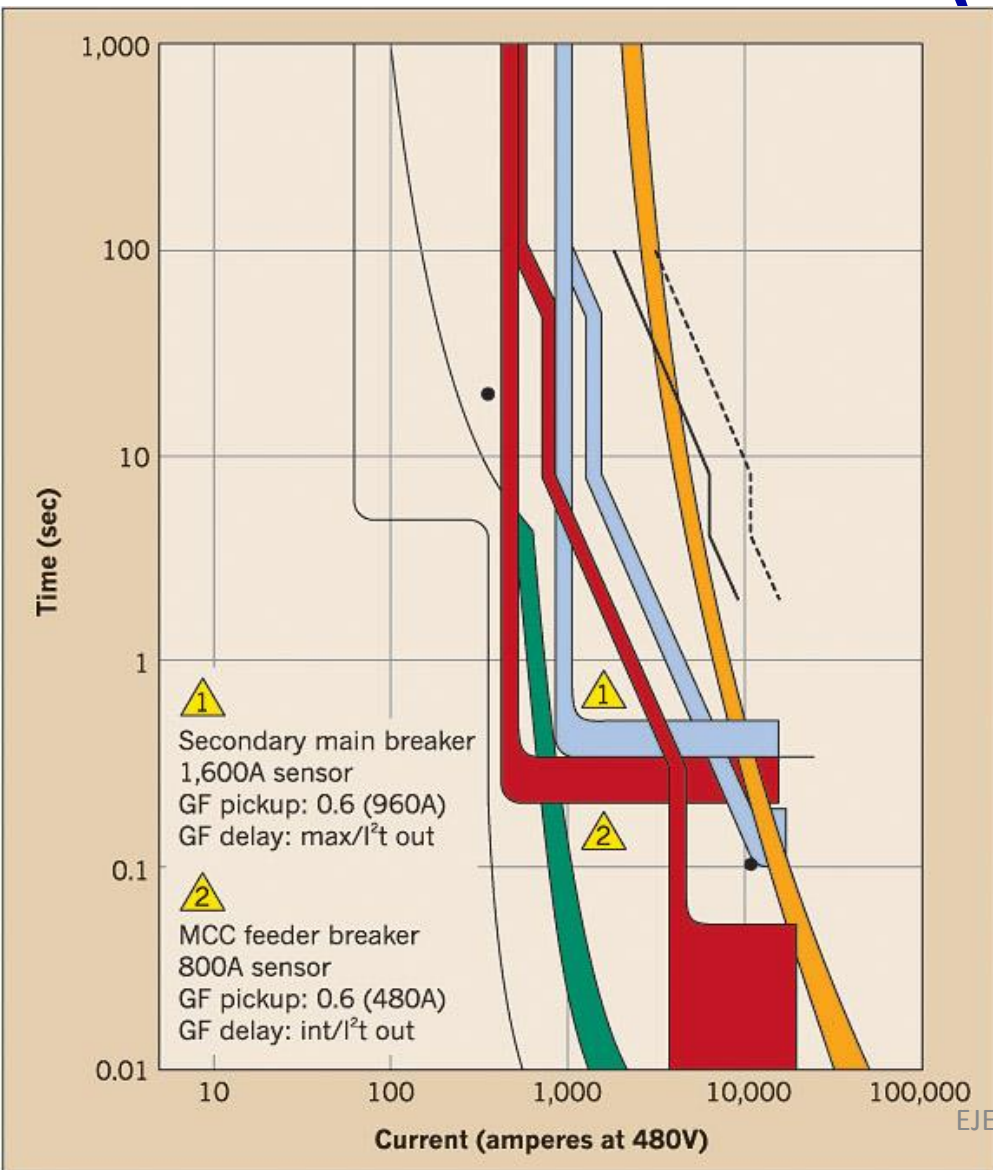


5.4 falla a tierra (Cont.)



Para una falla en las boquillas del secundario del transformador al interruptor principal del secundario, las corrientes de arco y sólidas del lado de 480 V son 4750 y 12500 A respectivamente, las que traducidas al lado de 13800 V implica que los tiempos para abrir esas corrientes caen en los segundos de la curva de los fusibles, con la salvedad que hay un área que no está cubierta para ese caso, por lo que se puede dañar el transformador en una falla de arco.

5.4 falla a tierra (Cont.)

