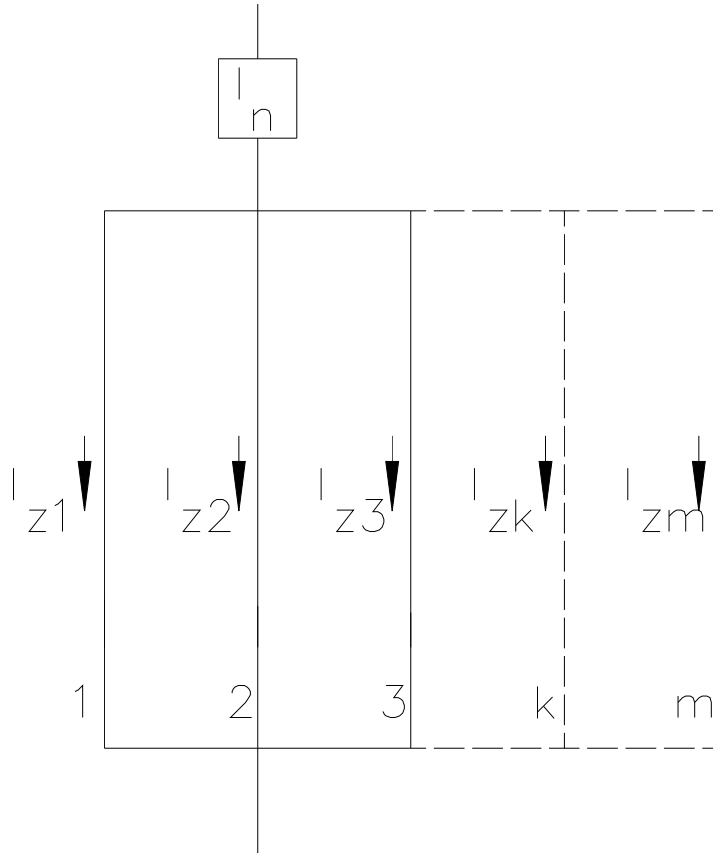


Conductores en paralelo que transportan corrientes DIFERENTES



Si las corrientes en los *conductores en paralelo no son iguales*

la protección contra **sobrecargas** y la corriente de **proyecto** de cada conductor debe ser analizada **individualmente**.

Las corrientes en conductores en paralelo se consideran distintas si la **diferencia** entre las corrientes de cualquier conductor es **mayor** que el **10%** de la corriente de proyecto de cada conductor.

Reparto de corrientes e impedancias

El reparto de corriente entre los cables en paralelo es función de la Z de los mismos. Para los cables unipolares de secciones importantes la X_L de la Z es mayor que la R y tiene un efecto significativo en el reparto de corrientes. La X_L es influenciada por la posición física relativa de cada cable. Si, por ejemplo, un circuito está formado por 2 cables/fase de S importante, que tienen el mismo largo, la misma S , la misma construcción y el mismo material conductor y están dispuestos en paralelo con una posición relativa desfavorable (por ejemplo cables de la misma fase agrupados) el reparto de corrientes puede ser **70%/30%** en lugar de **50%/50%**.

Corriente de proyecto I_b y la protección contra las sobrecargas con reparto **DESIGUAL** de corrientes

Cuando existe diferencia de Z entre los conductores en paralelo que causa un reparto desigual de corrientes, (diferencia superior al 10%), la corriente de proyecto I_b y la protección contra las sobrecargas de cada conductor, se deben analizar individualmente, de la siguiente manera.

La I_b de cada conductor puede ser calculada a partir de la carga total y de la Z de cada conductor.

Para un total de m conductores en paralelo, la corriente de proyecto I_{bk} para el conductor k está dada por:

$$I_{bk} = \frac{I_b}{\left(\frac{Z_k}{Z_1} + \frac{Z_k}{Z_2} + \dots + \frac{Z_k}{Z_{k-1}} + \frac{Z_k}{Z_k} + \frac{Z_k}{Z_{k+1}} + \dots + \frac{Z_k}{Z_m} \right)}$$

Corriente de proyecto I_b y la protección contra las sobrecargas con reparto **DESIGUAL** de corrientes

donde:

I_b	es la corriente de proyecto o empleo (la corriente de empleo o la corriente para la cual el circuito fue proyectado);
I_{bk}	es la corriente de proyecto para el conductor k ;
Z_k	es la Z del conductor k ;
Z_1 y Z_m	son las Z de los conductores 1 y m respectivamente.

Es recomendable que el reparto de corrientes entre conductores en paralelo sea verificado por medición.

Corriente de proyecto I_b y la protección contra las sobrecargas con reparto **DESIGUAL** de corrientes

Las condiciones de protección contra las sobrecargas se pueden escribir:

$$I_{bk} \leq I_{nk} \leq I_{zk}$$

$$I_{2k} \leq 1,45 I_{zk}$$

si se han previsto protecciones individuales contra sobrecargas para cada conductor donde, I_{zk} es la corriente admisible de cada conductor

Protección contra las sobrecargas con reparto **DESIGUAL** de corrientes y protecciones individuales

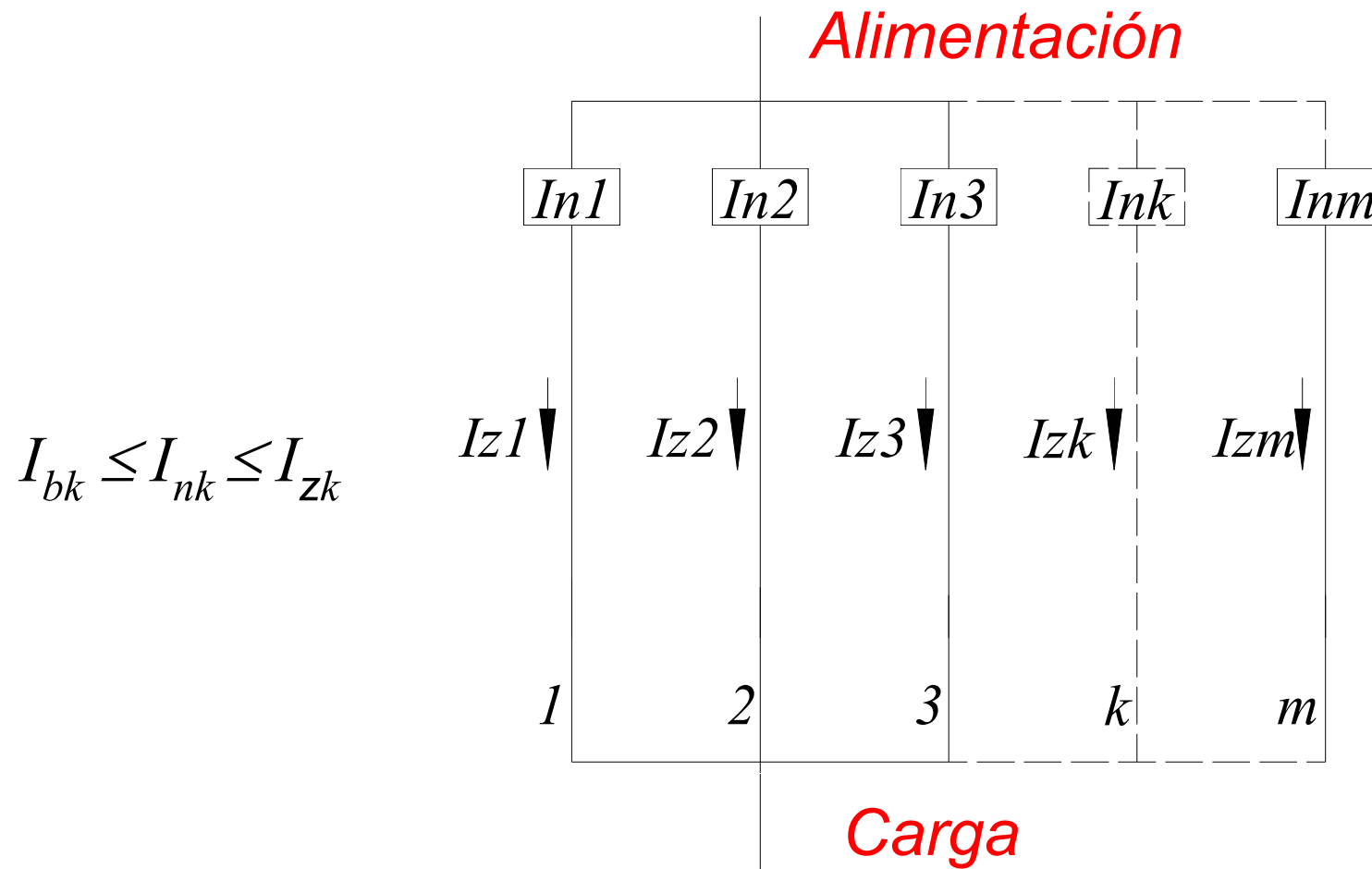


Figura A.1 - Circuito en el que se ha instalado un dispositivo de protección contra las sobrecargas en cada uno de los m conductores en paralelo de cada línea

Corriente de proyecto I_B y la protección contra las sobrecargas con reparto **DESIGUAL** de corrientes

ó

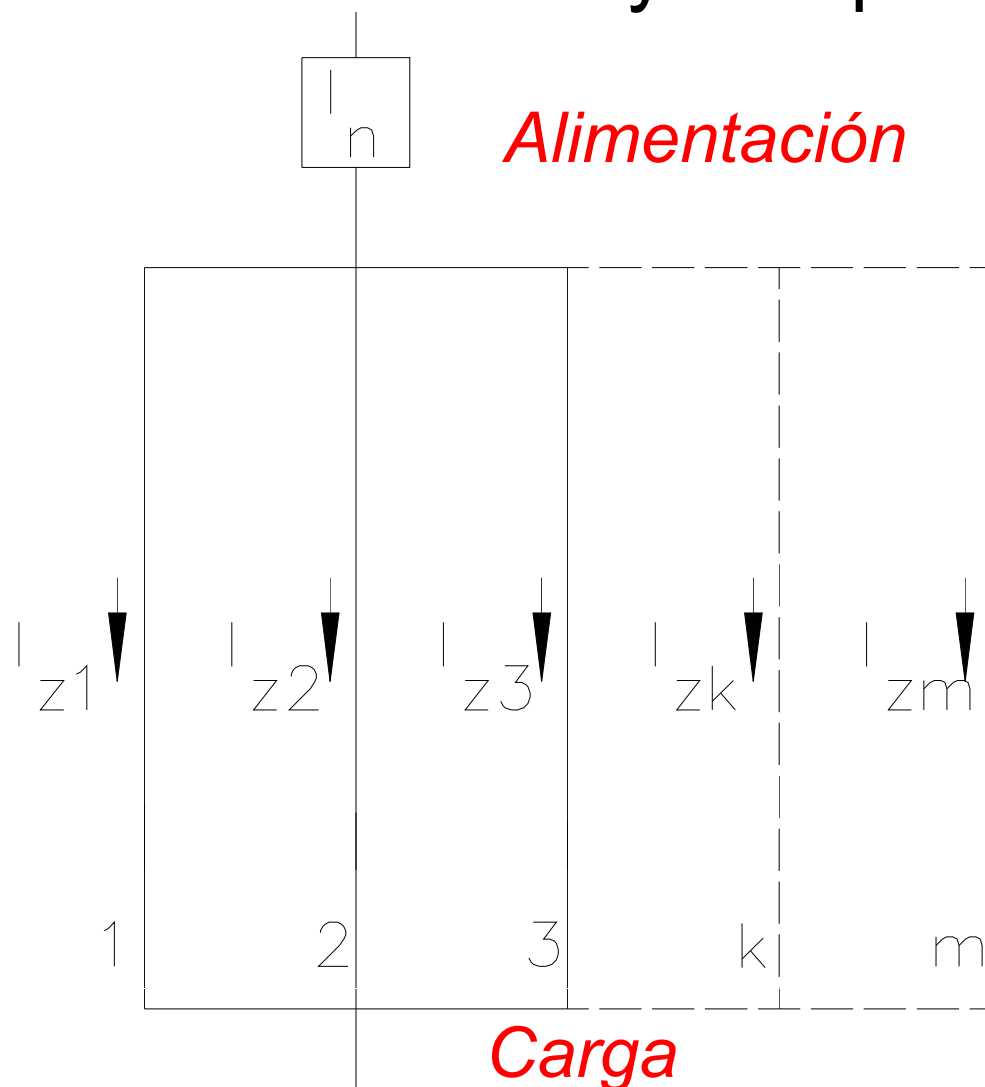
las condiciones de protección contra las sobrecargas se pueden escribir:

$$I_{hk} \leq I_n \leq \sum I_{zk}$$

$$I_2 \leq 1,45 \sum I_{zk}$$

si se ha previsto una única protección contra sobrecargas por cada línea, para los conductores en paralelo, donde $\sum I_{zk}$ es la suma de las corrientes admisibles de una de las fases.

