

Protección Fusible

DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS MEDIA Y
ALTA TENSIÓN - EAI6112

DuocUC 

ESCUELA DE INGENIERÍA Y
RECURSOS NATURALES

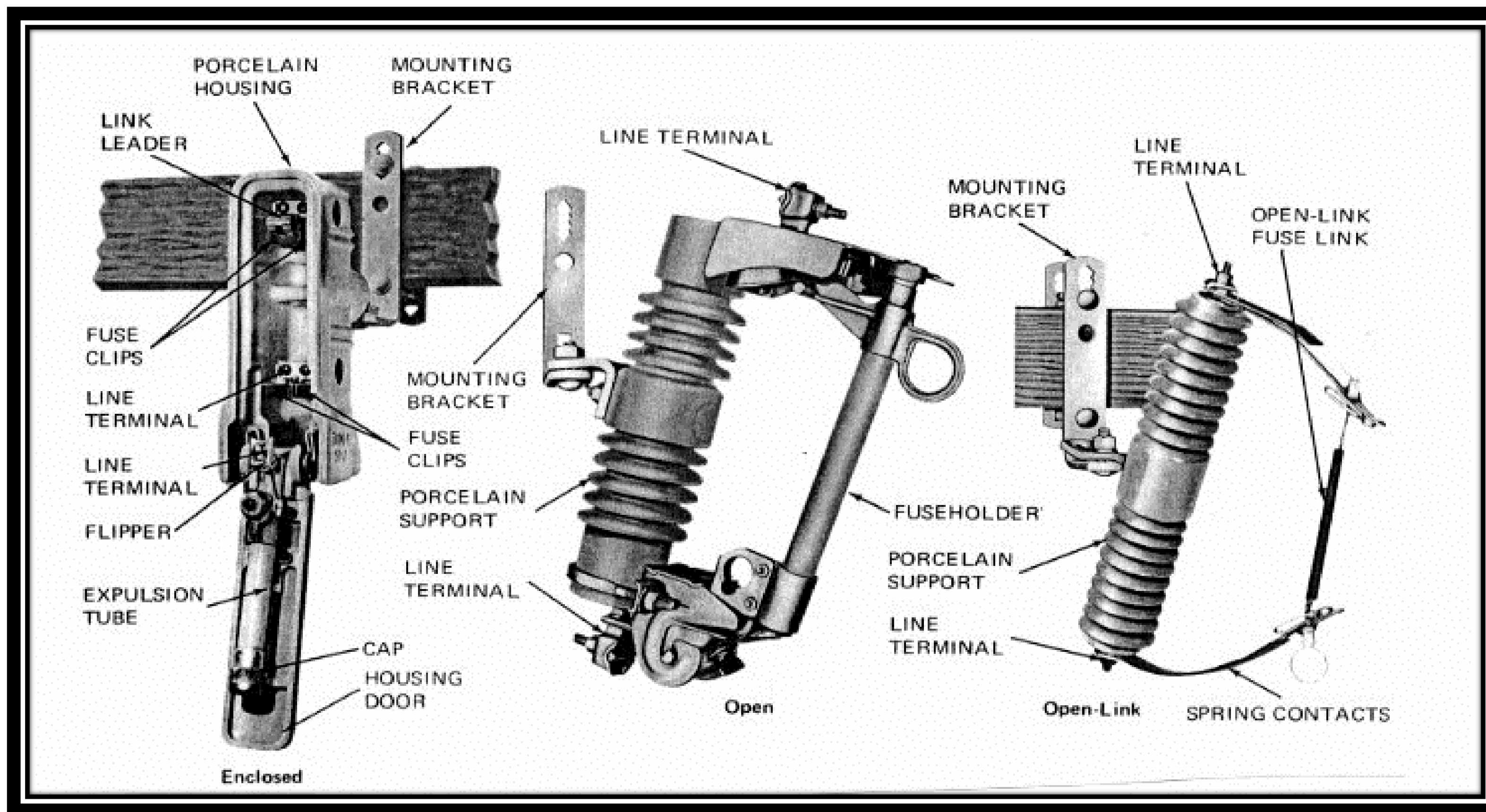


¿Qué
aprenderemos?

Protección Fusible

Seleccionar fusibles dependiendo de los valores de corriente nominal y de cortocircuito de acuerdo a sistemas eléctricos de media y alta tensión.

Protección Fusible



Protección Fusible

Gran variedad de opciones de conectores disponibles.

Ensamble de contacto superior.

Aislador de porcelana con diseño de protección contra pájaros.

Modelos hasta 25 kV están disponibles con aislador de polímero silicón.

Contactos de plata.

Ganchos de sujeción para el uso del Loadbuster®.

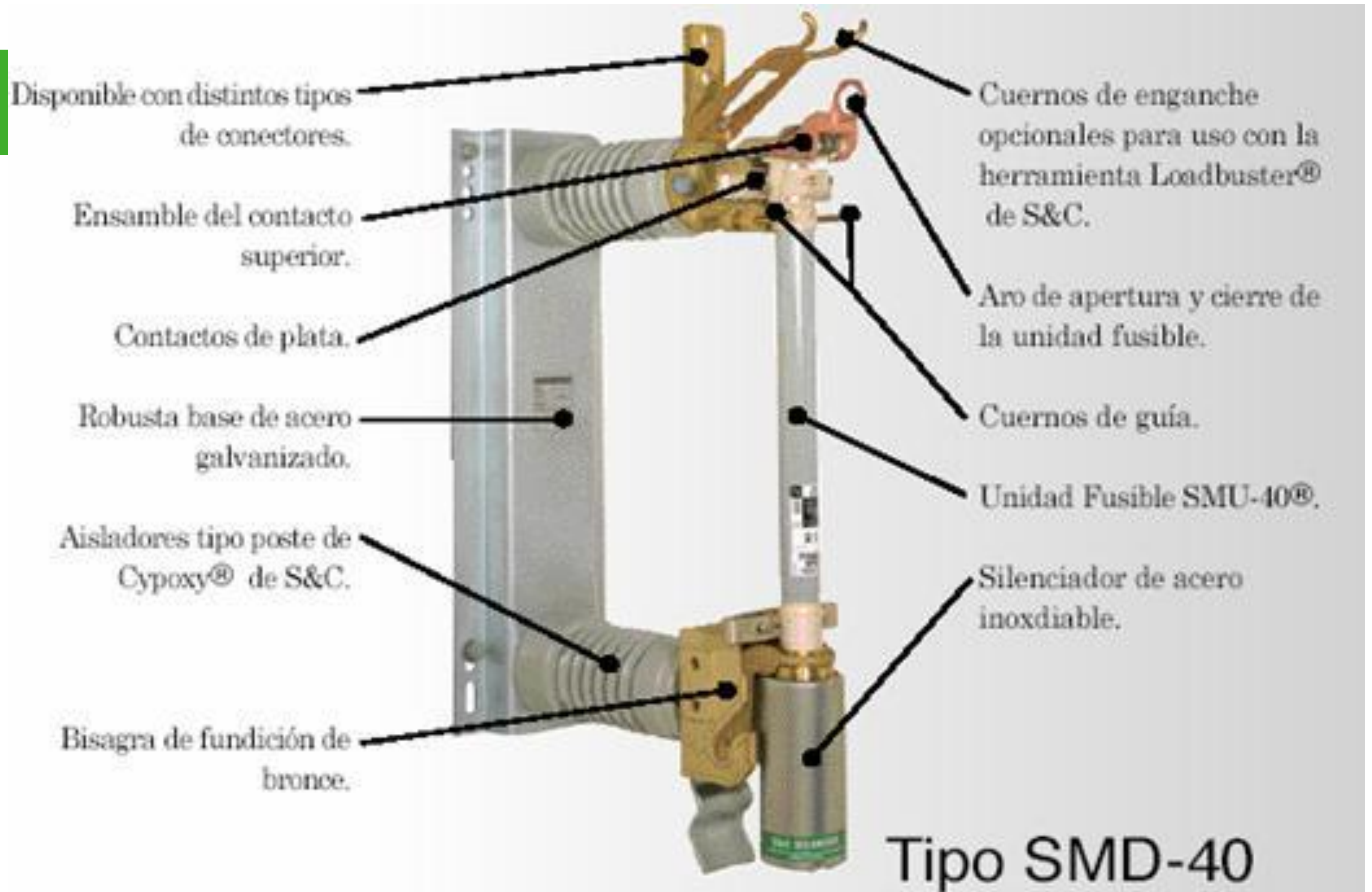
Aro para la apertura y cierre de la unidad fusible.

Unidad Fusible SMU-20®.

Ensamble de bisagra y contacto inferior y superior.

Tipo SMD-20

Protección Fusible



Definición del fusible eléctrico

El fusible eléctrico es un dispositivo destinado a proteger una instalación eléctrica y sus componentes contra sobrecorrientes ocurridas aguas abajo de éste, mediante la fusión de uno o varios elementos destinados para este efecto, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado.

Para comprender las distintas condiciones bajo las cuales puede estar sometido un fusible eléctrico, es conveniente definir claramente el significado de una sobrecarga y un cortocircuito.

La primera condición de operación de un fusible es la **sobrecarga**, la cual se define como un valor de corriente excesivo en relación con la nominal especificada en la etiqueta.