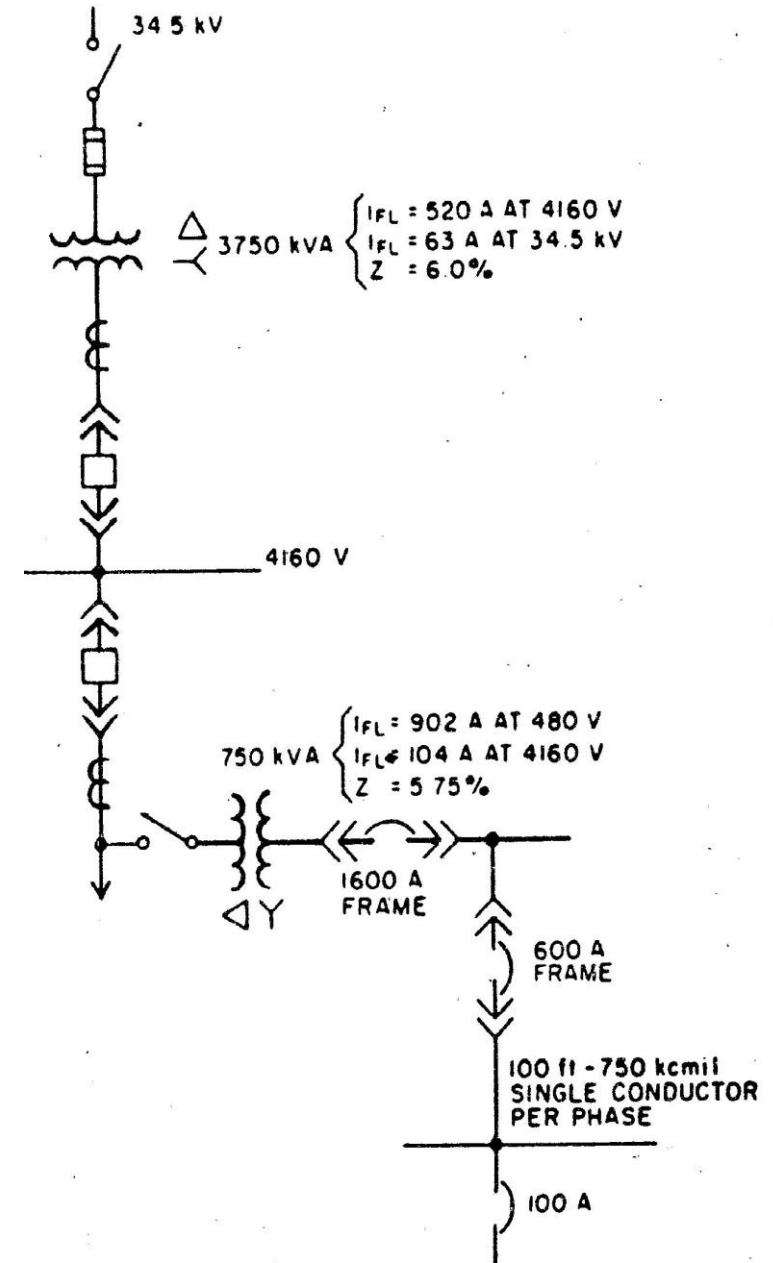


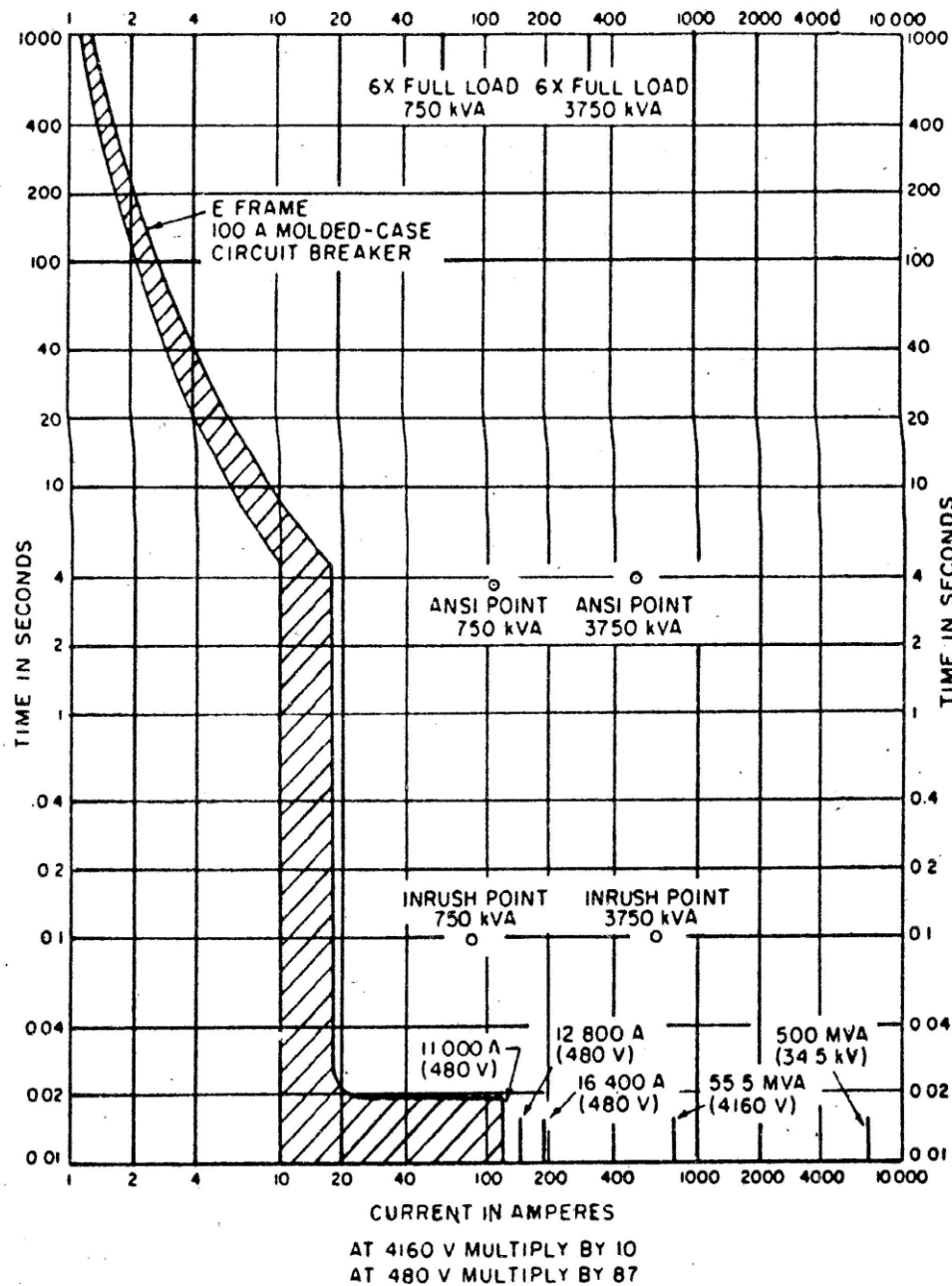
Finalmente, para una falla a tierra entre los fusibles del primario y las boquillas del transformador, las corrientes de arco y de falla franca son 423 y 1113 A en 13.8 kV respectivamente, ó 12160 y 32000 A en 480 V por lo que el tiempo en abrir esas fallas es de 0.28 y 0.025 s por medio de los fusibles 40E.