Protección contra las sobrecargas con reparto desigual de corrientes y una protección *única por fase*

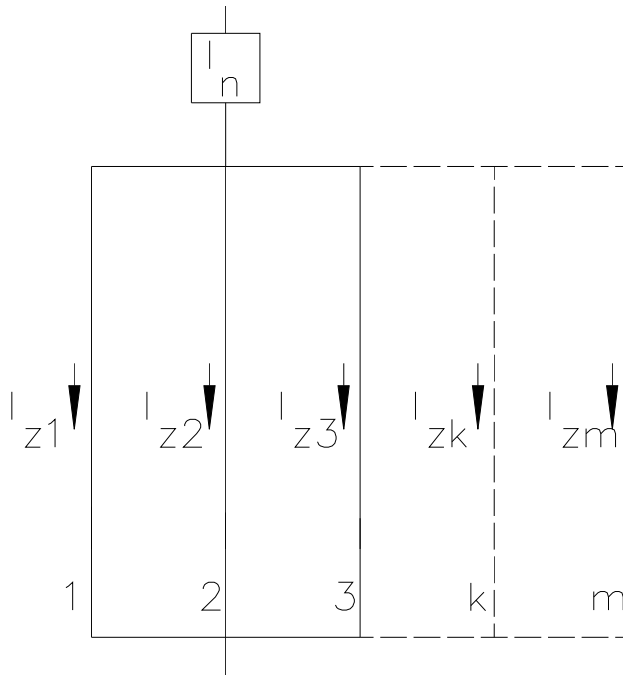


$$I_b \leq I_n \leq \sum I_{zk}$$

$$\sum I_{zk} = I_{z1} + I_{z2} + \dots + I_{zm}$$

Figura A.2 Circuito en el que se ha instalado un solo dispositivo de protección contra las sobrecargas para los m conductores en paralelo

Protección contra los cortocircuitos de conductores en paralelo



Los conductores en *paralelo* pueden ser *protegidos* contra las I_{cc} por *1 solo DPCC* si las características de operación del *DP aseguran* su efectiva *actuación* en el caso de defecto en el punto más comprometido de un conductor en paralelo.

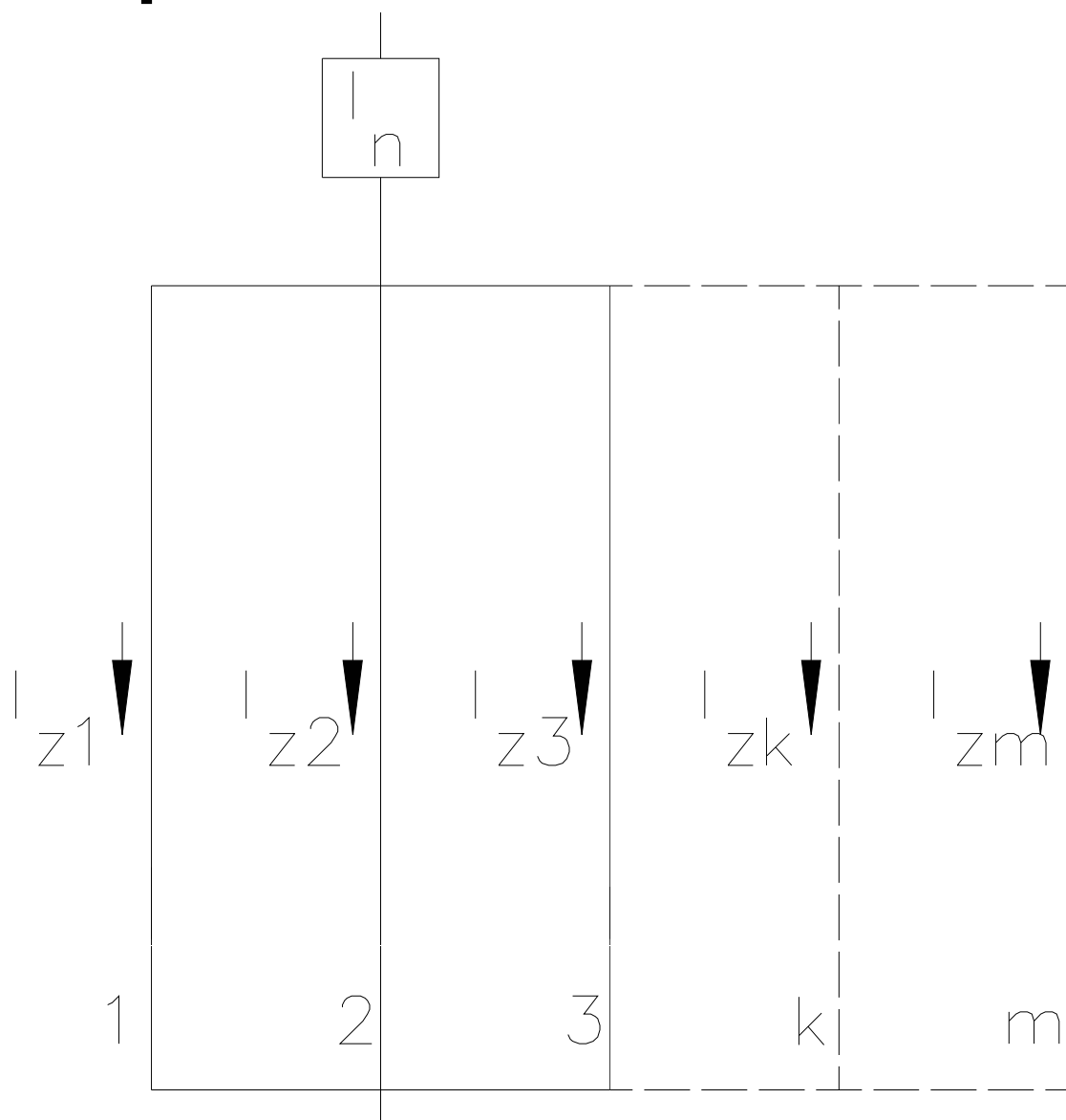
Se deberá tener en cuenta, el reparto de las I_{cc} entre los conductores en paralelo y además considerar que un defecto *puede ser alimentado* desde *ambos extremos* de un conductor en paralelo.

Corriente de proyecto I_b y la protección contra las sobrecargas con reparto desigual de corrientes

donde:

I_{nk}	es la corriente nominal o asignada del dispositivo de protección del conductor k ;
I_{zk}	es la corriente admisible del conductor k ;
I_n	es la corriente nominal o asignada del único dispositivo de protección;
Z_k	es la impedancia del conductor k ;
$\sum I_{zk}$	es la suma de las corrientes admisibles de los m conductores en paralelo.

Protección contra los cortocircuitos de conductores en paralelo



Cuando los conductores están conectados en paralelo, debe considerarse la posibilidad de un corto circuito dentro del paralelo.

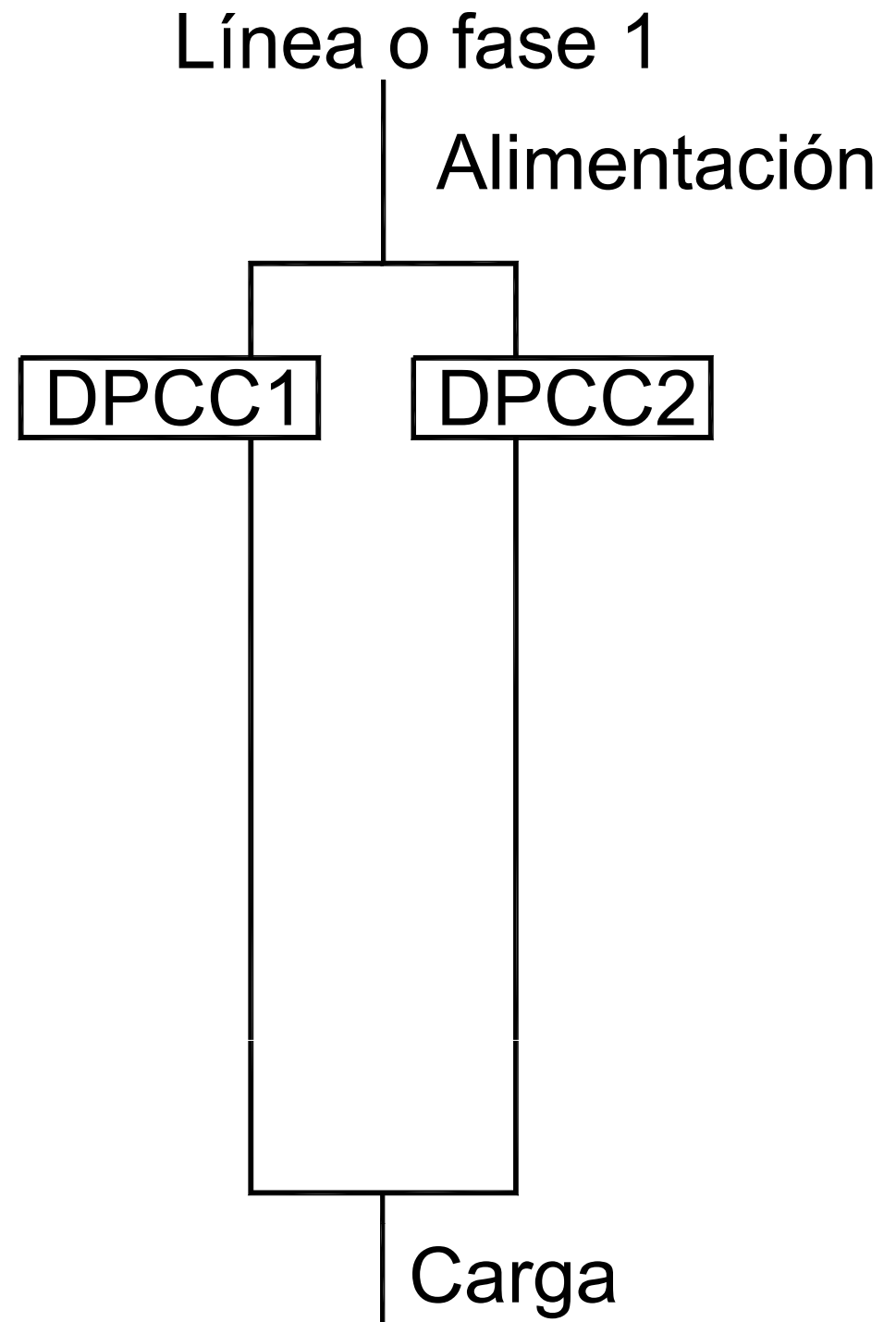
Si no se puede asegurar el disparo u operación de un solo **DPC**, se deberán tomar una o más de las siguientes medidas:

Protección contra los cortocircuitos de conductores en paralelo

- a) Se puede emplear un solo DP siempre que
- a1) los conductores sean instalados de forma tal que se reduzca *el riesgo de un cortocircuito en cualquier conductor en paralelo*, a un *mínimo*, p.ej. por una protección contra daños mecánicos, y
 - a2) los conductores y su canalización *no deben situarse junto a materiales combustibles*.

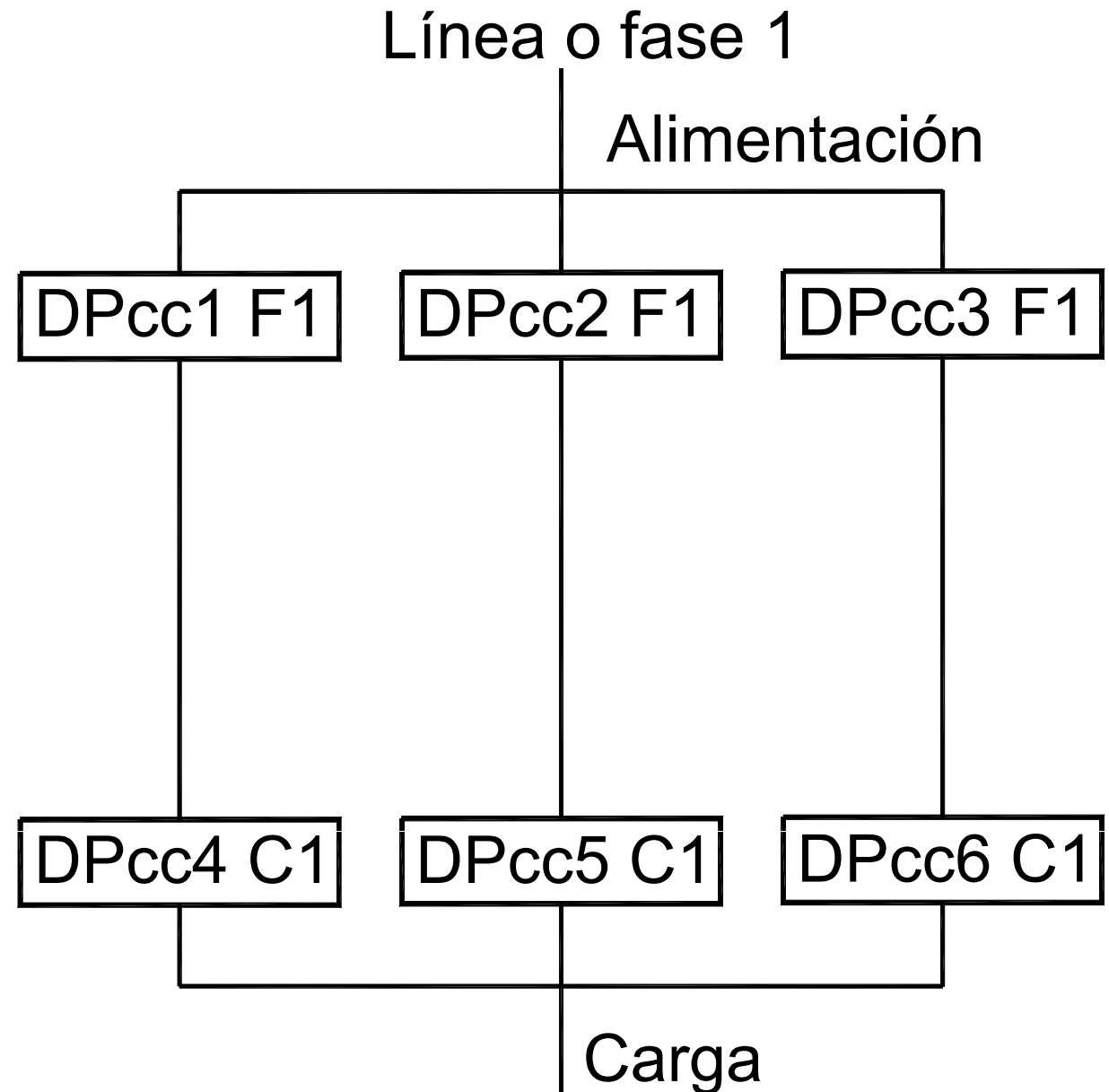
Protección contra los cortocircuitos de 2 conductores en paralelo

b) Para *2 conductores en paralelo por fase*, se deberán *instalar DPCC en el origen de cada conductor en paralelo*.