Esta corriente fluctúa en un rango de unas 2 a 3 veces la corriente nominal. Son causadas por incrementos de corrientes de corta duración (peak), producto de la partida de motores o cuando se conectan los transformadores (corriente de Inrush).

Estas sobrecargas son de ocurrencia normal y no tienen efectos dañinos en los componentes del circuito cuando son por tiempos inferiores a los 10 segundos.

Definición del fusible eléctrico

Otro tipo de sobrecarga es la producida por algún defecto en artefactos o cuando existen demasiadas cargas conectadas a un circuito. Estas corrientes son más duraderas y dañinas que las anteriores, ocasionan peligrosos aumentos de temperatura en los componentes del circuito, por lo tanto deben ser interrumpidas por el fusible siempre que éste sea adecuado para esta finalidad.

La segunda condición que puede ser causal de la operación de un fusible es el **cortocircuito**, y se define como la desaparición repentina de la aislación existente entre conductores de tensión diferente. La magnitud de estas corrientes supera las 6 veces la corriente nominal del fusible, llegando al orden de miles de amperes (kA).

Es de vital importancia que los fusibles diseñados para este fin, interrumpan estas corrientes debido a los dañinos efectos térmicos y dinámicos.

Finalmente, la función de la protección es retirar rápidamente del servicio un elemento cuando sufre una falla (esta puede ser un cortocircuito, una sobrecorriente, un funcionamiento anormal) que pueda causar daño al personal, al equipo y a la instalación.

Partes que componen un fusible

Básicamente los fusibles eléctricos se componen de tres partes y para su fabricación se utilizan varios tipos de materiales. Cada una de ellas cumple un rol específico y dependiendo del tipo de fusible y su aplicación es posible prescindir de alguna de ellas.

1. Cuerpo fusible

El Cuerpo cumple la función de proteger y aislar el elemento fusible ubicado en su interior, además debe ser capaz de soportar grandes presiones térmicas y mecánicas en el momento de operación del elemento fusible.

La cantidad de energía liberada en este instante, debe ser contenida en el interior del cuerpo y luego disipada en forma de calor al exterior con el fin de evitar la explosión del fusible, riesgos al personal y la instalación.

2. Terminales

Estos elementos cumplen la función de conectar eléctricamente el elemento fusible con el circuito a proteger y como elementos disipadores del calor desarrollado en la operación normal del fusible, por lo tanto es muy importante que estén bien unidos al fusible para evitar el calentamiento por efecto de resistencia de contacto.

3. Elemento fusible

Es el “corazón” de cada fusible eléctrico, controla las características de capacidad de interrupción frente a las sobre intensidades, bajo condiciones de funcionamiento del fusible.

Las características referidas al material de fabricación y las dimensiones del elemento fusible, se basan en el comportamiento registrado con el incremento de la corriente y el tiempo de respuesta (Característica $t-I$).

Los elementos fusibles utilizados son generalmente alambres y láminas.

El uso de alambres permite calibrar la corriente que circula por el fusible solamente variando su diámetro.

El uso de láminas tiene la gran ventaja que es posible además de regular la corriente con la sección de la lámina, controlar la disipación de calor implementando una adecuada geometría en el diseño, para evitar la operación del fusible por excesiva acumulación de calor en condiciones de sobrecarga.

1. Intensidad nominal (I_n)

Es la cantidad de corriente eléctrica (valor RMS) que el fusible es capaz de conducir indefinidamente sin desconectar. Como se ha descrito anteriormente, la circulación de una corriente eléctrica por un conductor, creará una determinada cantidad de calor por efecto Joule. Sin embargo, la circulación de una corriente igual o menor a la indicada como nominal en el fusible, no debe originar una cantidad de calor que provoque dentro de un tiempo determinado y en condiciones ambientales y de montaje favorables, la operación del fusible.

Este valor debe estar especificado en el fusible, y a cada uno de estos, se le designa un nivel de corriente por el fabricante, bajo condiciones específicas en las cuales fue probado.

Cuando se elige un valor de corriente para el fusible, hay que considerar el tipo de carga y un código para uso específico proporcionado por el fabricante.

Normalmente, para seleccionar la corriente nominal de un fusible es necesario conocer la corriente nominal que circula por el circuito, y ésta debe corresponder al 80 % de la corriente nominal del fusible.

2. Voltaje nominal (V_n)

Es el máximo valor de tensión a que puede estar sometido el fusible. Cualquier otro valor de voltaje inferior al nominal especificado en la etiqueta, el fusible puede trabajar en condiciones normales de operación, por lo tanto V_n debe ser igual o superior al voltaje del circuito donde se aplicará el fusible.

Este nivel de voltaje corresponde a la capacidad que tiene el fusible para extinguir rápidamente el arco de corriente después de que el elemento se ha fundido.

Un fusible nunca debe ser aplicado en un circuito donde el voltaje sea superior al nominal del fusible, debido a que su cuerpo no resistirá la diferencia de potencial y su capacidad dieléctrica disminuirá entre los terminales hasta que se produzca su recalentamiento y posterior destrucción.

La mayoría de los fabricantes de fusibles para media tensión, utilizan unos rangos de voltajes para clasificar a los fusibles, por ejemplo:

Clase 3 / 7,2 kV – 6 / 12 kV – 10 / 17,5 kV – 10 / 24 kV – 20 / 36 kV.

3. Capacidad de Ruptura

Es la máxima corriente de cortocircuito que el fusible es capaz de interrumpir a tensión nominal sin que en él se produzcan daños físicos. El valor de corriente de interrupción (Poder de Corte) es la máxima corriente de cortocircuito disponible que circula por un dispositivo de protección contra sobre intensidades y que puede interrumpir sin daño.

La operación segura requiere que el fusible siga estando intacto (sin explosión) y que no emita llama o soldadura fundida, que podrían ser un riesgo de incendios.

Este valor es asignado por el fabricante y es muy importante para los dispositivos protectores de cortocircuitos.

4. Relación de velocidad (Speed Ratio)

Es la relación o el cuociente entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y la corriente de fusión a 300 segundos. Para corrientes superiores a 100 Amp. nominales, se reemplaza la corriente de 300 seg. por la de 600 seg. Este concepto es muy utilizado por la norma ANSI C37.42, 43 para fusibles de expulsión de AT.

5. Temperatura ambiente

Esta característica se refiere a la temperatura del aire que rodea inmediatamente al fusible (según la NCh2025/1, aproximadamente a 1 metro de distancia) y no debe confundirse con la temperatura del medio ambiente.

Información general de fusibles suministrada por el fabricante

La información técnica relacionada con un fusible, proporcionada por el fabricante, debe ser lo más clara y completa posible para facilitar una correcta comunicación con el usuario. De esta información dependerá el uso correcto de dichos elementos de protección, y de no ser exacta puede ocasionar gastos innecesarios y daños a componentes y equipos del circuito eléctrico.

Esta información está referida a los puntos mencionados a continuación.

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Corriente Nominal (I_n). | 6. Clase. |
| 2. Voltaje Nominal (V_n). | 7. Tipo de Fusión. |
| 3. Capacidad de Ruptura ($I_{rup.}$) | 8. Normas. |
| 4. Tipo de corriente (AC o DC) | 9. Curvas de operación. |
| 5. Frecuencia. | |

Curva característica de corriente en función del tiempo

Una curva característica de tiempo-corriente para un fusible específico, generalmente se muestra como una línea continua que representa el tiempo en segundos, que tarda el fusible en interrumpir una determinada sobrecorriente. Estas curvas son representadas en papel logarítmico para facilitar su lectura.

Los valores de la corriente se indican el eje de las abscisas (x), incrementándose de izquierda a derecha, y en la ordenada (y) se muestra el tiempo de operación que generalmente comienza en 10 mili segundos (1/2 ciclo a 50 Hz), aumentando su valor desde abajo hacia arriba.

Existen dos tipos de curvas que indican la característica tiempo-corriente, donde el factor común en ambas es la corriente.

La primera y la más común es la curva de Pre-arco (melting), donde el eje “y” indica el tiempo que el fusible tarda en alcanzar la temperatura de fusión del elemento fusible.

La segunda curva corresponde al tiempo total de despeje del fusible (total clearing). Los tiempos indicados por esta curva, comprenden el tiempo de pre-arco y el de arco, es decir, el tiempo total que tarda el fusible en interrumpir la sobrecorriente.