6 EJEMPLO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN DIFERENTES TENSIONES

6 EJEMPLO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN DIFERENTES TENSIONES

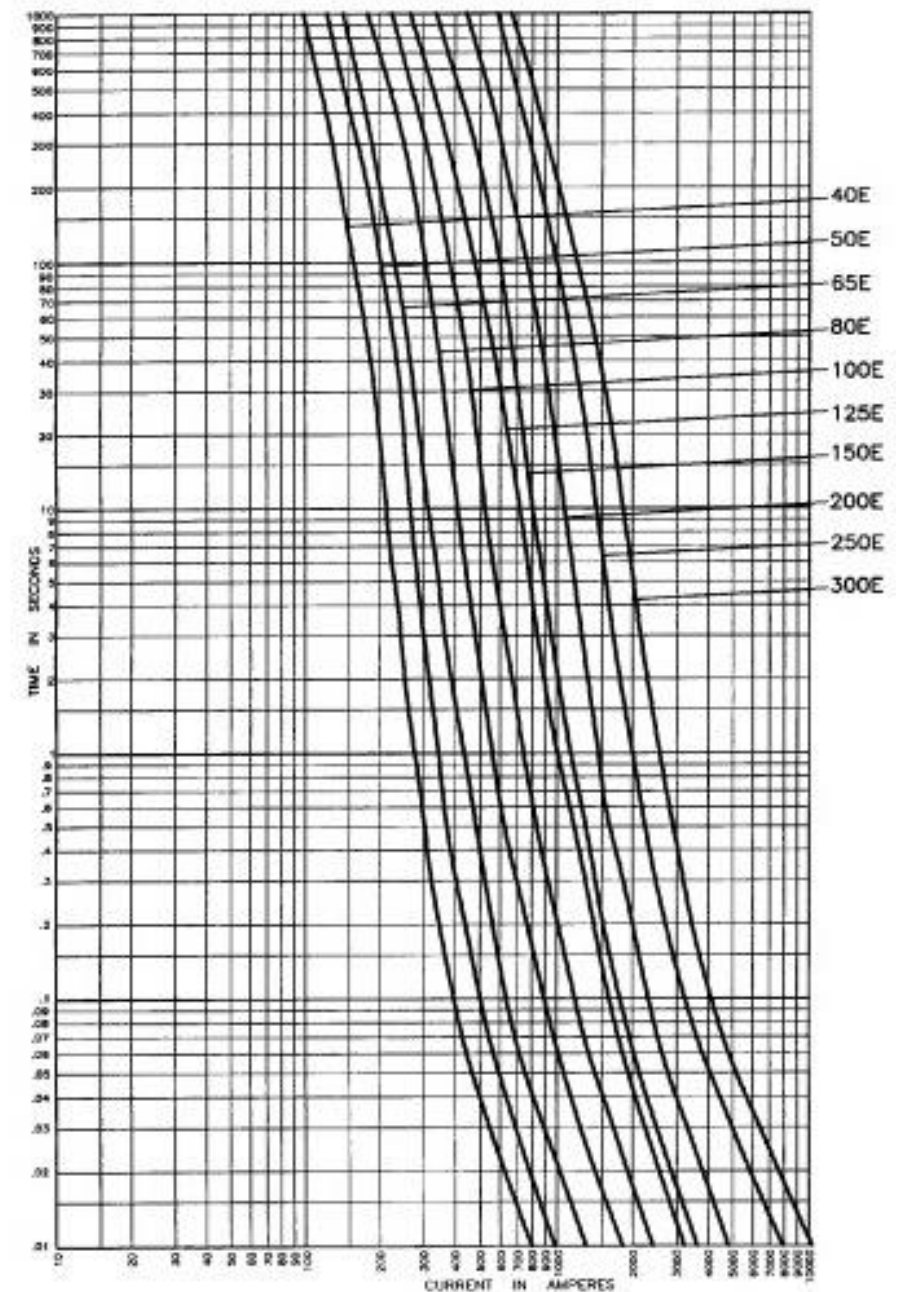
$V_{sis} = 34.5 \text{ kV}$ 500 MVA
 potencia del suministro
 $V_{bus} = 4160 \text{ volts}$ 55.5 MVA
 potencia del sistema
 $V_{bus} = 480 \text{ volts}$ 3600 A de
 contribución de motores
 $I_{cc} \text{ simétrica} = 12800 \text{ A}$ del transformador de
 750kVA @ 480 V
 $I_{cc} \text{ simétrica} = 16400 \text{ A}$ (12800 A del
 transformador más 3600 A simétricos
 correspondiente a la contribución de 480 volts)