Protección contra los cortocircuitos de más de 2 conductores en paralelo

c) Para *más de 2 conductores en paralelo*, se deberán *instalar DPCC en ambos extremos* (lado fuente y lado carga) *de cada conductor en paralelo*.



Protección contra los cortocircuitos de más de 2 conductores en paralelo

Cuando 3 o más conductores están conectados en paralelo, pueden existir múltiples caminos para las corrientes de defecto y será necesario prever protección contra corto circuitos en ambos extremos de cada conductor en paralelo: del lado alimentación y del lado carga. Esta situación se ilustra en las figuras A.3 y A.4.

Protección contra los cortocircuitos de más de 2 conductores en paralelo

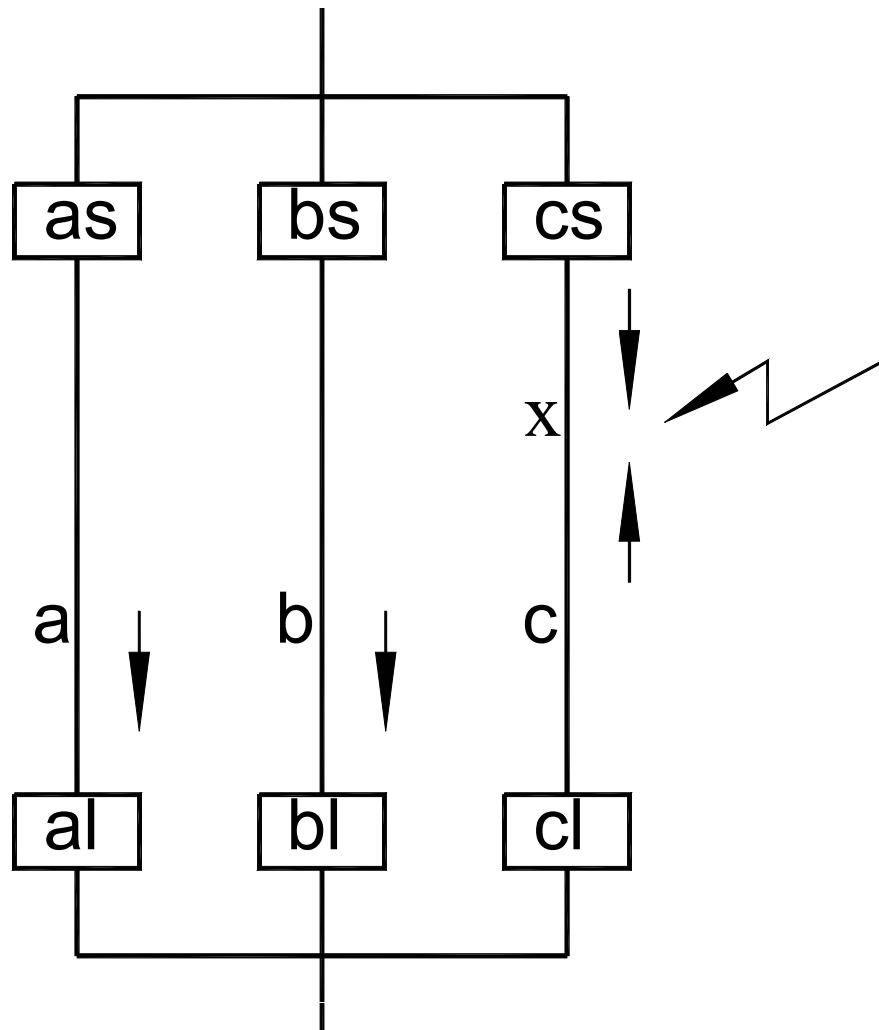


Figura A.3 - Circulación de corriente al comienzo del defecto

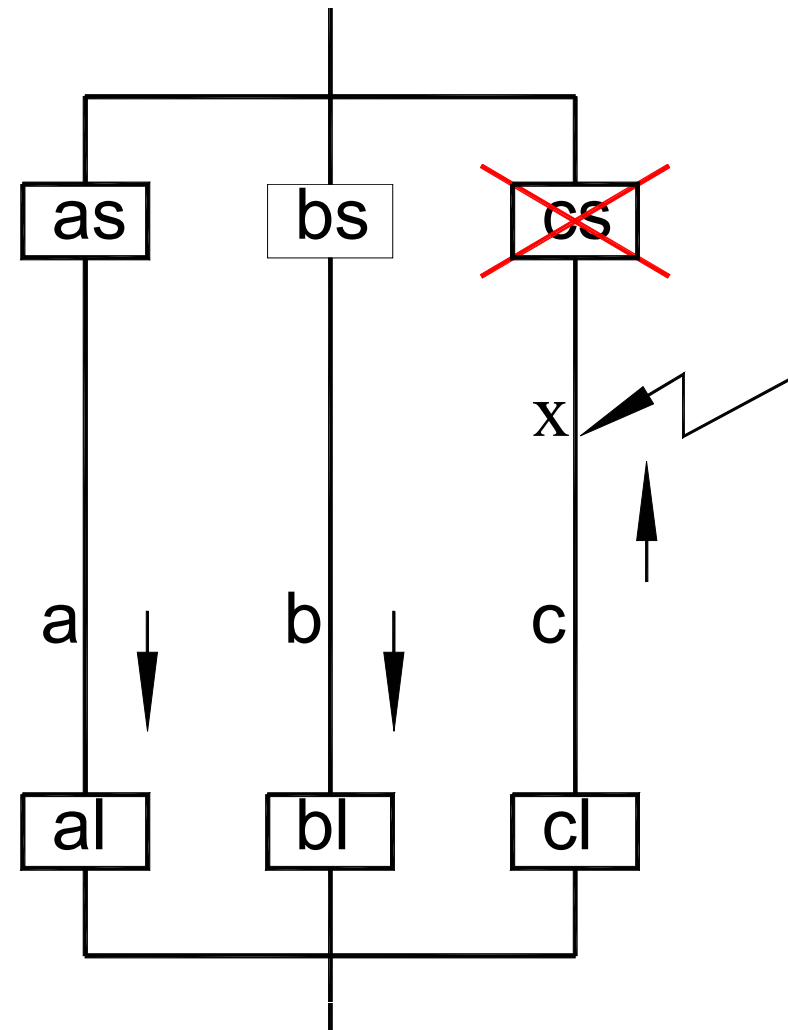


Figura A.4 – Circulación de corriente después de la operación del dispositivo de protección cs

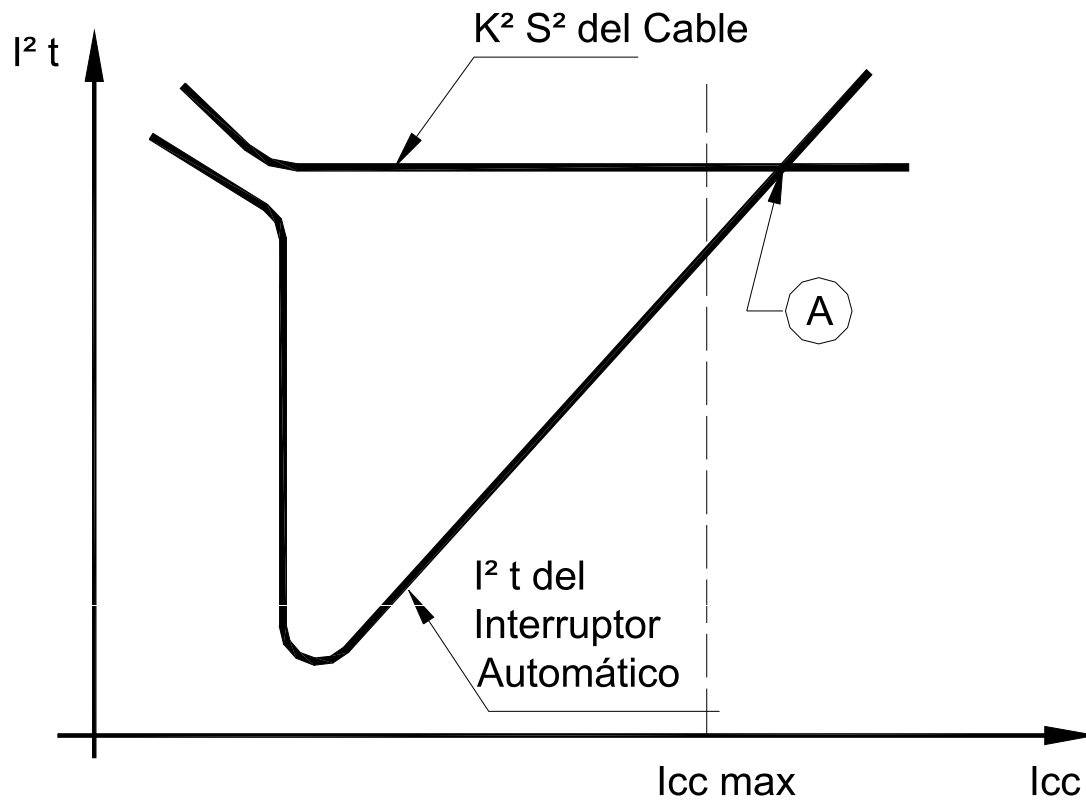
Protección contra los cortocircuitos de más de 2 conductores en paralelo

La figura A.3 muestra que, si ocurre un defecto en el conductor en paralelo **c**, en el punto **x**, la corriente de defecto circulará por los conductores **a**, **b** y **c**. La magnitud de la corriente de defecto y la proporción de la corriente de defecto que circula a través del dispositivo de protección **cs** y **cl** dependerá de la localización de la falla.

En este ejemplo se ha supuesto que la *mayor proporción de la corriente de defecto* circulará a través del **DP cs**. La figura A.4 muestra que, una vez que **cs** ha operado, la *lcc* seguirá circulando hacia la falla **x** a través de los conductores **a** y **b**. Debido a que los conductores **a** y **b** están en paralelo, las corrientes a través de los **DP as** y **bs** pueden ser insuficientes para hacerlos operar en el tiempo requerido. Si este es el caso, el **DP cl** es necesario. Se debe observar que la *lcc* que circula a través de **cl** será $<$ que la *lcc* que ha causado la operación de **cs**. Si la falla es lo suficientemente cercana a **cl**, entonces **cl** operará primero. La misma situación existirá si ocurre un defecto en los conductores **a** o **b**, por lo que serán necesarios los **DP al** y **bl**.

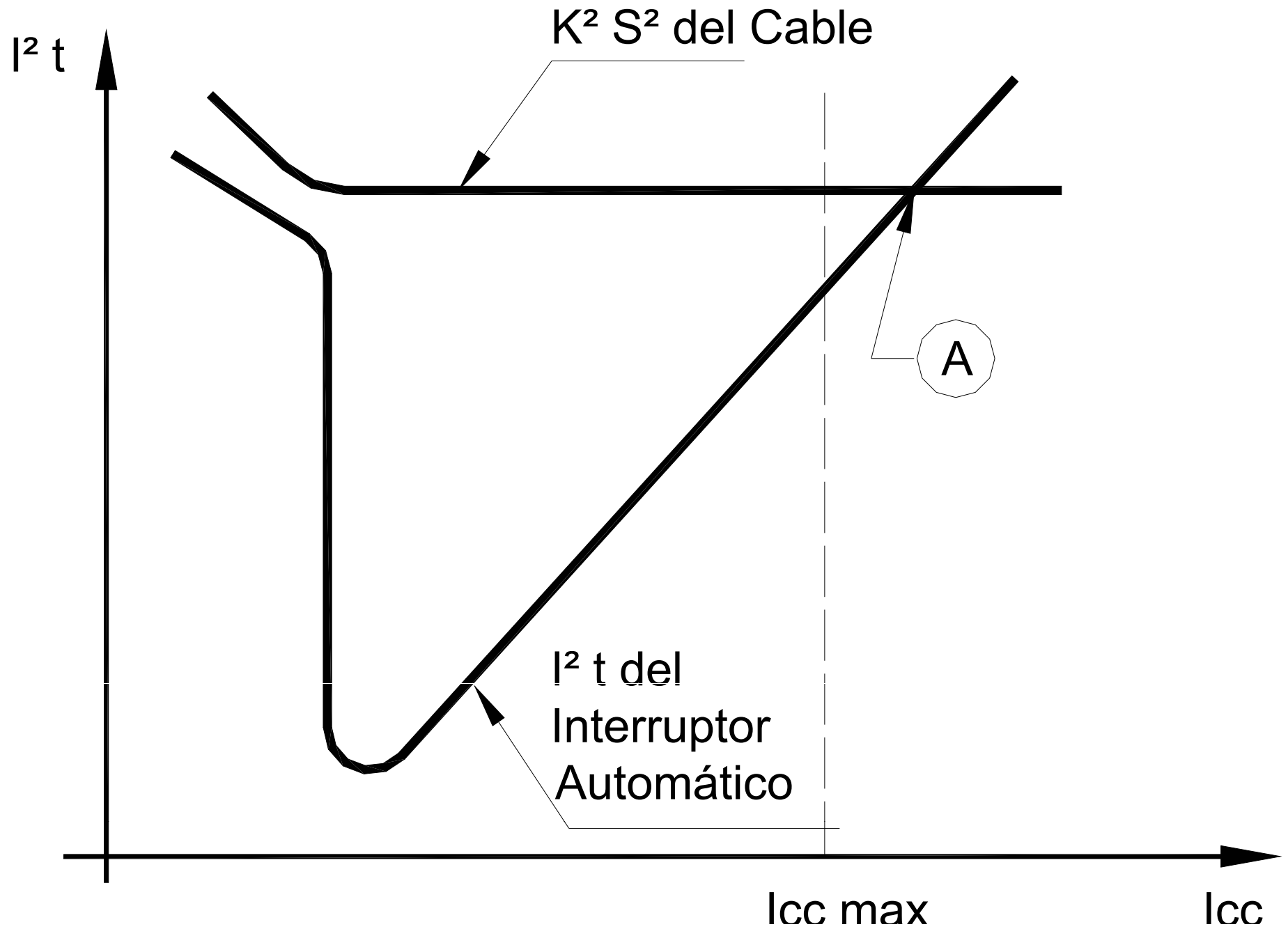
COORDINACIÓN Y SELECTIVIDAD

I_{cc}min e I_{cc}mx con interruptor automático con protección contra sobrecargas y cortocircuito