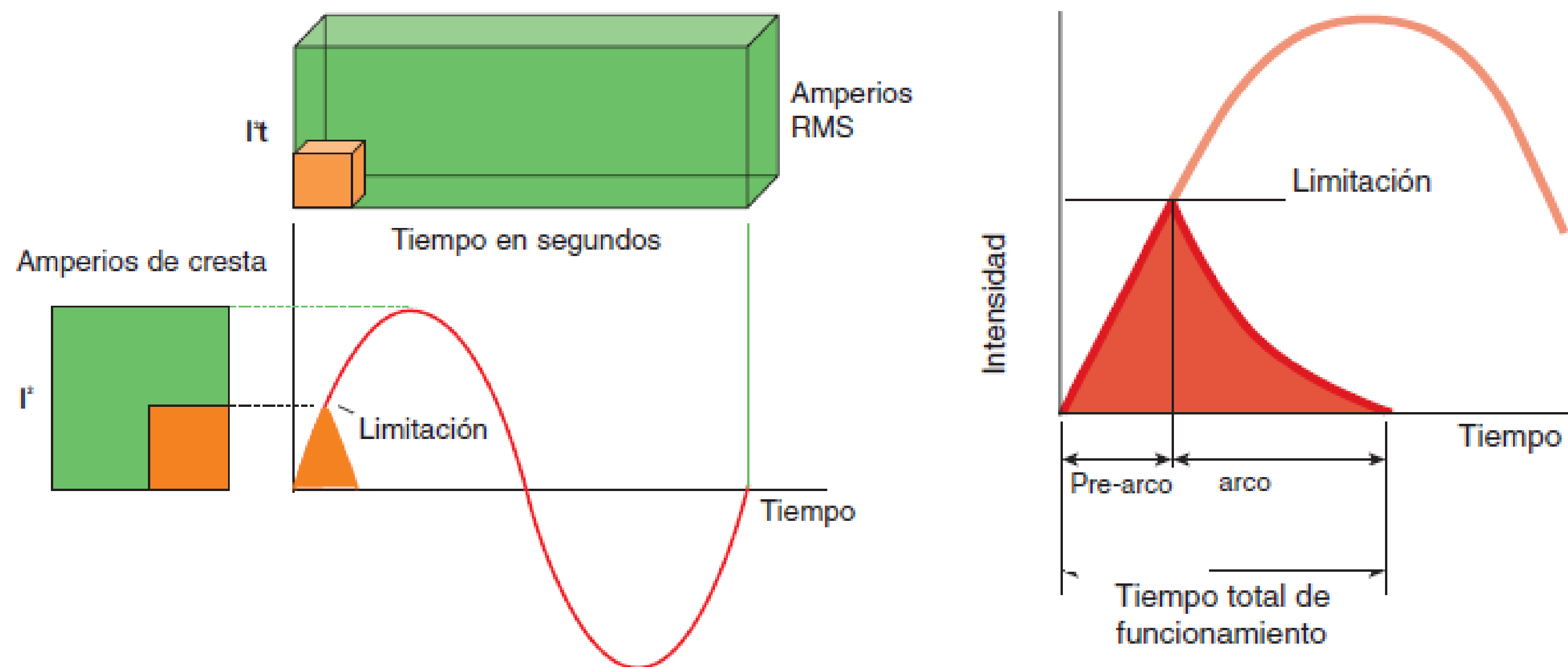
Protección Fusible

Curva característica de corriente en función del tiempo

Los gráficos siguientes muestran el funcionamiento de un fusible interrumpiendo un cortocircuito, logrando una corriente de valor cero dentro del primer medio ciclo de una falla.

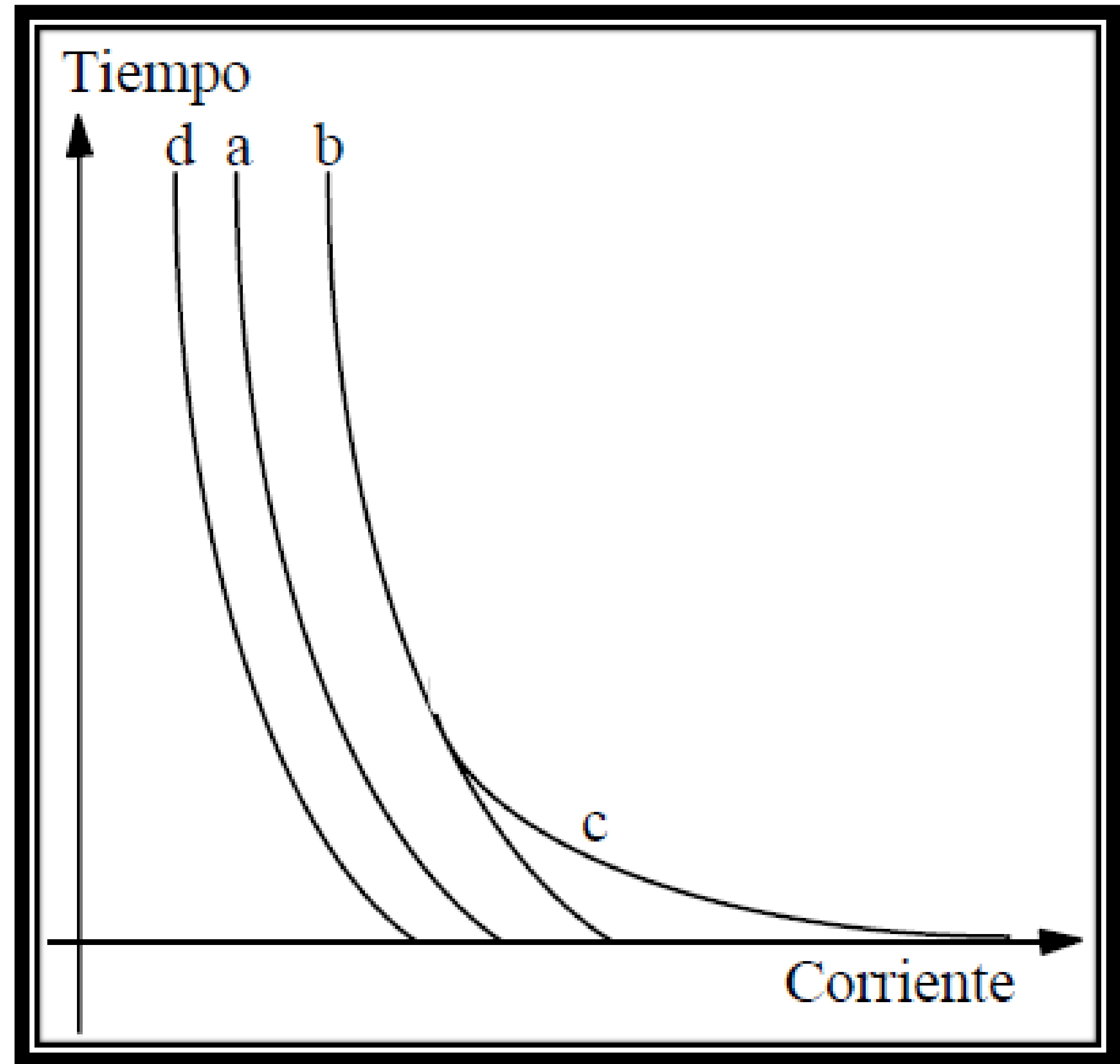
Por lo general, el nivel de energía residual en el lugar de la falla es sólo 1/500 de la energía residual en cualquier otro tipo de dispositivo de interrupción.

I^2t : El valor mínimo del pre-arco y el valor máximo total de funcionamiento que un fusible permitirá que pase a través de él durante un cortocircuito, expresada como cantidad de corriente, multiplicada por el tiempo en segundos.



Protección Fusible

- a. **Curva de tiempo mínimo de fusión:** Relaciona la corriente con el tiempo mínimo al cual el fusible se funde.
- b. **Curva de tiempo máximo de fusión o de aclaramiento:** Se obtiene adicionando un margen de tolerancia (en corriente) a la curva a.
- c. **Curva de tiempo total para la extinción del arco:** Se obtiene adicionando a la curva b, el tiempo necesario para la completa extinción del arco.
- d. **Curva tiempo-corriente de corta duración:** Relaciona la corriente y el tiempo máximo permisible para que el fusible no quede debilitado en caso de sobrecargas de corta duración. Se obtiene estableciendo un margen debajo de la curva a.



Protección Fusible

Características Nominales

La Tabla indica la capacidad nominal del hilo o elemento fusible de diversos tipos de fusibles.

Las normas EEI-NEMA han dividido a los fusibles de expulsión en dos tipos: rápidos y lentos, los cuales son designados por las letras K y T respectivamente.

Fusible de alta descarga	Corriente nominal (A)	N Nominal	Corriente nominal (A)	EEI-NEMA K o T nominal	Corriente nominal (A)
1 H	1	25	25	6	9
2 H	2	30	30	8	12
3 H	3	40	40	10	15
5 H	5	50	50	12	18
8 H	8	60	60	15	23
		75	75	20	30
N Nominal		85	85	25	38
5	5	100	100	30	45
8	8	125	125	40	60*
10	10	150	150	50	75*
15	15	200	200	65	95
20	20			80	120+
* Solo cuando es usado en cortacircuitos de 100 o 200 Amperios. + Solo cuando es usado en cortacircuitos de 200 Amperios. Limitado por corriente de régimen continuo del cortacircuito.				100	150+
				140	190
				200	200

Rangos standard o normalizados:

La diferencia entre los tipos K y T es la relación de velocidad, la cual es la relación entre la corriente de fusión a 0,1 segundos y 300 segundos para los eslabones nominales por debajo de 100 A, y de 0,1 segundos y 600 segundos para eslabones nominales por encima de 100 A.

Por ejemplo, un fusible tipo K de corriente nominal de 10 A tiene en 0,1 segundos una corriente de fusión de 120 A, y en 300 segundos una corriente de fusión de 18 A; entonces la relación de velocidad es: $120/18=6,67$.

La siguiente tabla muestra las corrientes mínimas y máximas de fusión, y la relación de rapidez para fusibles tipo K y T .