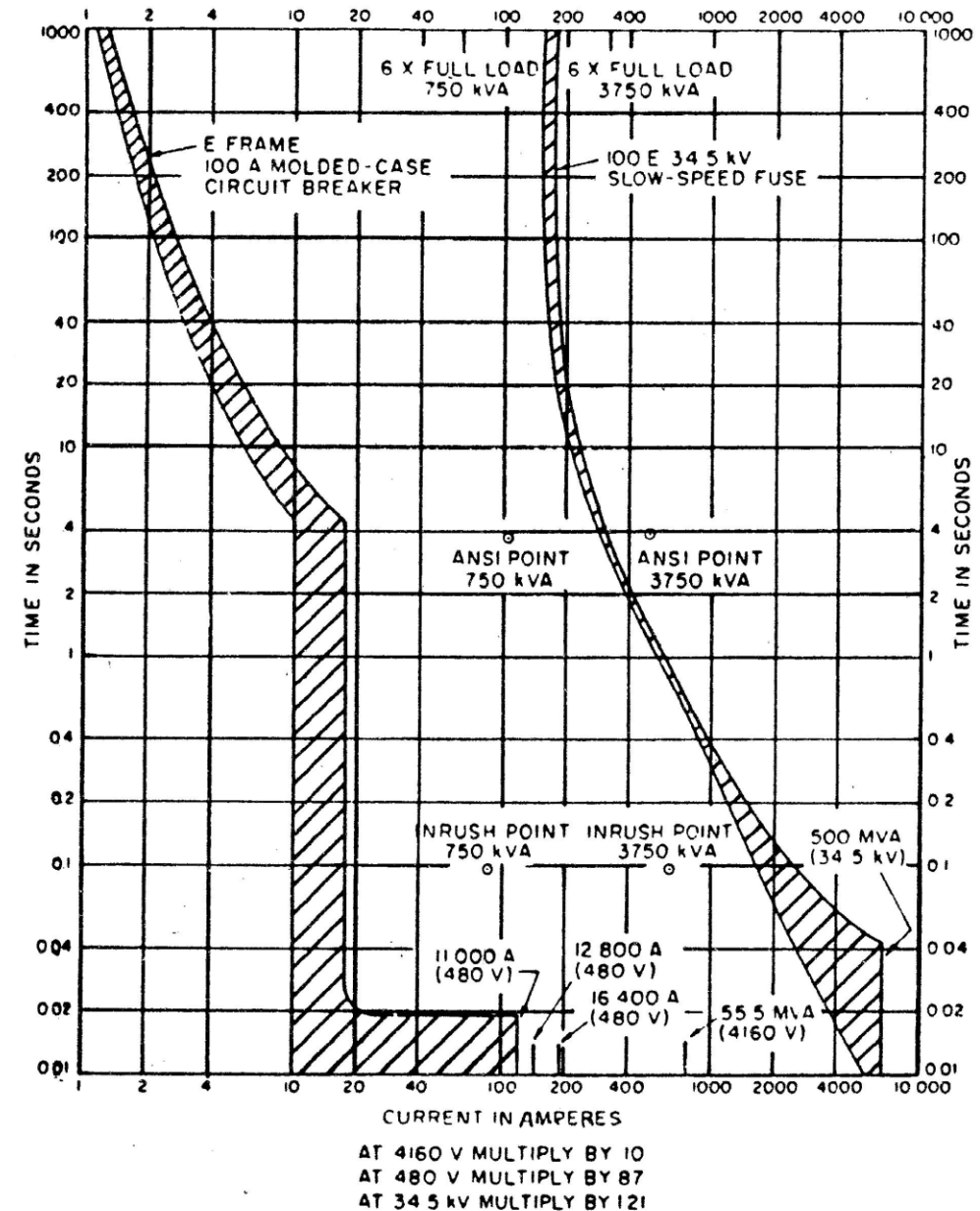


Una vez con la ubicación de los puntos de cortocircuito y de falla de los transformadores en la gráfica, añadimos la curva del *circuit breaker* (MCCB) de 100 A de la carga.

Un fusible con una velocidad 100 E protegerá el transformador de 3750 kVA. Una característica de velocidad lenta es seleccionada, puesto que protegerá al transformador de acuerdo al criterio establecido. Un fusible más grande protegería también el transformador pero una selección tentativa del fusible más pequeño provee al transformador con una mejor protección.