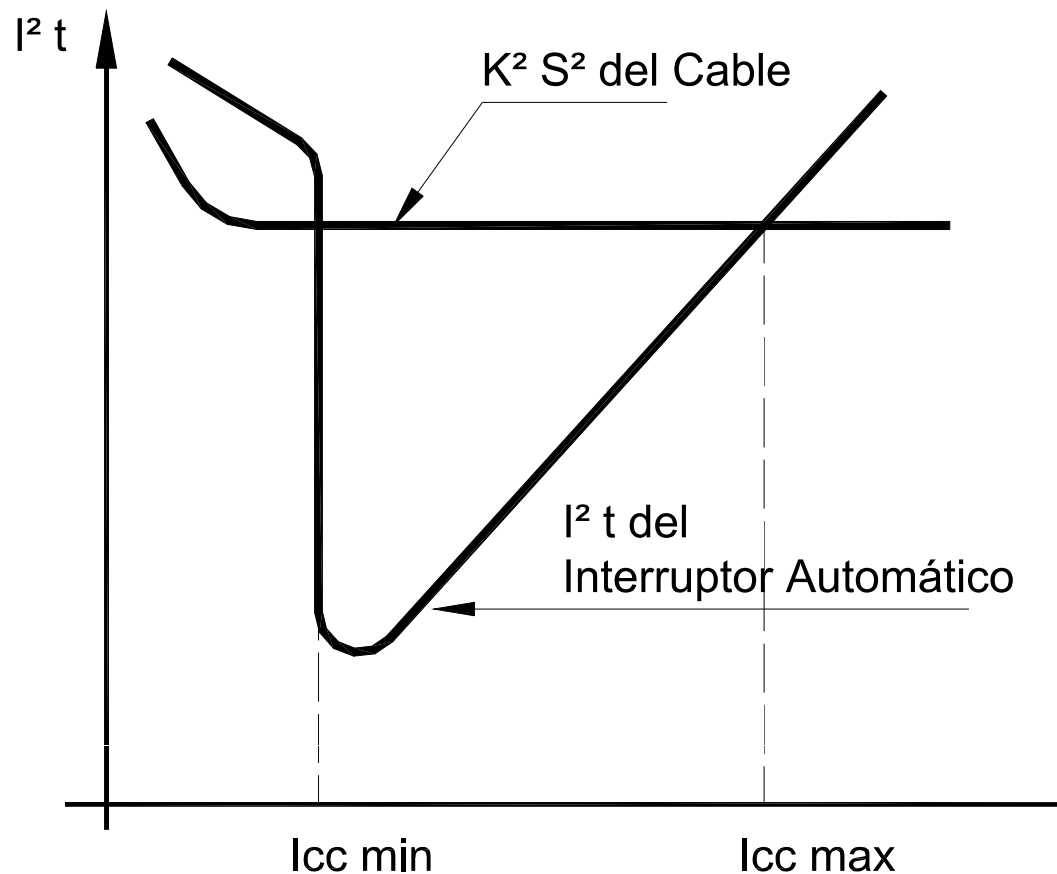


Cuando el cable está protegido contra sobrecargas y cortocircuito por un interruptor automático es suficiente que el punto “A” no quede a la izquierda de I_{cc}

Iccmin e Iccmx



Iccmin e Iccmx con interruptor automático con protección sólo contra cortocircuito



Cuando el cable está protegido sólo contra cortocircuito por un interruptor automático el esquema muestra las posiciones de Iccmin e Iccmax

COORDINACIÓN para la protección contra las sobreintensidades de los dispositivos de protección de sobreintensidad (*DPCSi*)

es la coordinación de dos o varios *DPCSi* en serie para asegurar la SELECTIVIDAD y/o la protección de ACOMPAÑAMIENTO.

El término “COORDINACIÓN” engloba consideraciones de SELECTIVIDAD y de protección DE ACOMPAÑAMIENTO

SELECTIVIDAD en caso de sobreintensidad (VEI 441-17-15)

Es la COORDINACIÓN entre las características de operación de dos o más *DPCSi* de forma que cuando se presentan sobreintensidades dentro de límites fijados, el dispositivo previsto para funcionar dentro de esos límites actúe y no lo hagan los otros.

SELECTIVIDAD TOTAL

(2.17.2 de IEC 60947-2)

Es la SELECTIVIDAD en la que, en el caso de una SOBREINTENSIDAD y en presencia de 2 dispositivos de SOBRECORRIENTE colocados en serie, el **DP** situado AGUAS ABAJO, realiza la protección sin provocar el disparo del otro **DP** (ubicado AGUAS ARRIBA de la sobreintensidad).

SELECTIVIDAD PARCIAL

(2.17.3 de IEC 60947-2)

Es la SELECTIVIDAD en la que, en el caso de una SOBREINTENSIDAD y en presencia de dos **DP** de SOBRECORRIENTE colocados en serie, el **DP** AGUAS ABAJO, asegura la protección hasta un nivel dado de SOBREINTENSIDAD, sin provocar el disparo del otro **DP**, ubicado AGUAS ARRIBA

Protección de ACOMPAÑAMIENTO (o DE RESPALDO o de BACK-UP). (2.5.24 de IEC 60947-1)

Es la coordinación, para la protección contra *Si*, de dos *DP* de *Si* en la cual el *DP* que, generalmente pero no necesariamente, está situado en el lado de la fuente (aguas arriba), efectúa la protección contra las *Si* con o sin la ayuda del otro *DP* (ubicado aguas abajo) e impide toda solicitud excesiva sobre éste.

Se la conoce también como protección de respaldo, protección back up, asociación o protección en serie.

Corriente límite de selectividad (I_s).

Es el valor de corriente correspondiente a la *INTERSECCIÓN* de la curva total $t-I$ del *DP* ubicado *AGUAS ABAJO* con la curva $t-I$ de *PREARCO* (para los fusibles) o de *DISPARO* (para los IA) del otro *DP*.

Corriente límite de selectividad (I_s)

Es un valor **LÍMITE** de corriente:

a) por debajo del cual y en presencia de dos **DP** de sobrecorriente en serie el **DP** aguas abajo completa su operación de corte en el tiempo adecuado para impedir que el otro **DP** inicie su operación (es decir que **se ASEGURA LA SELECTIVIDAD**);

Corriente límite de selectividad (I_s)

y es un valor **LÍMITE** de corriente:

b) por encima del cual y en presencia de dos **DP** de sobrecorriente en serie, el **DP** aguas abajo puede no completar su operación de corte en el tiempo adecuado para impedir que el otro **DP** inicie su operación (es decir que **NO se ASEGURA LA SELECTIVIDAD**);

Corriente de intersección (I_B) (441-17-16).

Es el valor de corriente correspondiente a la intersección de las curvas $t-I$ de dos **DPSi**.

Se aplica a dos **DPSi** en serie para tiempos de funcionamiento $\geq 0,05$ s.

Para tiempos de operación $< 0,05$ s los dos **DPSi** en serie se consideran una asociación.

Corriente de cortocircuito condicional [IEC 60947-1 2.5.29]

Es la corriente presunta que un circuito o un aparato de conexión protegido por un **DPCC**, puede soportar de modo satisfactorio durante el tiempo total de operación de ese dispositivo en condiciones especificadas de empleo y de comportamiento

Corriente asignada de cortocircuito condicional (I_{nc}) [IEC 60947-1 4.3.6.4]

La corriente asignada de CC condicional de un aparato es el valor de corriente presunta, fijado por el fabricante, que ese equipo, protegido por un ***DPC***, especificado por el fabricante, puede soportar de modo satisfactorio durante el tiempo total de operación de ese dispositivo en las condiciones de ensayo especificadas en la norma de producto correspondiente

Coordinación entre IA y fusibles

I = corriente presunta de cortocircuito

I_{cu} = poder de corte último (o I_{cs} poder de corte de servicio)

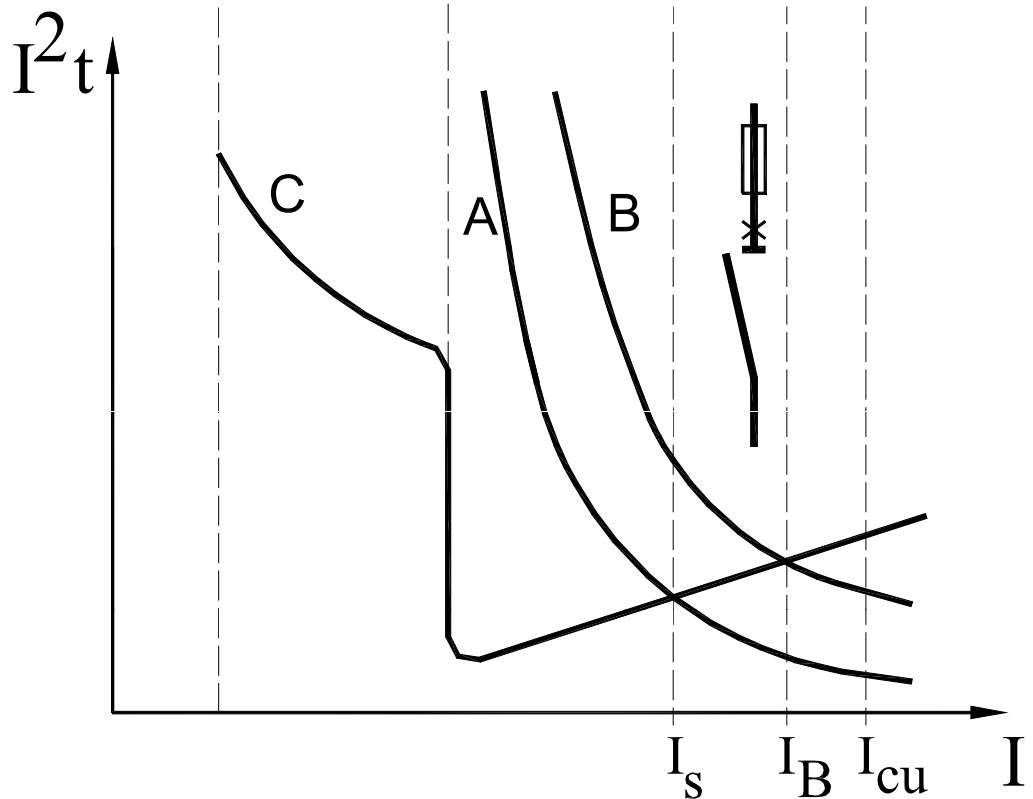
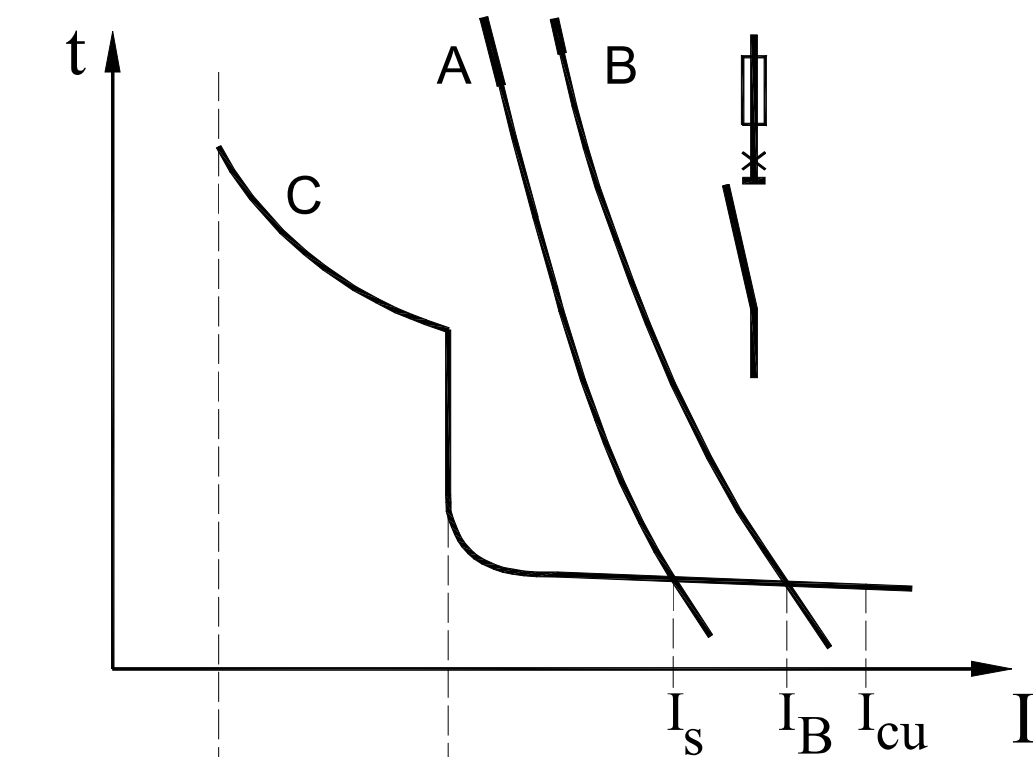
I_s = corriente límite de selectividad