Tipo del fusible	300 s		10 s		0.1 s		Relación de rapidez	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.		
K	2	2.4	2.25	3.4	12	14.3	6	7.6
T	2	2.4	2.5	3.8	20	24	10	13

Eslabón fusible se refiere a la parte reemplazable que se monta en el portafusible del equipo.

Elemento fusible se refiere a la parte de un eslabón fusible diseñado para fundirse cuando las características corriente-tiempo de fusión alcanzan un valor determinado.

Se han diseñado otros eslabones fusibles con relaciones de velocidad diferentes a las de los tipos K y T; dichos eslabones son designados por las letras H y N.

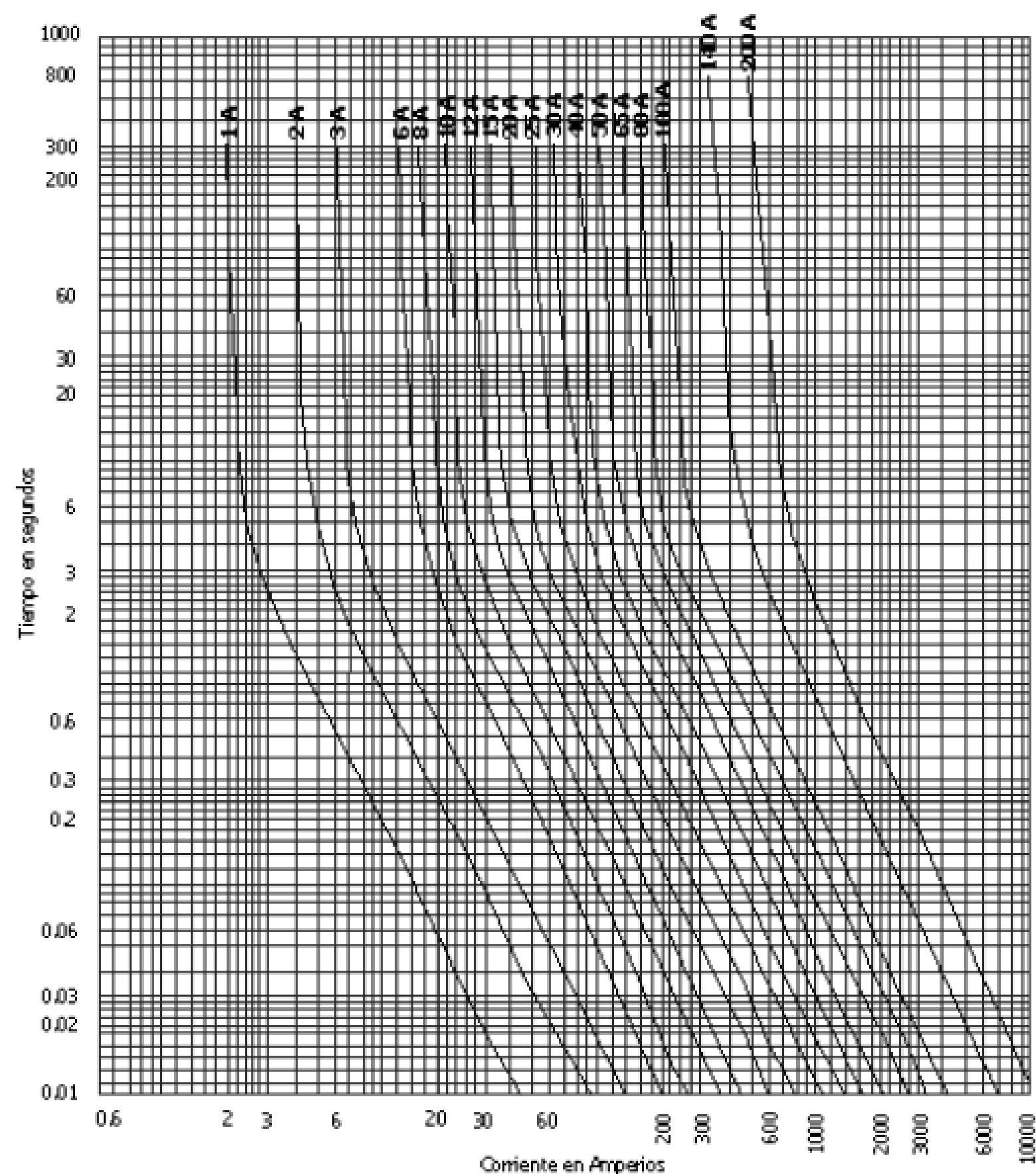
Los tipo H son diseñados para proveer protección de sobrecarga y evitar la operación innecesaria durante las ondas de corrientes transitorias de corta duración asociadas con arranque de motores y descargas atmosféricas.

Los eslabones N se emplean en la protección de transformadores de distribución.

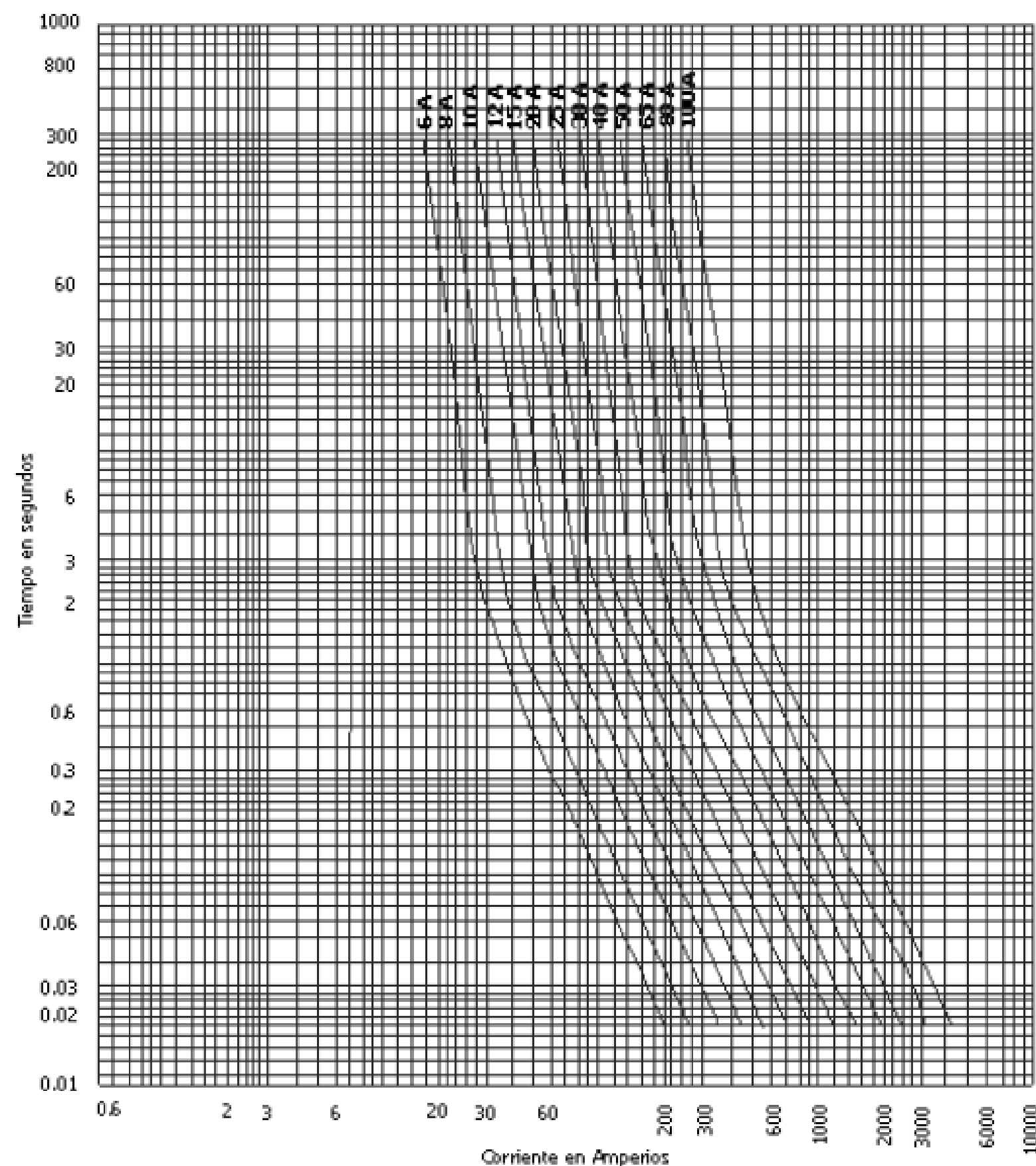
Protección Fusible

Curvas Tiempo-Corriente para fusible K

Curvas características t-I de fusión mínima.