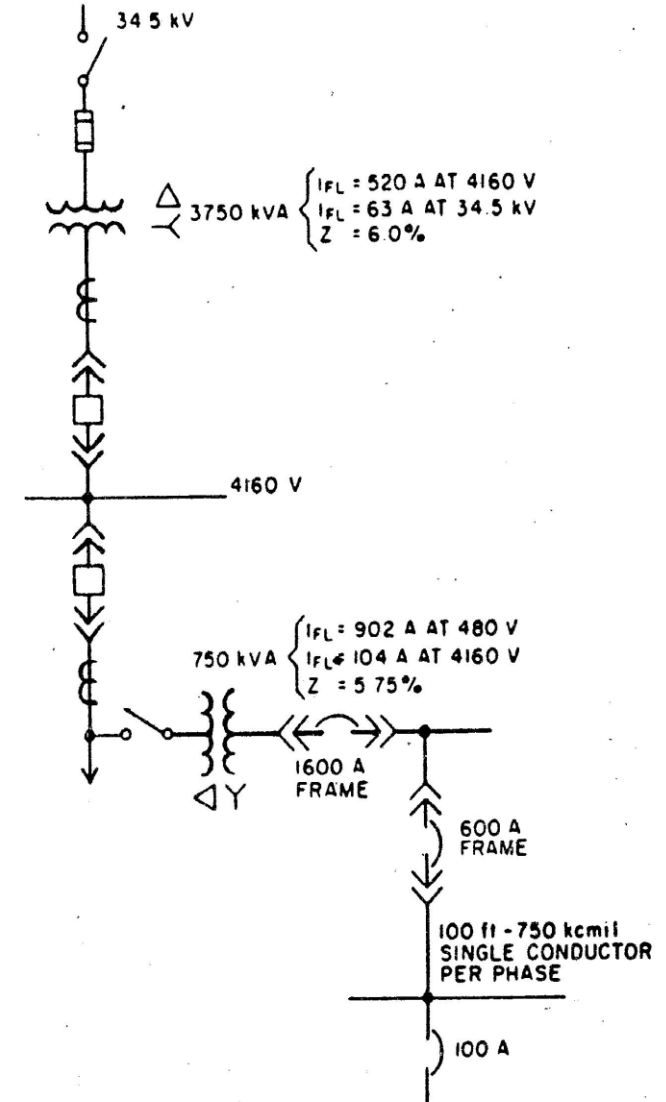
Gráfica solo con los fusibles



Circuito de baja tensión

El cable de 750 kCM tiene una ampacidad aproximadamente de 500 A, de aquí en un disparo ajustado a 500 A protege adecuadamente a este cable.

En el interruptor, el ajuste de tiempo largo será $600 \times 1.0 = 600$ A, y el instantáneo de $600 \times 4 = 2400$ A



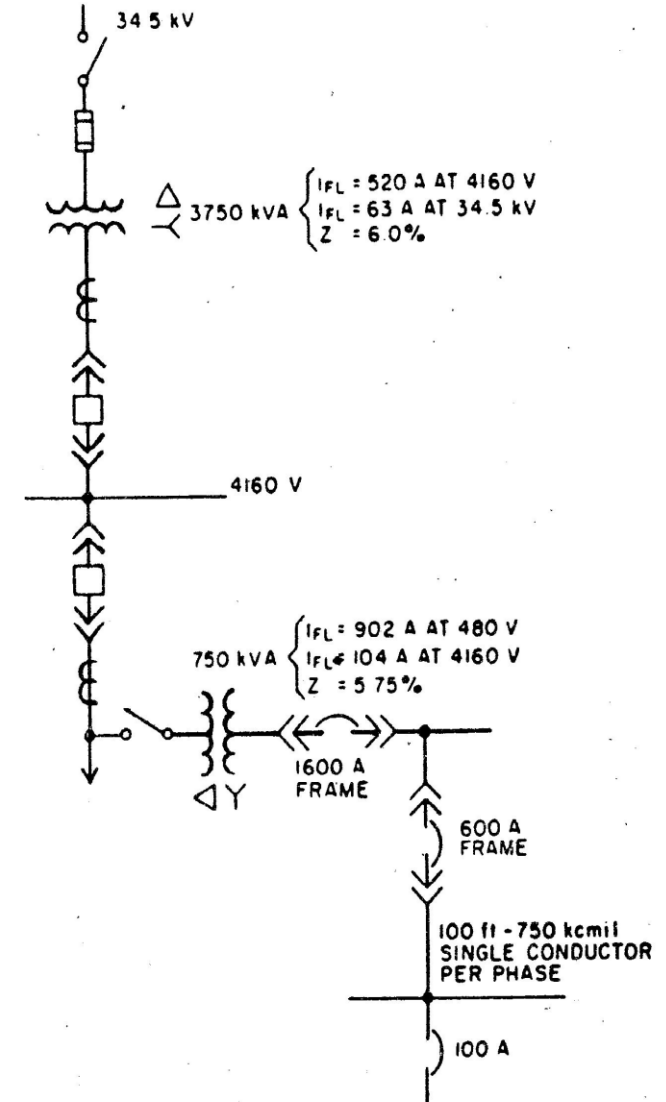
Circuito de baja tensión (Cont)