I_B = corriente de intersección

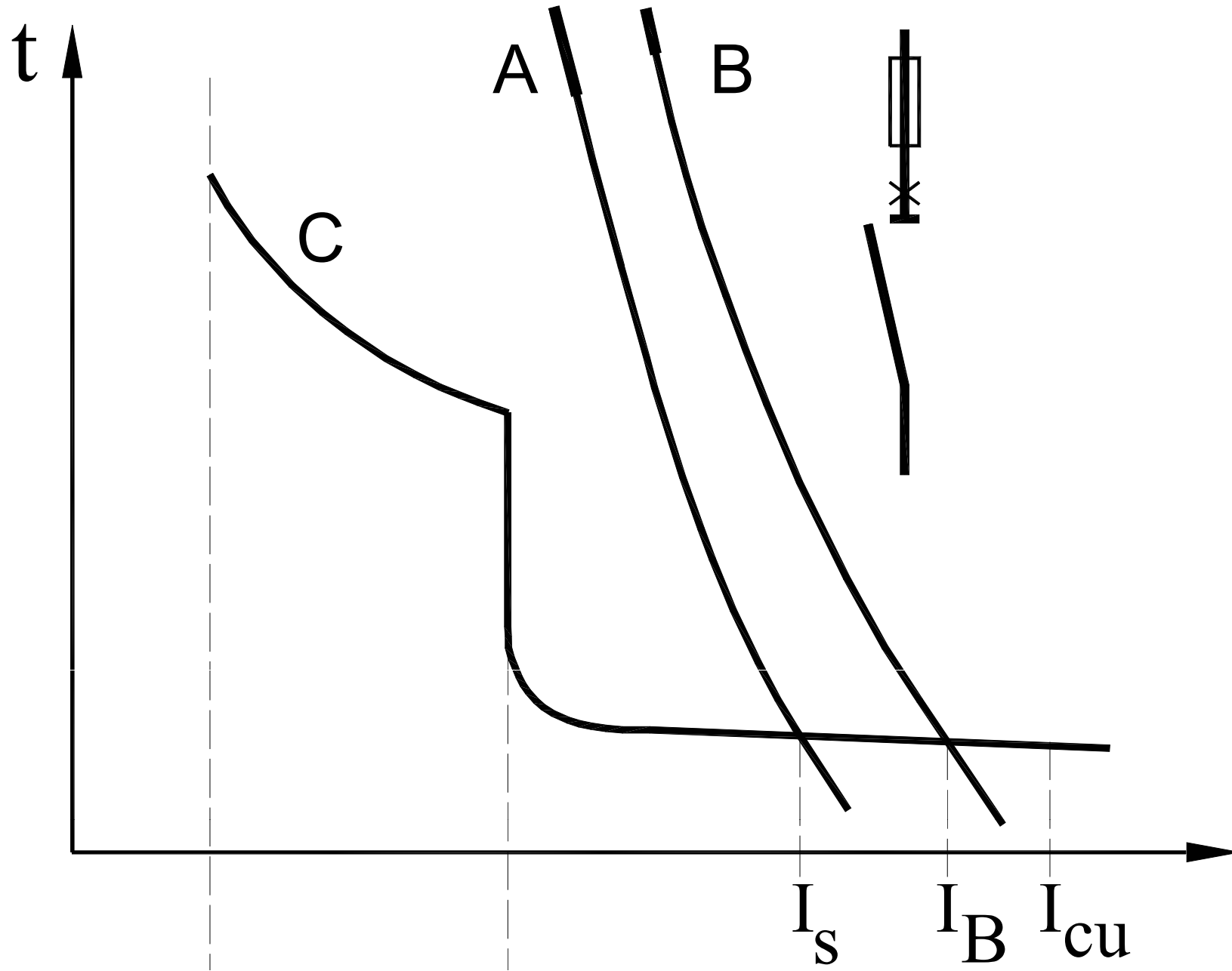
A = prearco del fusible

B = fusión del fusible

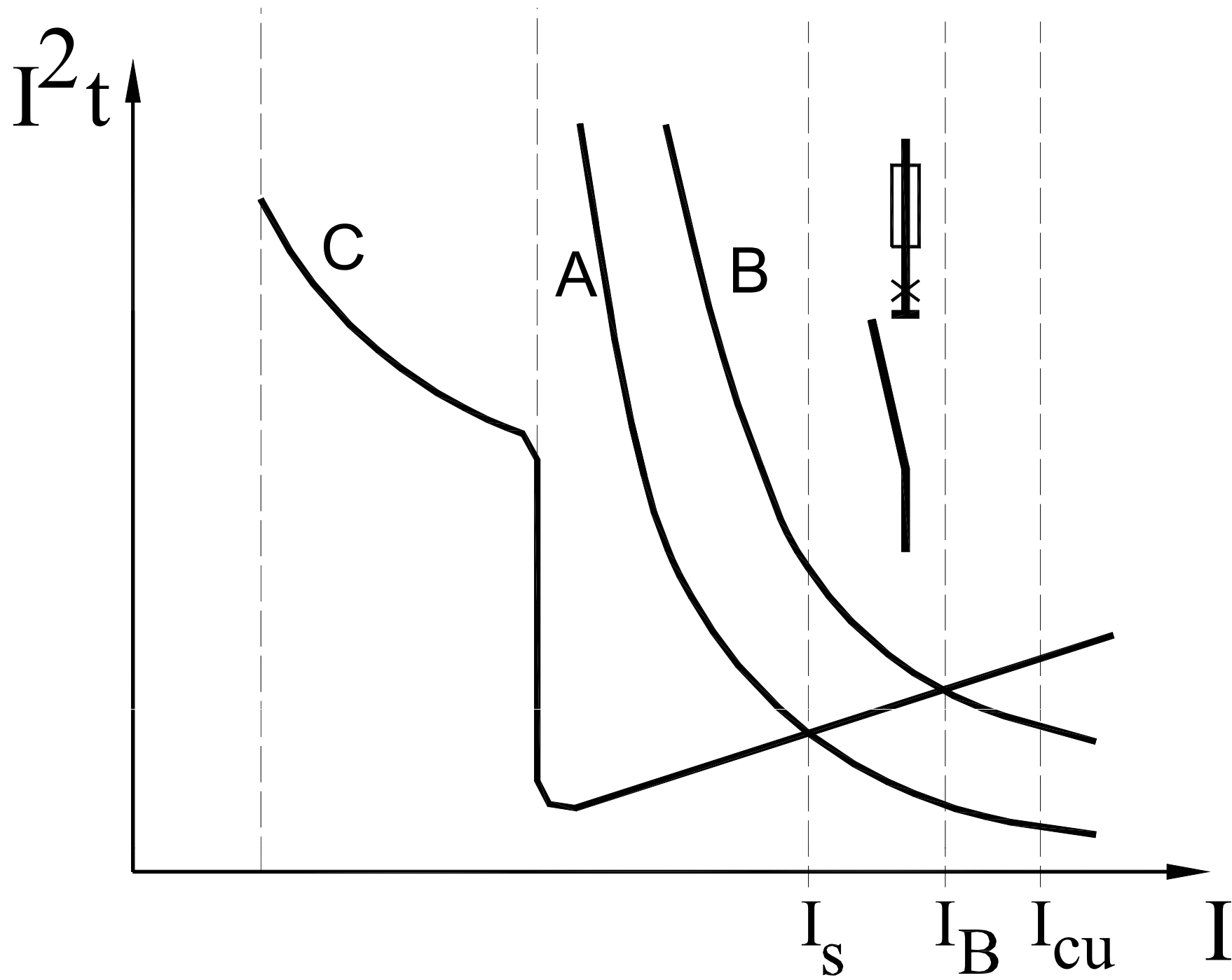
C = IA no limitador



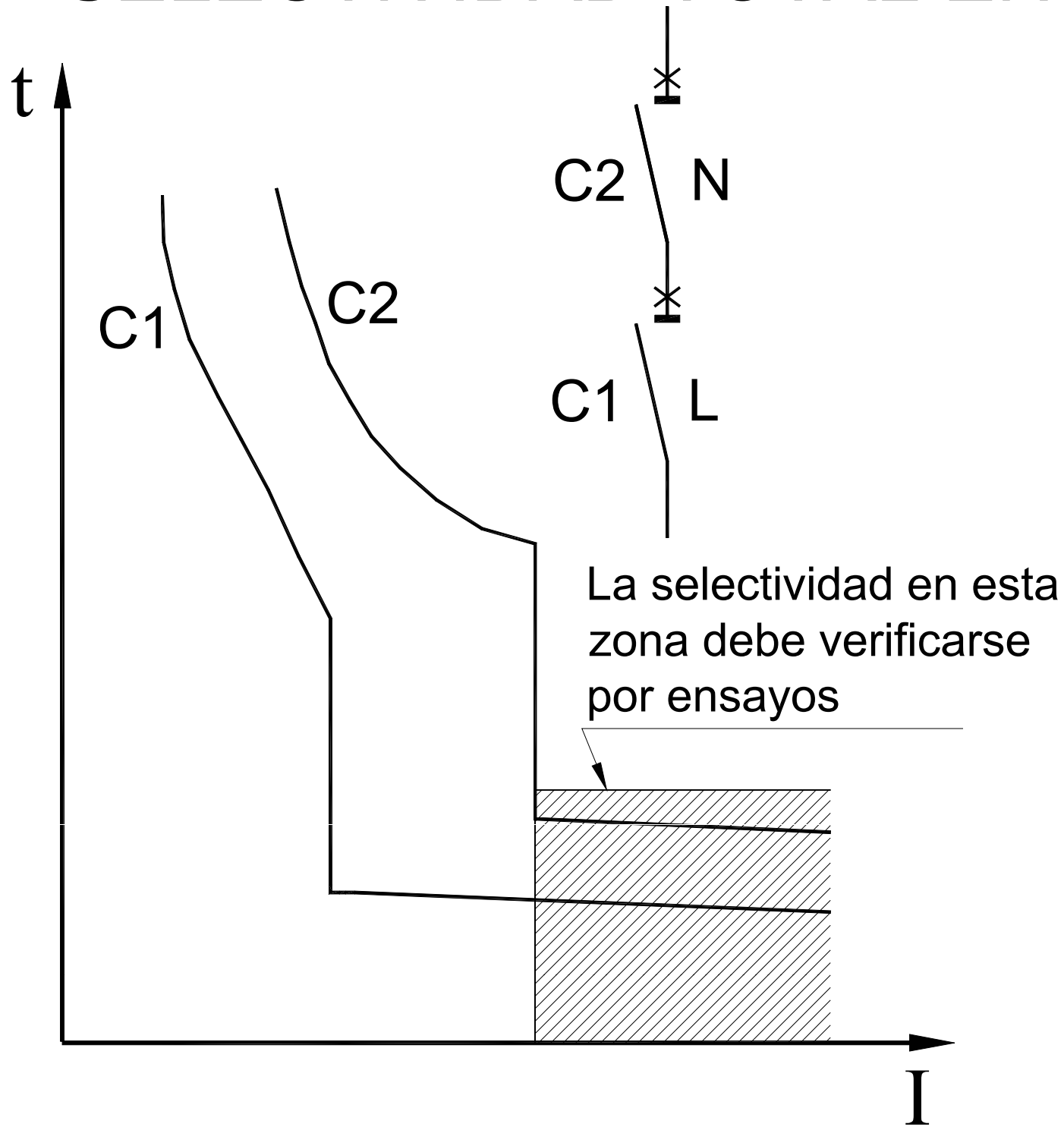
Coordinación entre IA y fusibles



Coordinación entre IA y fusibles



SELECTIVIDAD TOTAL ENTRE DOS **IA**

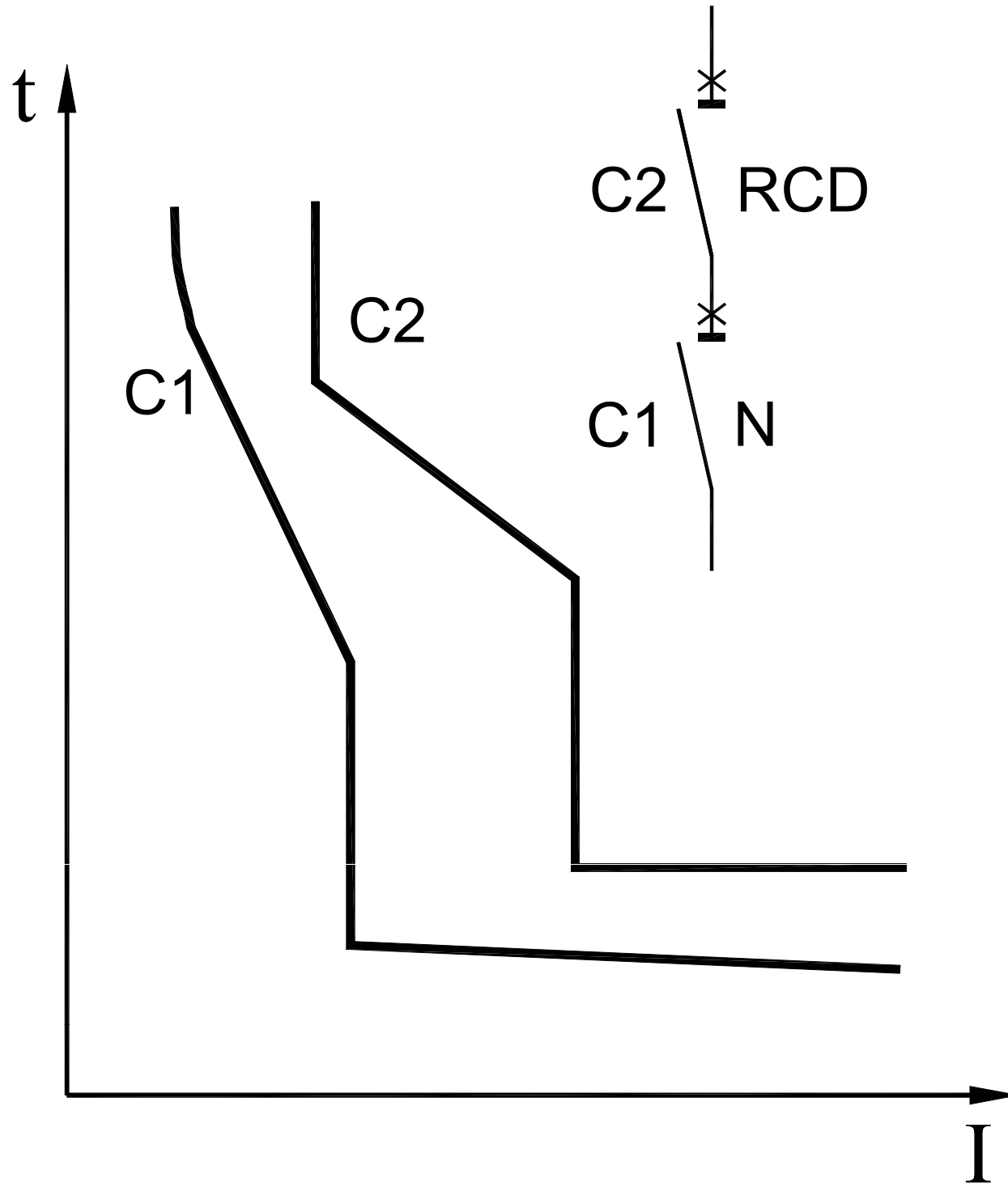


$C1 = \text{IA}$ limitador de corriente (L)
(característica de tiempo de corte)

$C2 = \text{IA}$ no limitador de corriente (N)
(característica de disparo)

Los valores I_{cu} (o I_{cs}) no están indicados

SELECTIVIDAD TOTAL ENTRE DOS **IA**



C1 = **IA** no limitador de corriente (N)
(característica de tiempo de corte)

C2 = **IA con retardo intencional de corta duración** (RCD o STD en inglés)
(característica de disparo)

Los valores I_{cu} (o I_{cs}) no están indicadas

Protección por acompañamiento de IA

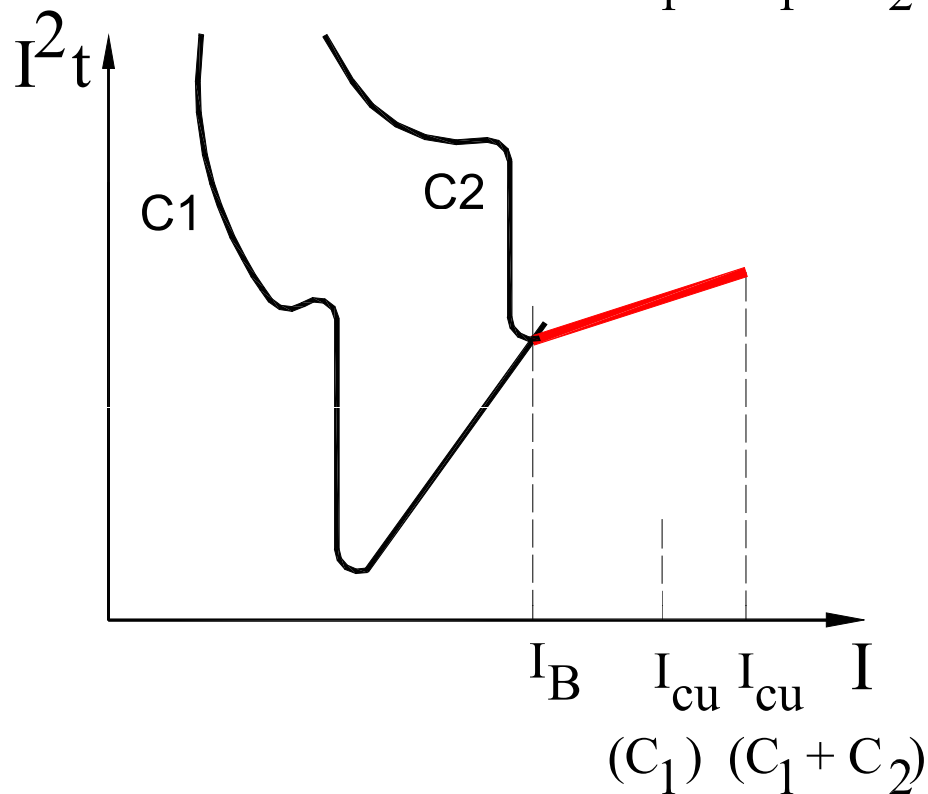
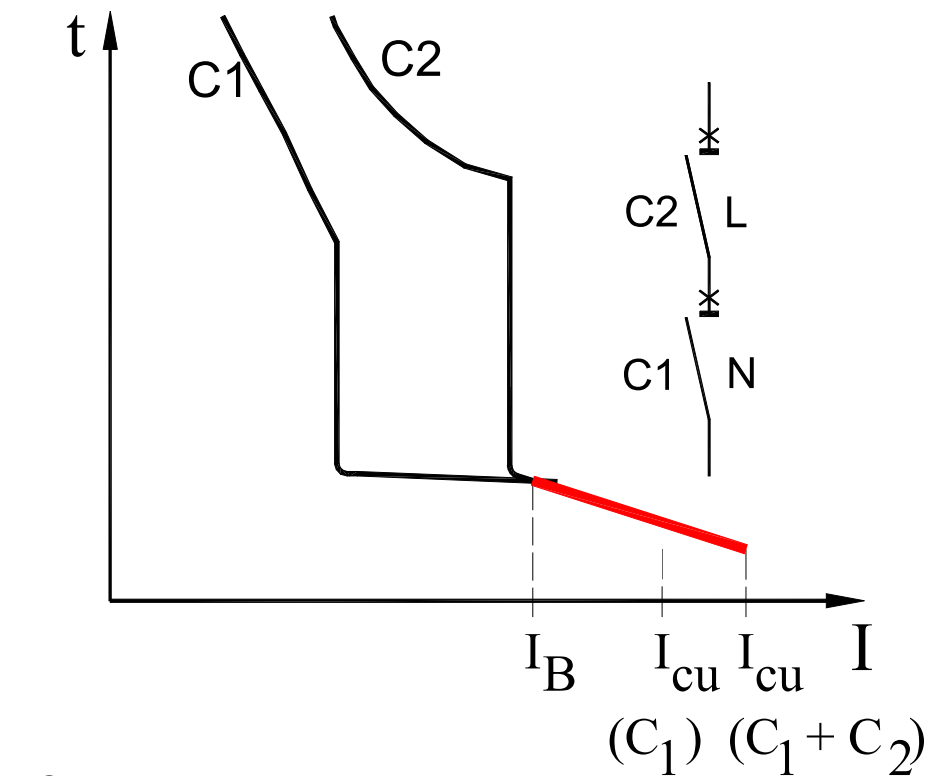
C1 = **IA** no limitador de
corriente (N)

C2 = **IA** limitador de corriente
(L)

I_B = corriente de
intersección

Los valores I_{cu} (o I_{cs}) no están
indicados

Para $I > I_B$ **trazo rojo** (la curva
es de la asociación y los datos
se obtienen por ensayos).



ANÁLISIS DE LOS CONDUCTORES CARGADOS Y LAS ARMÓNICAS Y SUS PROTECCIONES

- ¿Como se considera al neutro?
- ¿Cuántos conductores cargados se deben considerar?
- ¿Cómo juega el neutro en el cálculo de la Sección de los conductores y en la elección de los dispositivos de protección?

Circuito polifásico cuyas I_L son corrientes equilibradas con THD inferior al 15%,

A los efectos del calentamiento y del cálculo de la capacidad de transporte o intensidad de corriente admisible, el N° de conductores aislados a considerar en un circuito, es el de aquellos conductores que transportan efectivamente la corriente de carga.

Cuando se pueda suponer que en un circuito polifásico los conductores transportan corrientes equilibradas con THD (de Total Harmonic Distortion) no superior al 15%, no es necesario tener en cuenta el conductor N correspondiente.

Número de conductores cargados (a considerar para el cálculo)

Cuando al N se lo considera de esa manera las I_L son corrientes equilibradas (con THD inferior al 15%) y un cable tetrapolar o pentapolar puede considerarse que tiene la misma capacidad de transporte de corriente o corriente admisible que un cable tripolar, considerando para ambos la misma S, el mismo material conductor, el mismo material aislante y la misma formación (clase) para cada conductor de fase.

Número de conductores cargados (a considerar para el cálculo)

Las corrientes admisibles de cables 4x y 5x (previstos para conducir corriente en sus 4 conductores activos) pueden ser mayores cuando sólo están cargados 3 conductores.

Protección del neutro en TT o TN-S

Cuando la S del N es como mínimo $= 0 \equiv$ a la de los de línea, no es necesario prever una detección de sobreintensidad ni un dispositivo de desconexión sobre el N.

Protección del neutro en TT o TN-S

Cuando el N tiene una $S <$ que la S de los conductores de línea, es necesario prever una detección de sobreintensidad sobre el N, adecuada a la S de este conductor; esta detección debe provocar la desconexión de los conductores de línea, pero no necesariamente la desconexión del conductor N.