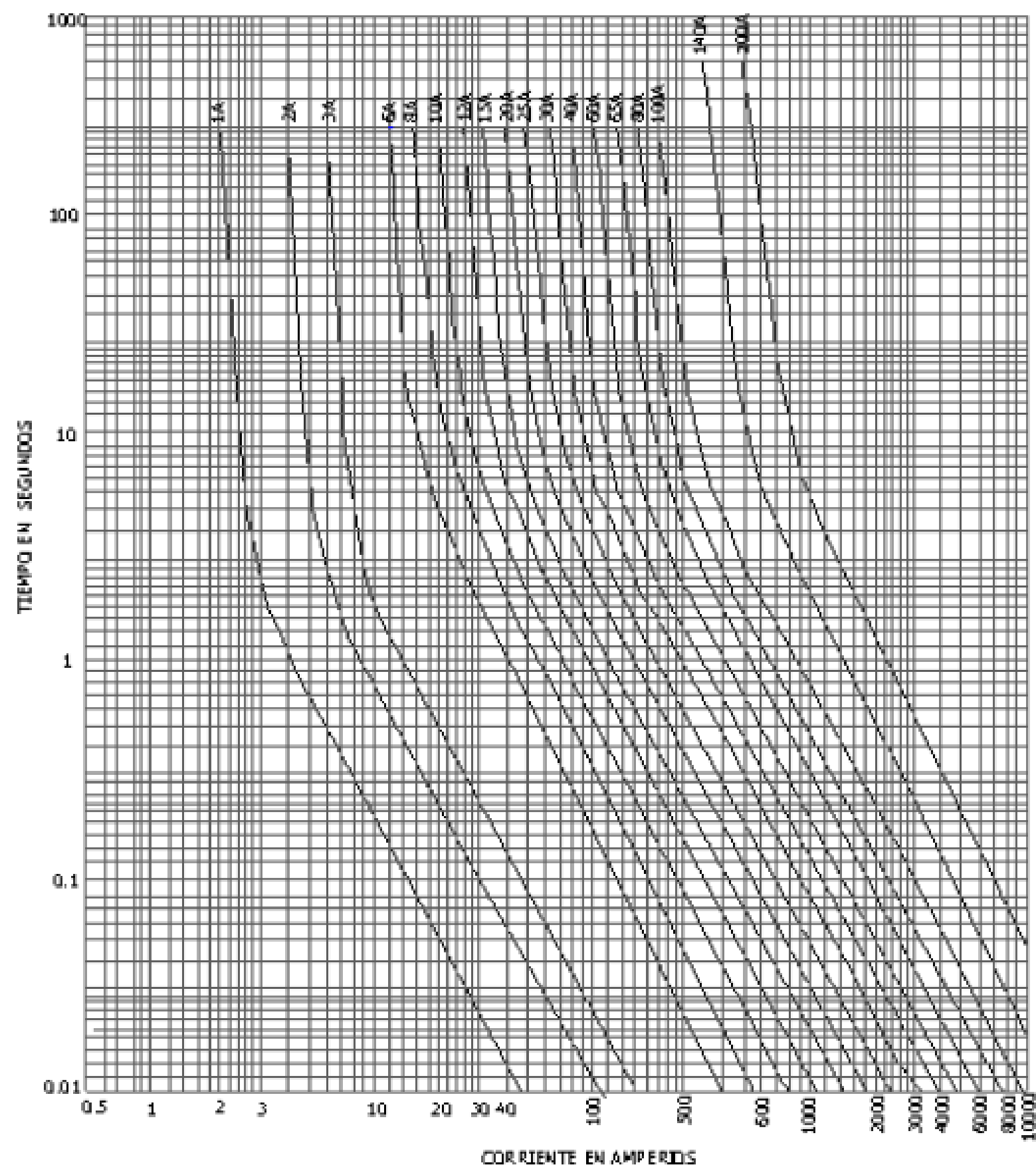
Curvas características t-I de despeje máximo.



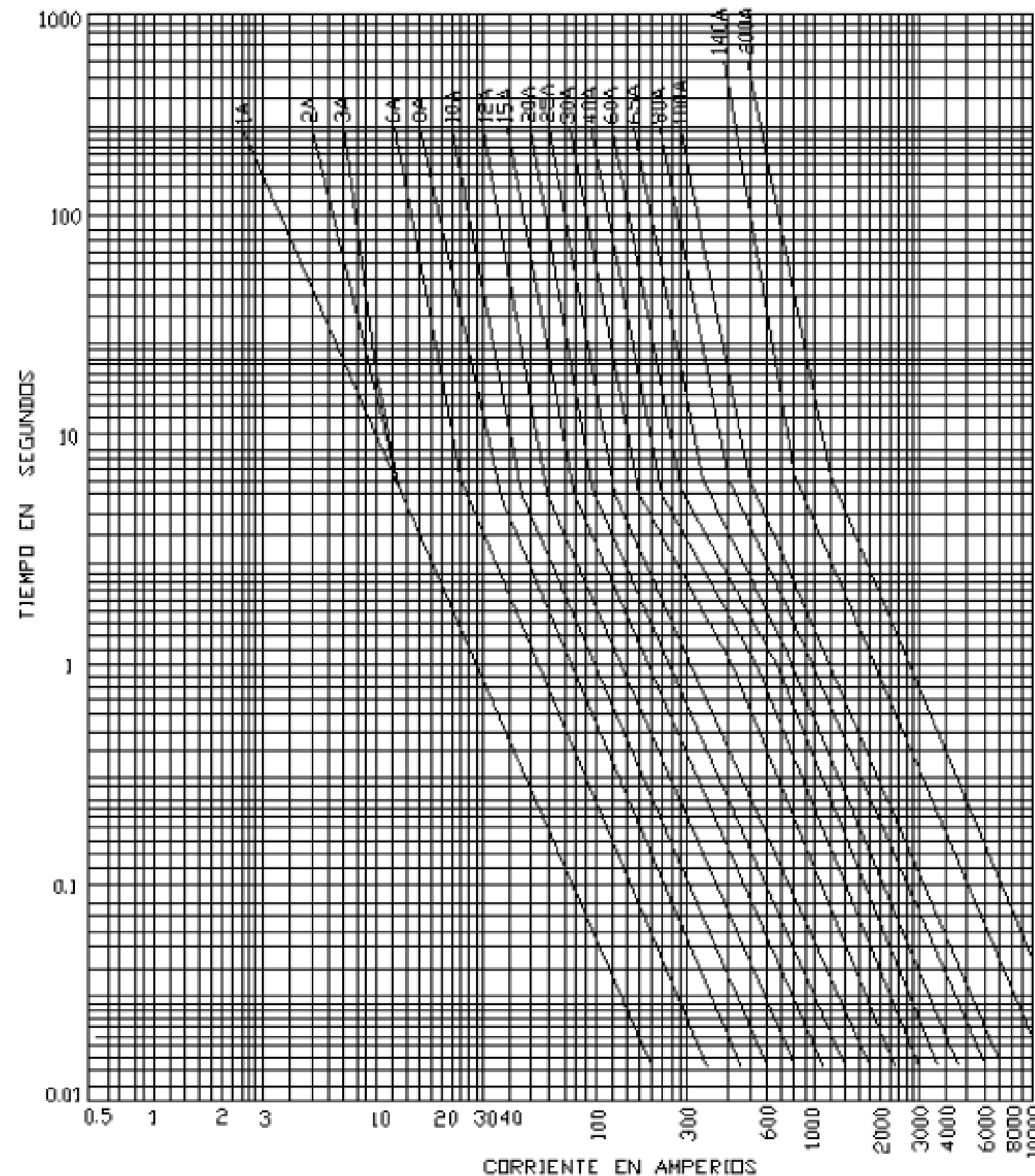
Protección Fusible

Curvas Tiempo-Corriente para fusible T

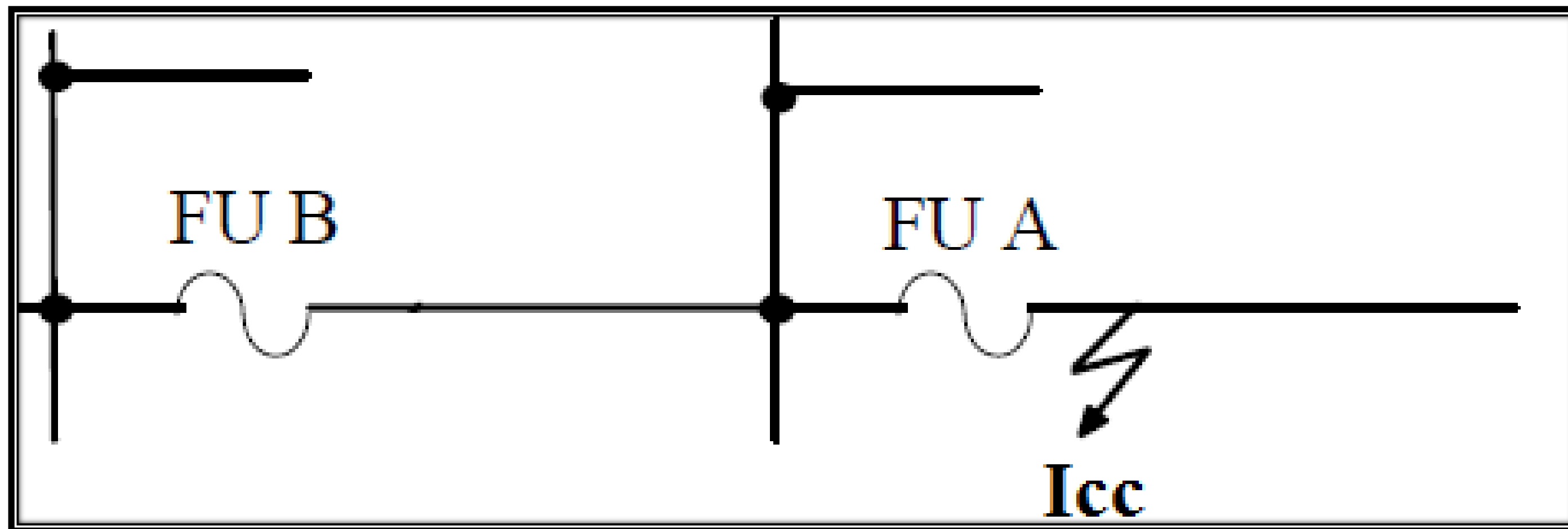
Curvas características t-I de fusión mínima.