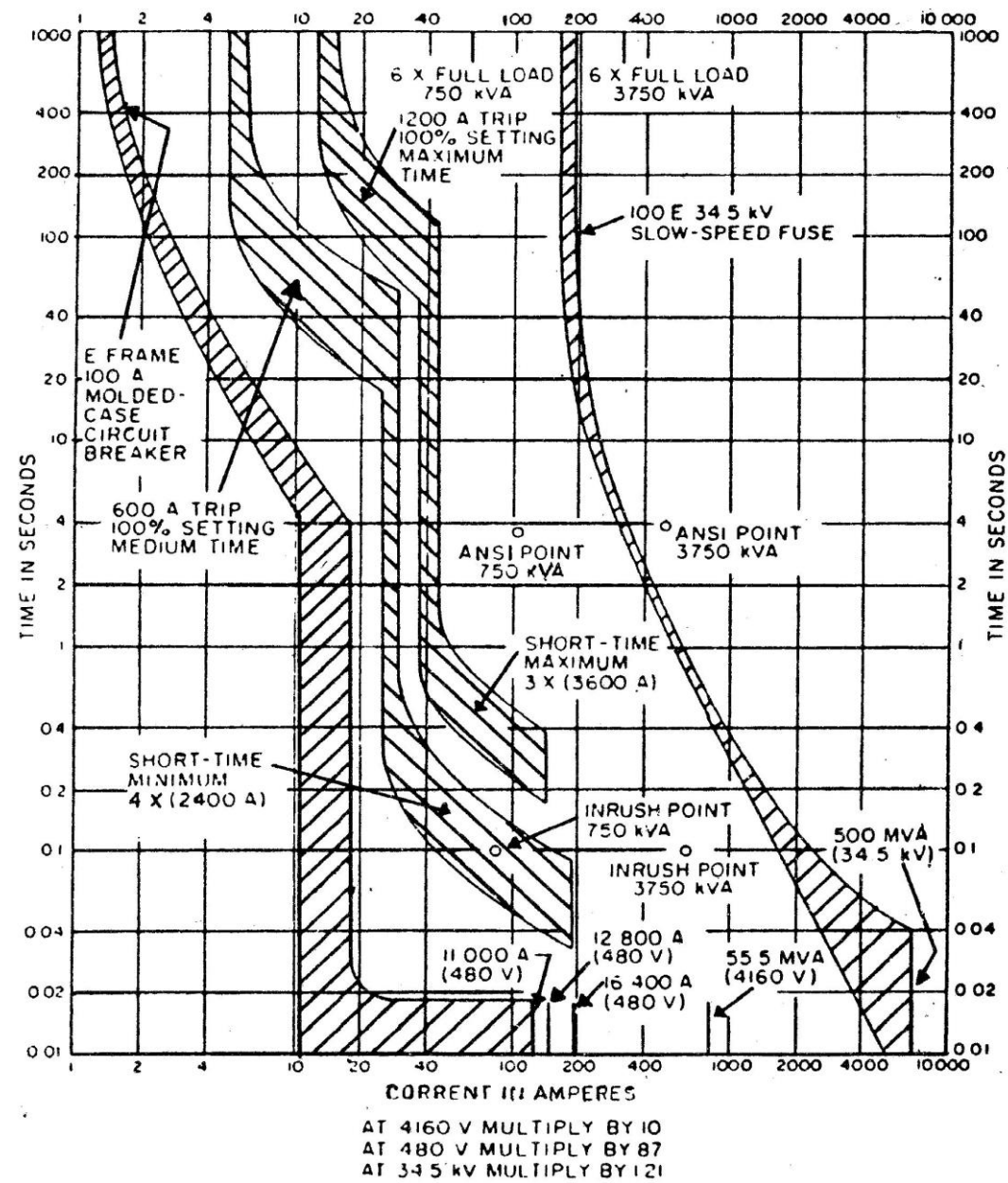
El interruptor del circuito del secundario del transformador de 750 kVA tiene una corriente nominal de 902 A.

Ajustes seleccionados:

$1600 \times 0.75 = 1200$ A para tiempo largo

$1200 \times 3 = 3600$ A para el instantáneo.





Ejemplos en Coordinación de Protecciones

Roberto Ruelas Gómez

www.ruelsa.com

r.ruelsa-gomez@ieee.org

190807