Protección del neutro en TT o TN-S

Sin embargo, se permite no prever detección de sobreintensidad sobre el N, cuando las dos condiciones siguientes se cumplen simultáneamente:

- a) El N está protegido contra las I_{cc} por el DP de los conductores de Línea del circuito.
- b) La intensidad máxima susceptible de recorrer el N es, en servicio normal, clara y sensiblemente inferior al valor de la intensidad admisible en este conductor.

Protección del neutro en TT o TN-S

La cláusula b) se cumple si la potencia transportada se reparte lo más uniformemente posible entre las diferentes fases, por ejemplo, si la suma de las potencias absorbidas por las cargas alimentadas entre cada fase y el neutro (tales como iluminación y tomas de corriente) es muy inferior a la potencia total transportada por el circuito trifásico afectado.

Desconexión y conexión del conductor neutro

Cuando se requiera la desconexión del conductor neutro, la desconexión y la conexión de este conductor deben ser tales que:

a) el conductor neutro no sea interrumpido antes que los conductores de línea o fase, y

b) que la conexión se efectúe al mismo tiempo o antes que los conductores de línea o fase.

¿Cuántos conductores cargados se deben considerar?

Circuitos monofásicos o bifásicos

En circuitos monofásicos o bifásicos se considera a los 2 conductores cargados

Circuitos trifásicos con neutro, equilibrados o con muy pequeño desequilibrio

En circuitos *trifásicos c/N, equilibrados o con muy pequeño desequilibrio*, se consideran 3 conductores cargados (los de línea) ya que si la I_N no supera el 10-15% de la corriente de línea, *el desequilibrio se desprecia*.

En estos casos los valores de corrientes admisibles dados para 3 conductores cargados son válidos también para un cable tetrapolar.

Circuitos trifásicos con neutro, con alto desequilibrio

Si en un sistema *trifásicos con N* (con *alto desequilibrio*), un cable *tetrapolar* ($4x$ o $3x + N$) transporta una gran corriente de N como consecuencia del *desequilibrio* en las corrientes de *línea*,...

Circuitos trifásicos con neutro, con alto desequilibrio

...el aumento de T° debido a la I_N es compensado por la $<$ producción de calor generada por uno o más de los conductores de línea.

La S debe elegirse en función del conductor de línea más cargado, pero el N debe tener en todos los casos adecuada S .

Circuitos trifásicos con neutro, con corrientes armónicas

Cuando el **N** transporta corriente sin la correspondiente reducción de la corriente de los conductores de línea, la **I_N** debe ser tomada en cuenta en la determinación de la corriente admisible del circuito y en el número de conductores cargados.

Circuitos trifásicos con neutro, con corrientes armónicas

Esta I_N es debida a que las I_L (corrientes de línea) tienen un contenido armónico que no se anula en el N .

Normalmente la *armónica* más importante que *no se cancela en el neutro* es la 3^a . A ella hay que *agregar las armónicas impares múltiplos de la 3^a que también se suman en el neutro.*

Circuitos trifásicos con neutro, con corrientes armónicas

La magnitud de la I_N debida a la *3^a armónica* puede exceder la magnitud de la I_L de frecuencia de red o industrial.

Por esta razón la I_N tendrá un efecto significativo en la corriente admisible de los conductores del circuito.