Curvas características t-I de despeje máximo.

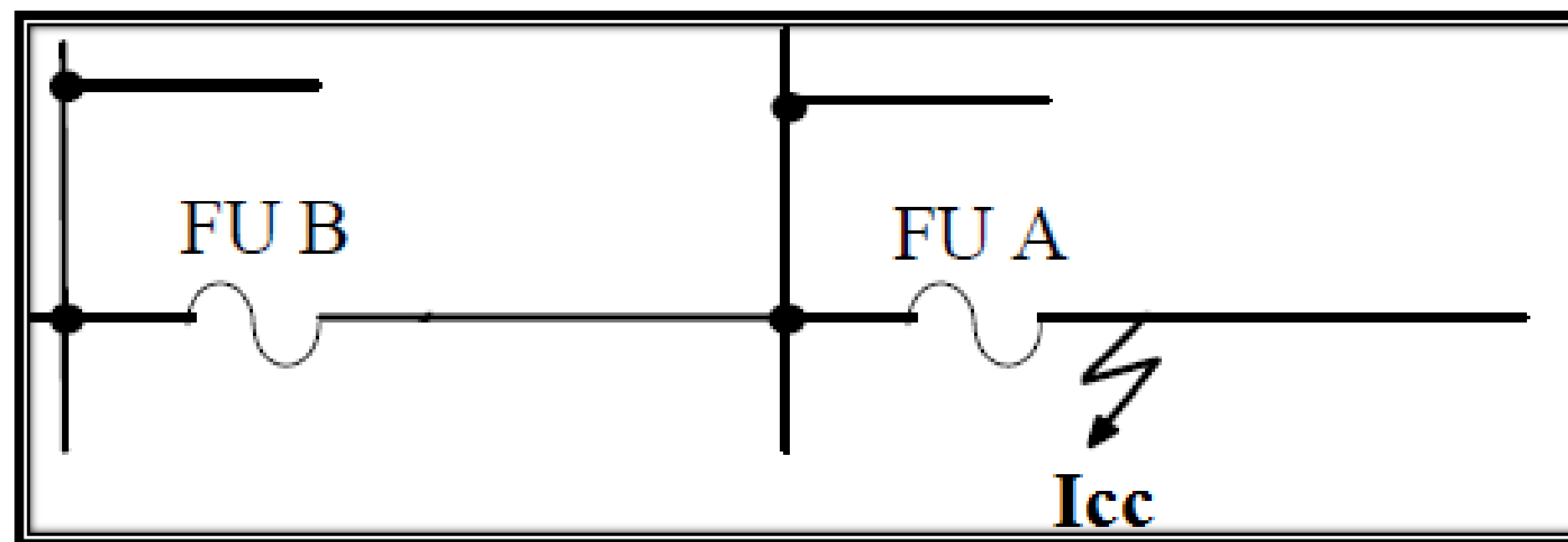


Estas tablas indican el valor máximo de la corriente de falla a la cual coordinan los fusibles respectivos y ellas están basadas en las curvas de máximo tiempo de aclaramiento del fusible local y el 75% de la curva de tiempo mínimo de fusión del fusible de respaldo; es decir, se exige que el 75% del tiempo mínimo de fusión del fusible del lado fuente (de respaldo o protegido) sea mayor que el tiempo total de aclaramiento del fusible del lado carga (local o de protección).



Coordinación Fusible

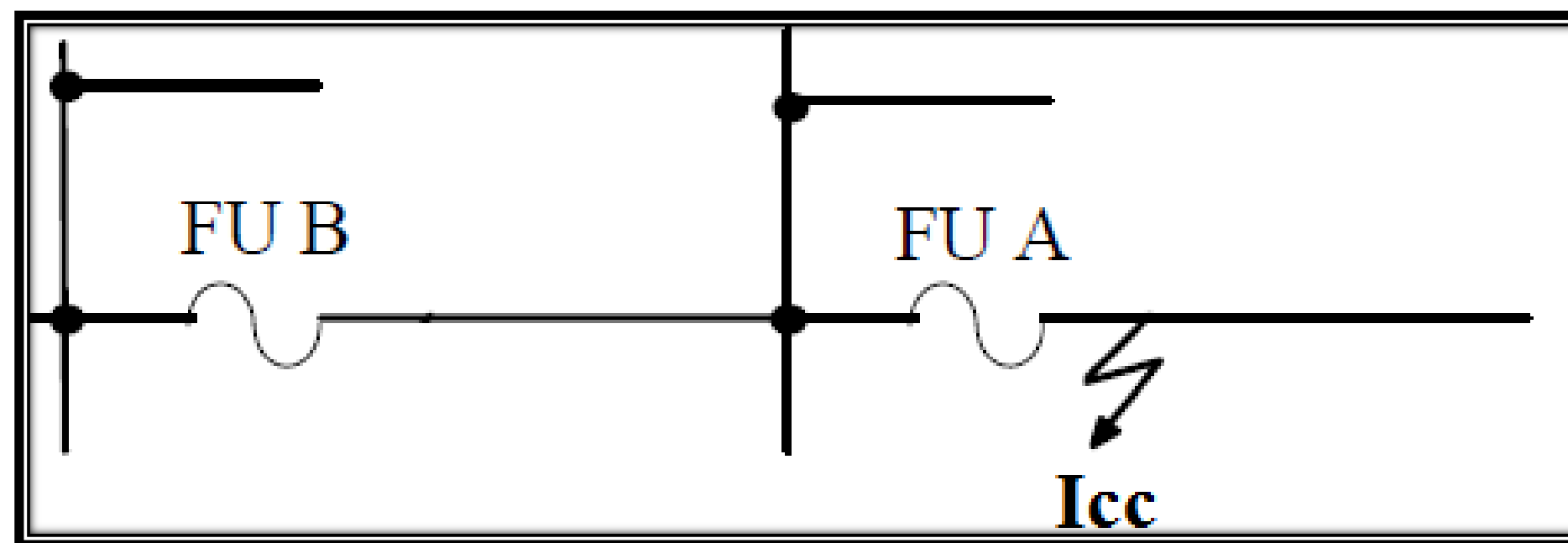
Coordinación entre fusibles tipo K según EEI-NEMA



FUSIBLES DE PRO- TECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)													
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

Coordinación Fusible

Coordinación entre fusibles tipo T según EEI-NEMA



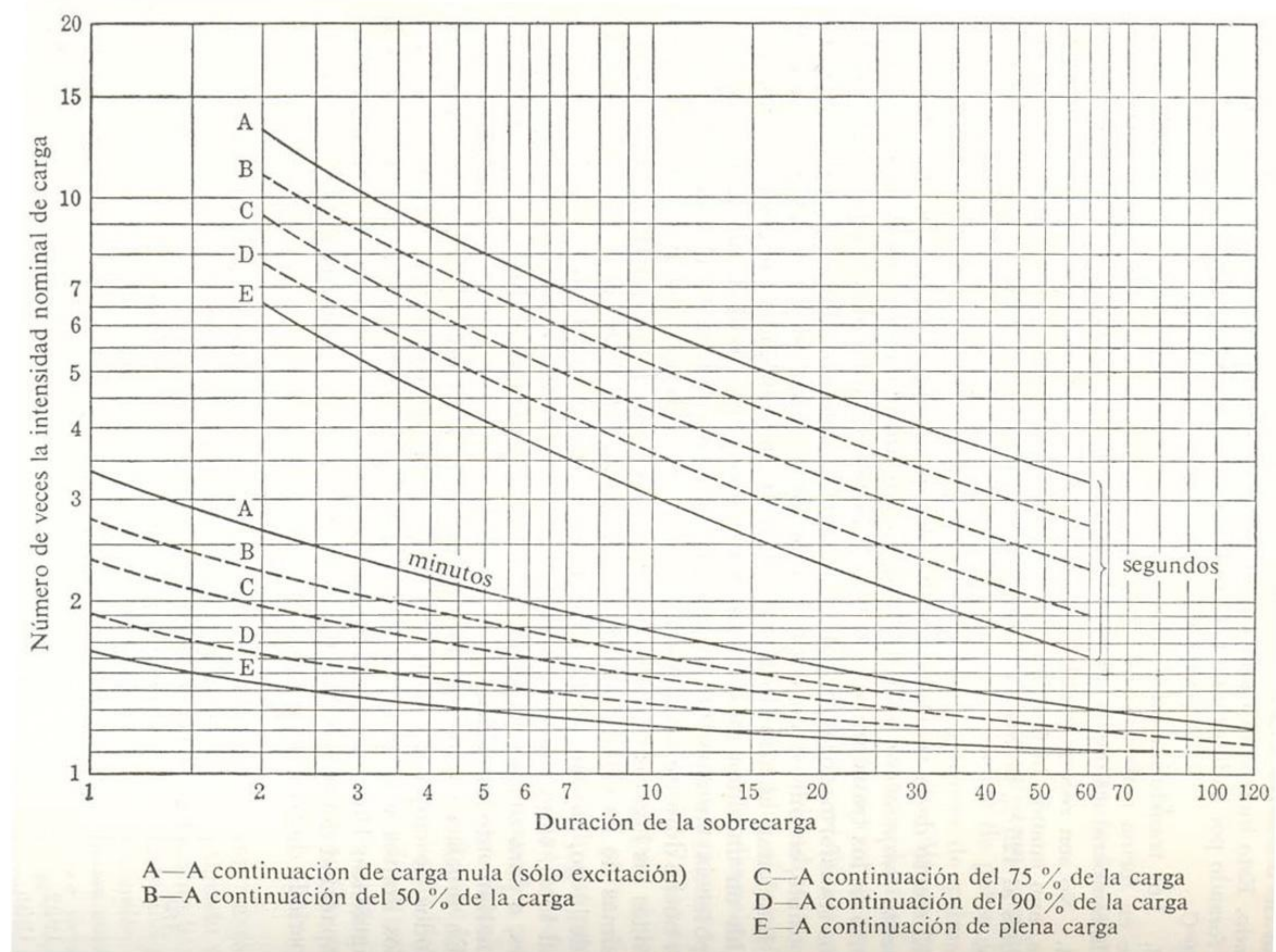
FUSIBLES DE PRO-TECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)													
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)													
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	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