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

En la tabla siguiente se indican los *factores de corrección* a considerar en los circuitos según su *contenido armónico*.

Esos *factores (calculados para la 3ª armónica)* sólo se aplican a circuitos equilibrados en los que la I_N es debida a la 3ª armónica y a cables con 4 o 5 conductores donde el conductor N sea del mismo material y de la misma S que los conductores de línea.

Tabla con factores de reducción o corrección por armónicas

Contenido de tercera armónica en la corriente de línea (%)	Factor de reducción o corrección	
	Selección basada en la corriente de línea	Selección basada en la corriente de neutro
$(\%) \leq 15$	1,00	
$15 < (\%) \leq 33$	0,86	
$33 < (\%) \leq 45$	-	0,86
$(\%) > 45$	-	1,00

CONTENIDO ARMÓNICO

Contenido de tercera armónica en la corriente de línea (%)	Factor de reducción o corrección			
	Selección basada en la corriente de línea	Corriente I'_b a tener en cuenta para la selección del cable	Selección basada en la corriente de neutro	Corriente I'_b a tener en cuenta para la selección del cable
$(\%) \leq 15$	1,00	$I'_b = \frac{I_b}{f}$	-	-
$15 < (\%) \leq 33$	0,86	$I'_b = \frac{I_b}{f \times 0,86}$	-	-
$33 < (\%) \leq 45$	-		0,86	$I'_b = \frac{I_N}{0,86}$
$(\%) > 45$	-		1,00	$I'_b = I_N$

CONTENIDO ARMÓNICO

Donde I_N es la corriente en el neutro calculada como

$$I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$$

I_b = Corriente de proyecto

f = Factor de corrección total

td_3 = Contenido de tercera armónica en la corriente de línea

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Si fueran esperadas distorsiones mayores al 10% por corrientes armónicas superiores (9^a y otras), son aplicables también las reducciones consideradas.

Para sistemas desequilibrados, cuando exista un desequilibrio de línea de más del 50% también son aplicables las reducciones.

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cuando sea esperable que la I_N supere la I_L , entonces la S del cable debe ser seleccionada sobre la base de la I_N .

Cuando se elija un cable basado en la I_N y esta corriente no sea significativamente mayor que la I_L será necesario reducir (corregir) las intensidades de corriente admisibles para los 3 conductores cargados.

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Si por el contrario se espera que la I_N sea superior al **135%** de la I_L y el cable fue seleccionado de acuerdo con la I_N , entonces no es necesario aplicar reducción (corrección) alguna a las I_L admisibles ya que éstas estarán más frías y contribuirán a la disipación del calor.

Después del cálculo realizado, las S de los conductores de línea y neutro siempre deben ser iguales.

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cuando la tasa de armónicas de orden 3 y múltiplos de 3 en los conductores de línea supera el 15 %, se deben considerar los 4 conductores cargados con un factor de corrección del 86%.

El factor f_5 es 0,86

Circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

En circuitos polifásicos con conductores de línea de $S > 16 \text{ mm}^2$ Cu o 25 mm^2 Al el Neutro puede tener una S inferior a los de Línea pero no menor a la mitad si la tasa de armónicas de corriente de rango 3 y múltiplo de 3 no sobrepasa del 15% de la corriente del conductor de Línea.

CONTENIDO ARMÓNICO

	Circuitos mono- fásicos	Circuitos trifásicos+N Cables Multipolares $S_f \leq 16\text{mm}^2 \text{ Cu}$ o $25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$	Circuitos trifásicos+N Cables Multipolares $S_f > 16\text{mm}^2 \text{ Cu}$ o $25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$	Circuitos trifásicos+N Cables Unipolares $S_f > 16\text{mm}^2 \text{ Cu}$ o $25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$
$(\%) \leq 15$	$S_N = S_f$	$S_N = S_f$	$S_N = S_f / 2$ Neutro protegido	$S_N = S_f / 2$ N protegido
$15 < (\%) \leq 33$	$S_N = S_f$	$S_N = S_f$ Factor 0,86	$S_N = S_f$ Factor 0,86	$S_N = S_f$ Factor 0,86
$33 < (\%) \leq 45$	$S_N = S_f$	$S_N = S_f$ y se determina por S_N Factor 0,86 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$	$S_N = S_f$ y se determina por S_N Factor 0,86 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$	$S_N > S_f$ Factor 0,86 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$
$(\%) > 45$	$S_N = S_f$	$S_N = S_f$ y se determina por S_N Factor 1 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$	$S_N = S_f$ y se determina por S_N Factor 1 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$	$S_N > S_f$ Factor 1 $I_N = \frac{I_b}{f} \times 3 \times td_3$

DISTORSIÓN ARMÓNICA

La tasa de distorsión armónica se define de dos maneras distintas:

a) Según el VEI 161-02-23, la THD (de Total Harmonic Distortion) “es la relación entre el valor eficaz del contenido armónico (sin incluir la fundamen-tal) y el valor eficaz de la magnitud alterna (incluyen-do la fundamental”; su expresión matemática es:

$$THD(h) = 100 \frac{\sqrt{h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + h_6^2 + \dots h_n^2}}{h_{ef}} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n h_n^2}}{h_{ef}}$$

$$h_{ef} = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + \dots h_n^2}$$

DISTORSIÓN ARMÓNICA

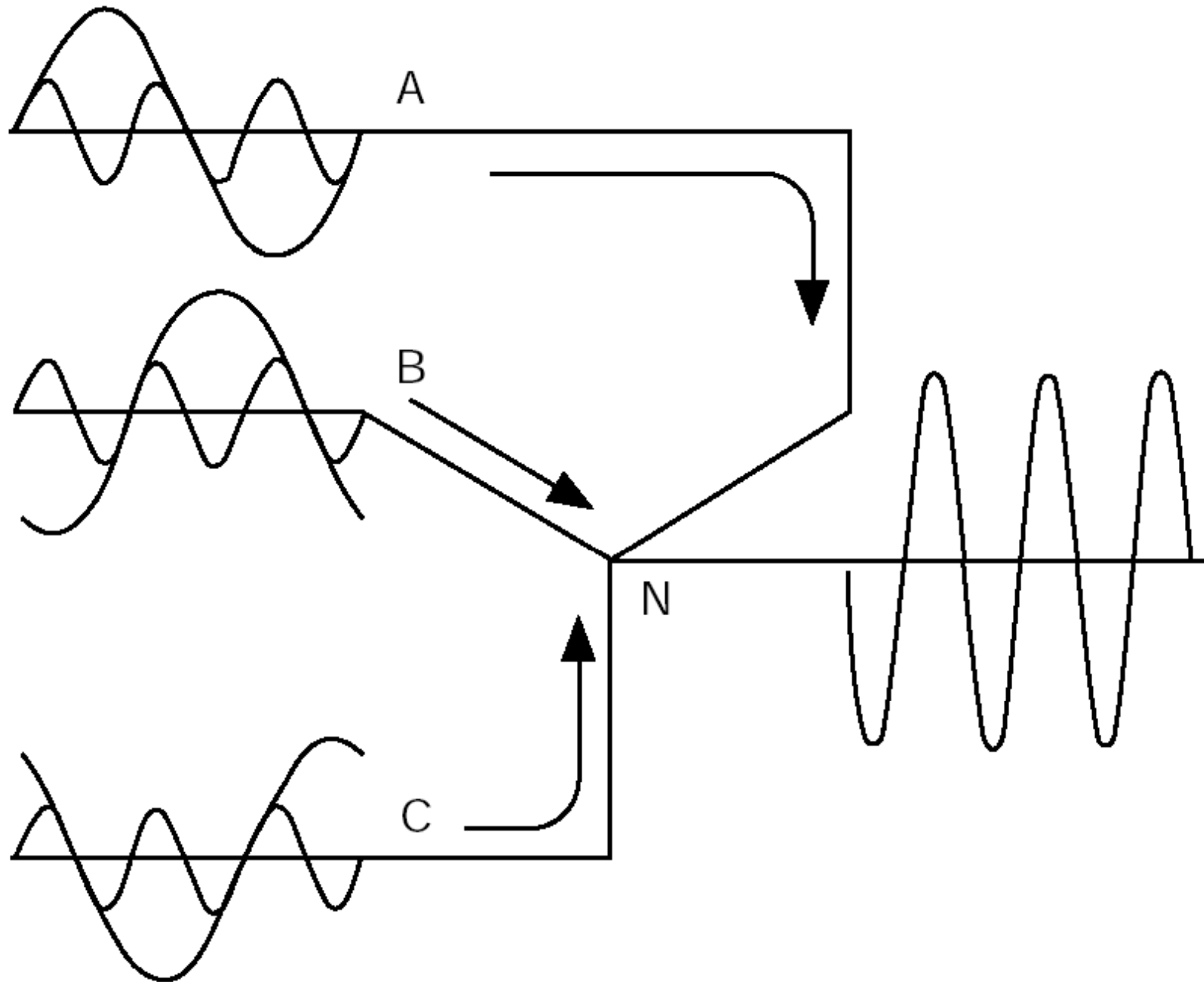
b) Según el CIGRE la D “es la relación entre el valor eficaz del contenido armónico (sin incluir la fundamental) y el valor eficaz de la fundamental”

$$D(h) = 100 \frac{\sqrt{h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + h_6^2 + \dots + h_n^2}}{h_1} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n h_n^2}}{h_1}$$

Cuando la distorsión es baja (caso frecuente en la tensión), no hay prácticamente diferencia entre ambas definiciones. La relación entre ambas es la siguiente:

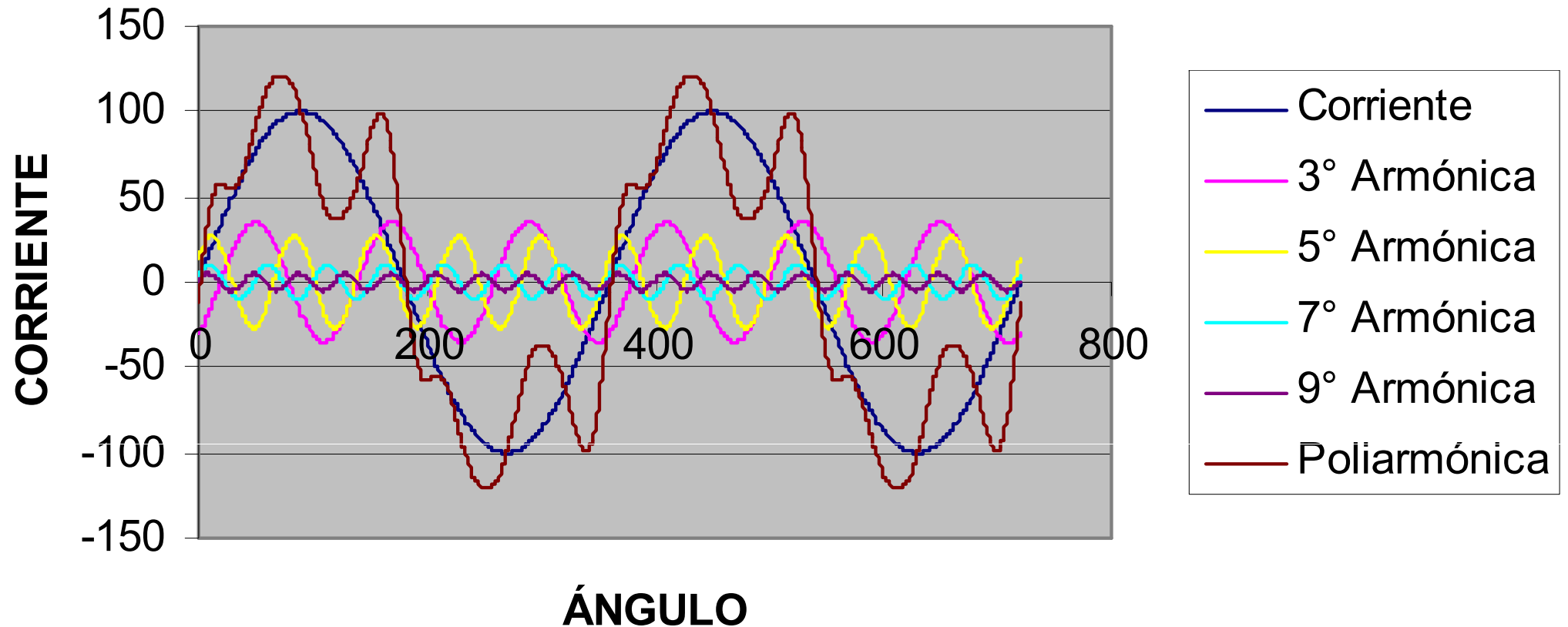
$$D^2 = \frac{THD^2}{1 - THD^2} \quad o \quad THD^2 = \frac{D^2}{1 + D^2}$$