Capacidad de sobrecarga de transformadores durante períodos cortos

- Las partes metálicas de un transformador tienen gran capacidad de absorción de calor, por lo que, en períodos cortos de tiempo, en los devanados no se origina una temperatura tan elevada como lo que se alcanzaría si la sobrecarga fuera continuada.
- Se han confeccionado curvas para sobrecargas de corta duración, según recomendación ASA (American Standards Association).

Coordinación Fusible

Aplicación Protección Fusible



1. El fusible debe soportar sin quemarse 1,5 veces la corriente nominal del transformador. En el gráfico tiempo corriente del fusible esto se representa como una recta vertical que debe quedar en la región izquierda de la curva mínima de fusión del fusible.
2. Los valores de la corriente Inrush deben ubicarse en la región a la izquierda de la curva mínima de fusión del fusible.
3. Los puntos ANSI que definen la curva característica de daño del transformador deben ubicarse en la región a la derecha del curva total de aclaramiento del fusible.

Coordinación Fusible

El estándar C57.12 evolucionó hacia una curva de daño dada por el estándar ANSI/IEEE C57.109 (1985). Para fines de coordinación protección – transformador, se debe graficar la curva ANSI del transformador sobre la curva de operación de la protección, para lo cual la norma realiza una clasificación de los transformadores en categorías:

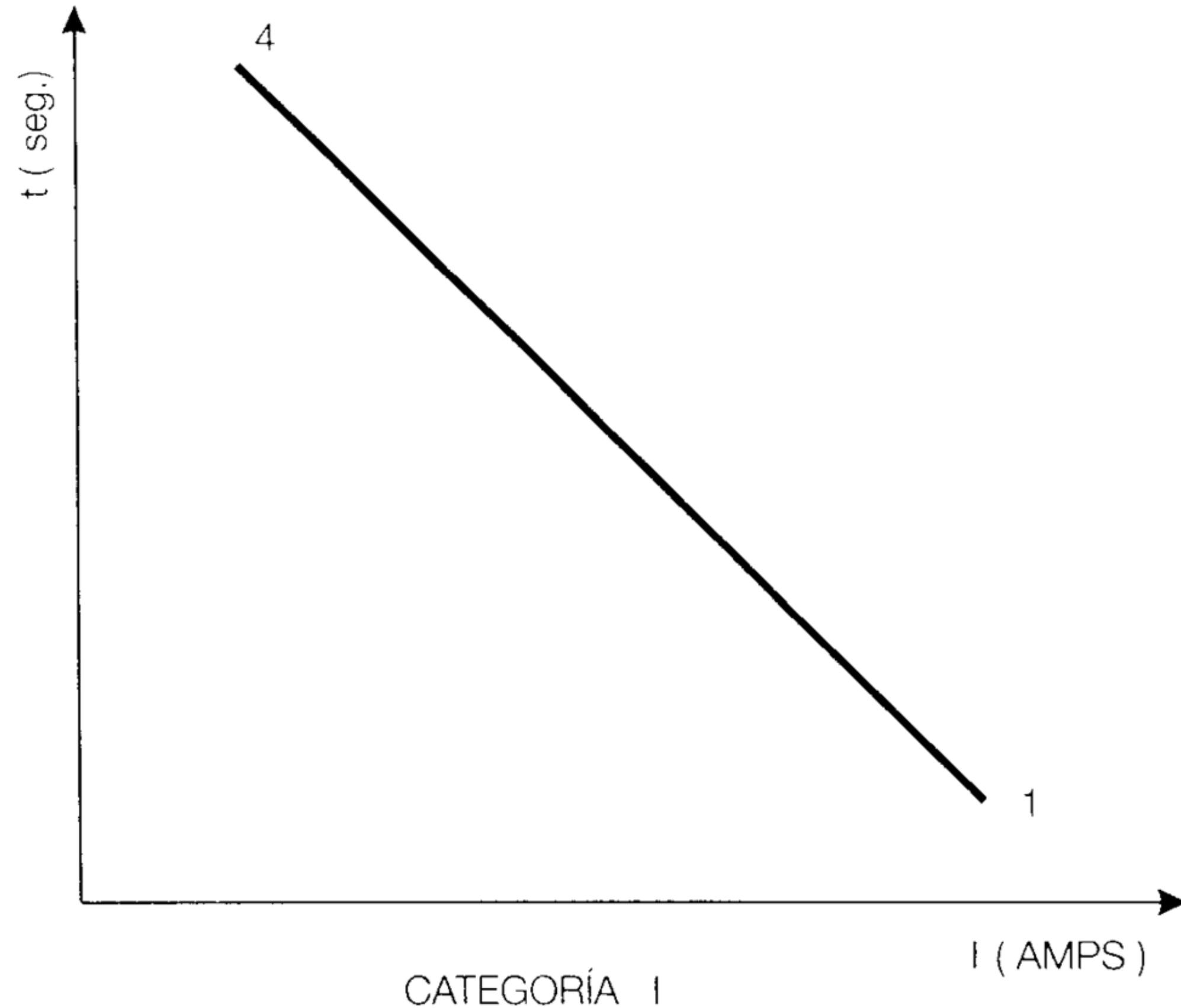
Curva ANSI del Transformador

CATEGORÍAS DE TRANSFORMADORES DE ACUERDO A LAS NORMAS ANSI KVA NOMINALES DE PLACA		
CATEGORIAS	MONOFÁSICAS	TRIFÁSICOS
I	5-500	15 - 500
II	501 - 1,667	501 - 5,000
III	1,668 - 10,000	5,001 - 30,000
IV	Arriba de 10,000	Arriba de 30,000

Coordinación Fusible

Para fines de coordinación protección – transformador, se debe graficar la curva ANSI del transformador sobre la curva de operación de la protección, para lo cual la norma realiza una clasificación de los transformadores en categorías:

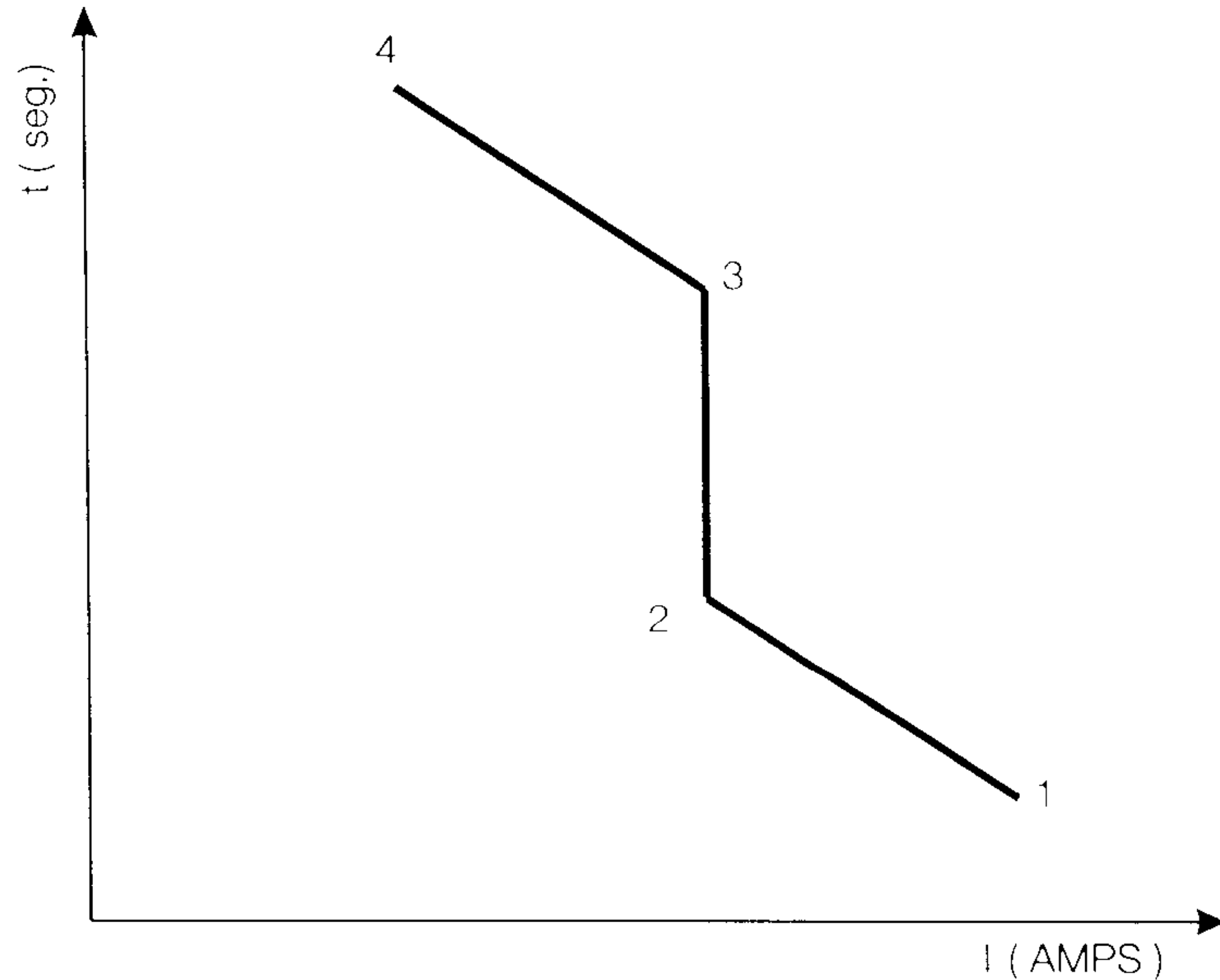
Curva ANSI del Transformador



Coordinación Fusible

Para fines de coordinación protección – transformador, se debe graficar la curva ANSI del transformador sobre la curva de operación de la protección, para lo cual la norma realiza una clasificación de los transformadores en categorías:

Curva ANSI del Transformador



CATEGORÍAS II, III y IV

Coordinación Fusible

Los puntos ANSI están dados por la siguiente tabla:

Curva ANSI del Transformador

PUNTOS DE LA CURVA ANSI PARA TRANSFORMADORES

PUNTOS CURVA ANSI			
PUNTO	CATEGORÍAS DEL TRANSFORMADOR	TIEMPO (SEGS)	CORRIENTE AMPS
1	I	$1,250 (Z_t)^2$	I_{pc} / Z_t
	II	2	I_{pc} / Z_t
	III, IV	2	$I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
2	II	4.08	$0.7 I_{pc} / Z_t$
	III, IV	8.0	$0.5 I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
3	II	$2,551 (Z_t)^2$	$0.7 I_{pc} / Z_t$
	III, IV	$5,000 (Z_t + Z_s)^2$	$0.5 I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
4	I, II, III, IV	50	$5 I_{pc}$

Donde:

Z_t = Impedancia del transformador en por unidad en base a los kVA con enfriamiento OA.

Z_s = Impedancia de la fuente en por unidad en base a los kVA de transformador con enfriamiento OA.

I_{pc} = Corriente en A a plena carga del transformador en base a su capacidad con enfriamiento OA.

Los valores se calculan como:

MÚLTIPLOS PARA OBTENER EL PUNTO DE MAGNETIZACIÓN DE TRANSFORMADORES

CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR	MULTIPLO
Menores de 1,500 KVA	8
Mayores de 1,500 KVA y menores de 3,750 KVA	10
Mayores de 3,750 KVA	12

En $t = 0,1s$

Coordinación Fusible

Los valores de corriente inrush en función del tiempo se calculan como:

$$i_{inrush} = \frac{k_i \cdot I_{1nTR}}{\sqrt{2}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{inrush}}}$$

Donde:

- S_{nTR} Potencia nominal del transformador
- $i_{p_{inrush}}$ Corriente Inrush del transformador
- I_{1nTR} Corriente primaria del transformador
- τ_{inrush} Constante de tiempo de la corriente Inrush

Table 1: Oil transformer

S_{nTR} [kVA]	$k_i = \frac{i_{p_{inrush}}}{I_{1nTR}}$	τ_{inrush} [s]
50	15	0.10
100	14	0.15
160	12	0.20
250	12	0.22
400	12	0.25
630	11	0.30
1000	10	0.35
1600	9	0.40
2000	8	0.45

Table 2: Cast resin transformer

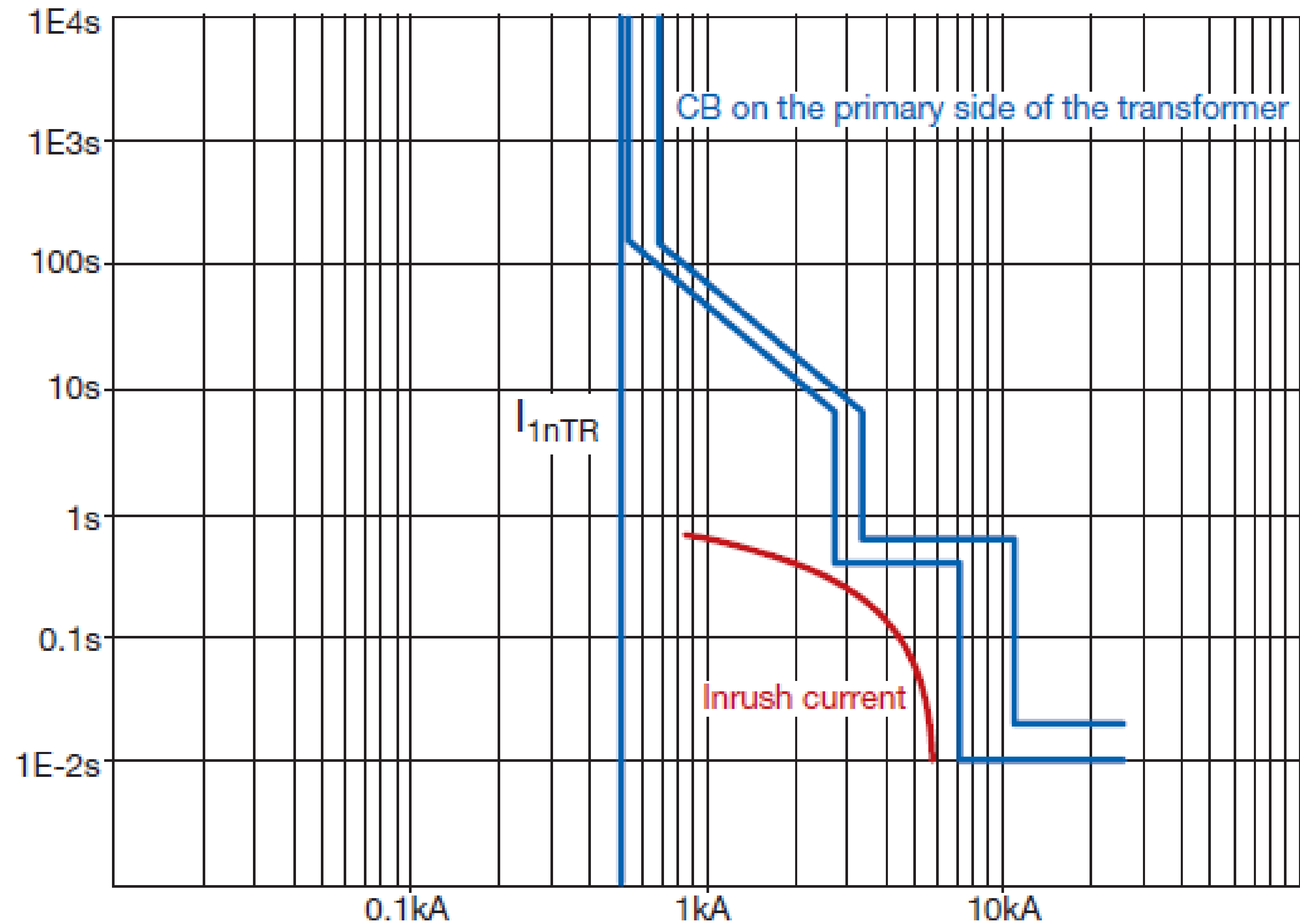
S_{nTR} [kVA]	$k_i = \frac{i_{p_{inrush}}}{I_{1nTR}}$	τ_{inrush} [s]
200	10.5	0.15
250	10.5	0.18
315	10	0.2
400-500	10	0.25
630	10	0.26
800-1000	10	0.3
1250	10	0.35
1600	10	0.4
2000	9.5	0.4

Coordinación Fusible

Gráfica de la corriente inrush en plano tiempo-corriente contrastada con CB en lado primario del transformador:

$$i_{\text{inrush}} = \frac{k_i \cdot I_{1nTR}}{\sqrt{2}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{\text{inrush}}}}$$

Corriente Inrush ANSI





¿Preguntas?

DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS MEDIA Y ALTA TENSIÓN - EAI6112