CORRIENTES DE 3ª ARMÓNICA: SE SUMAN EN EL NEUTRO



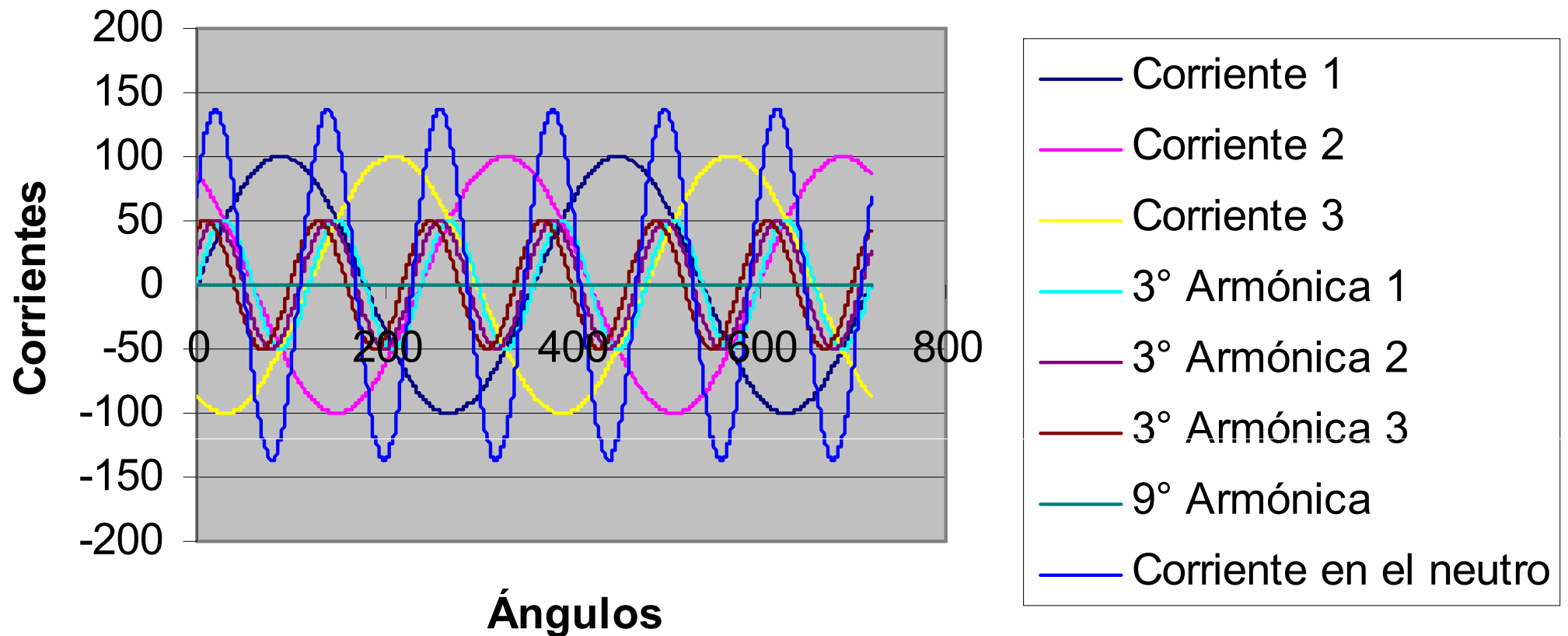
POLIARMÓNICA

CORRIENTES ARMÓNICAS



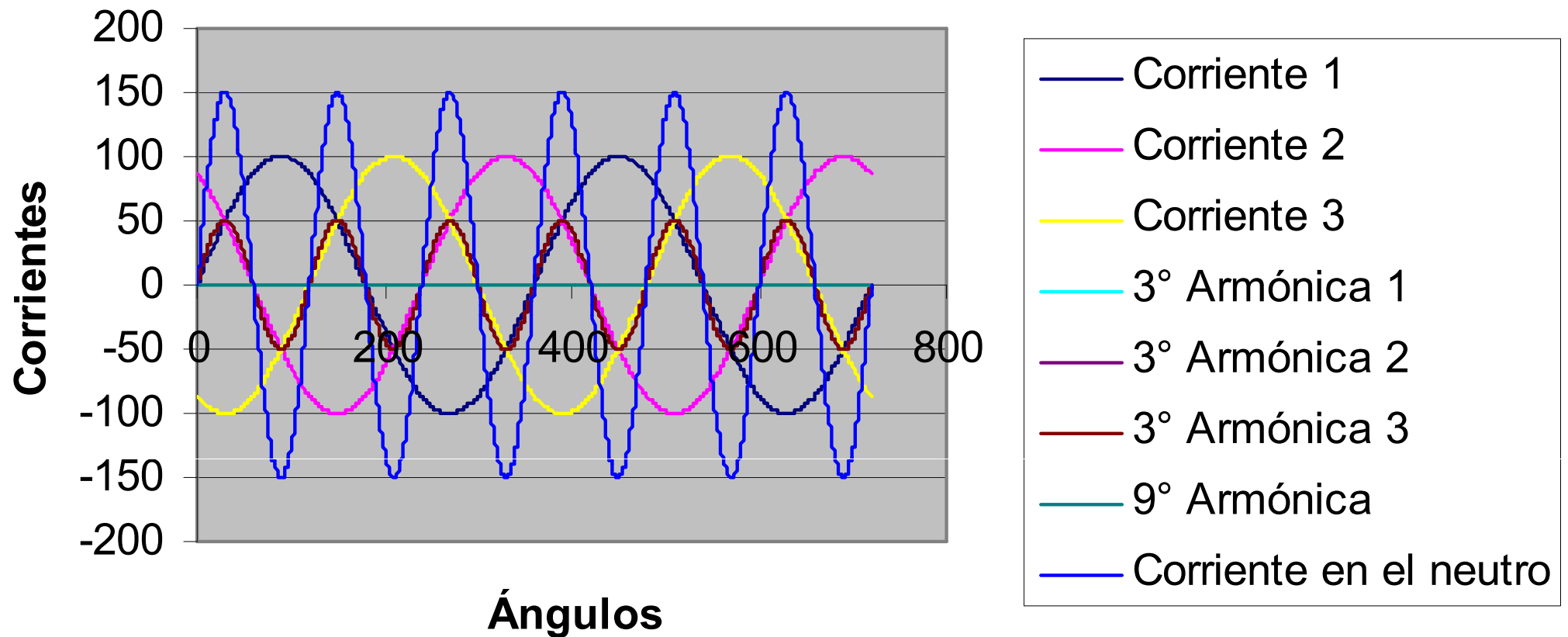
POLIARMÓNICA

Tercera Armónica en el neutro

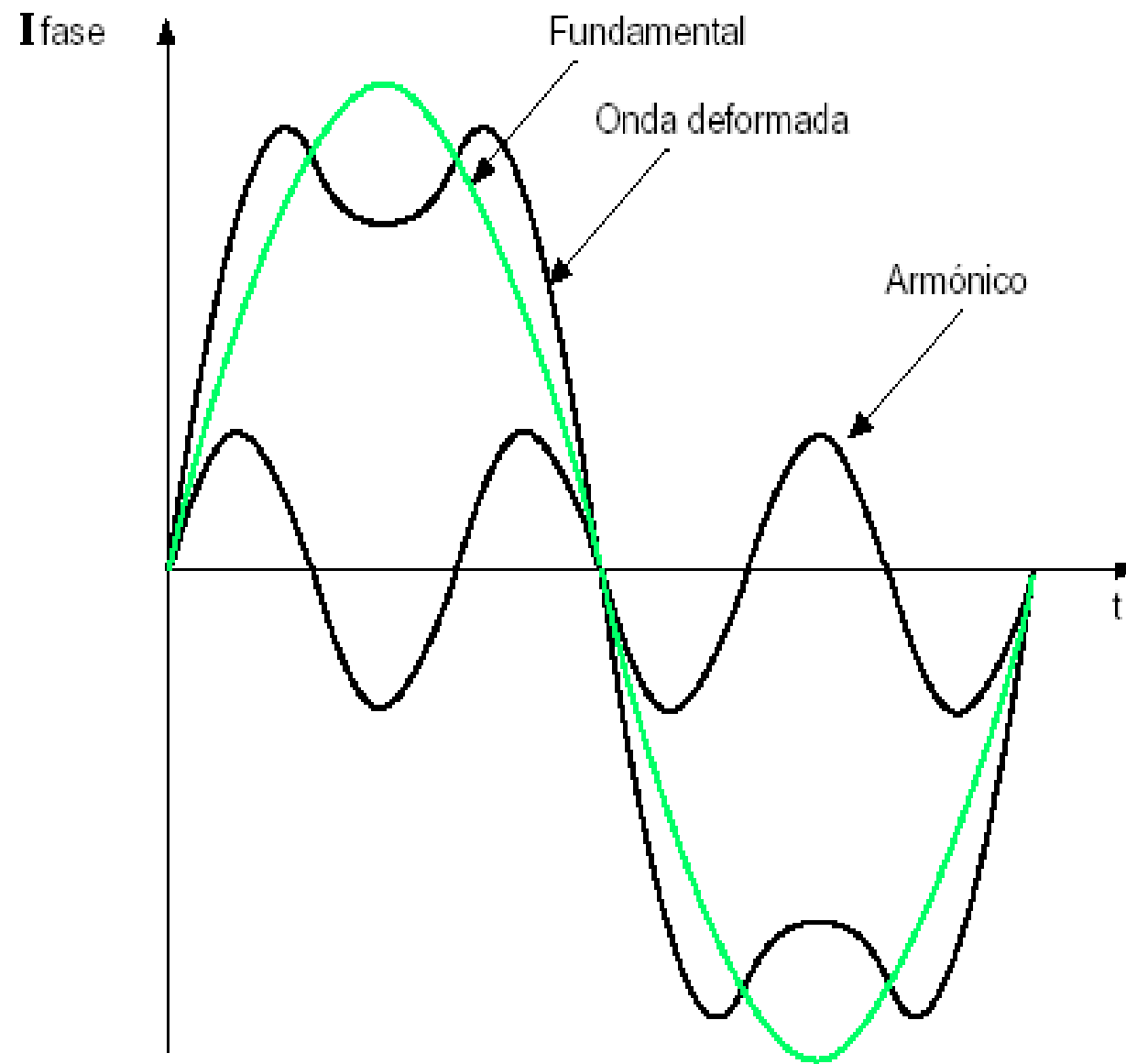


POLIARMÓNICA

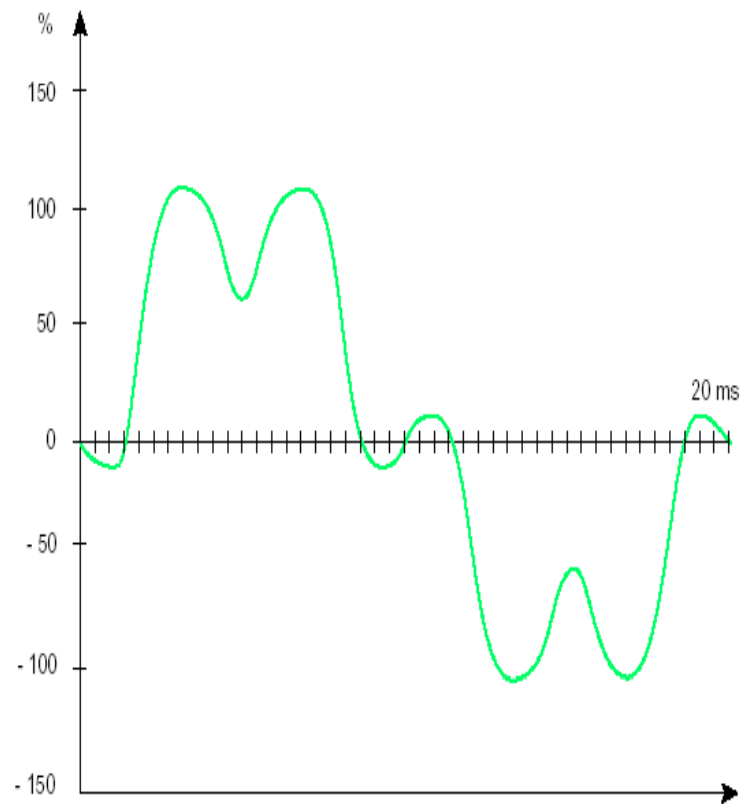
Tercera Armónica en el neutro



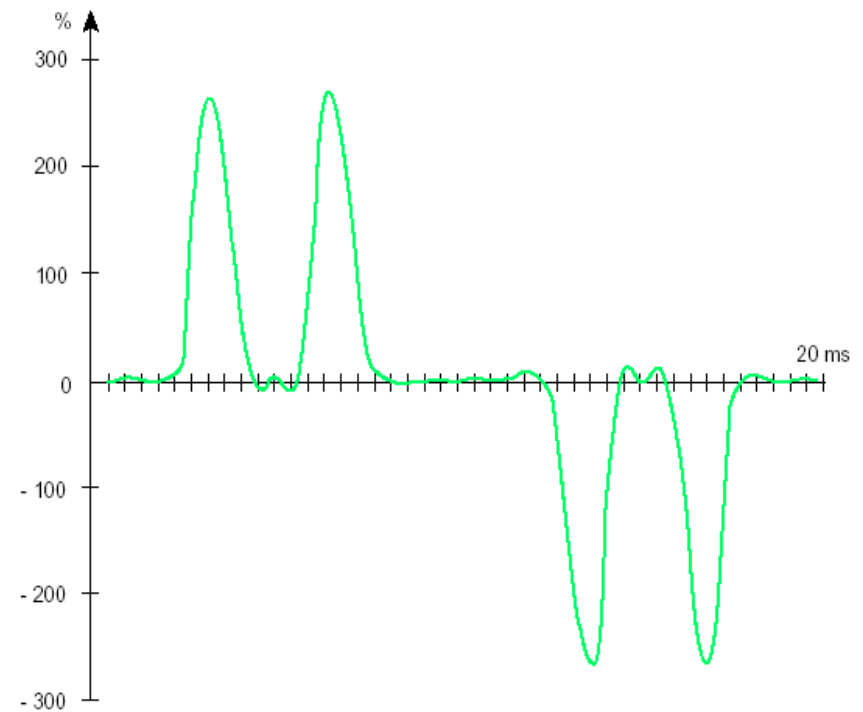
ARMÓNICAS



ARMÓNICAS



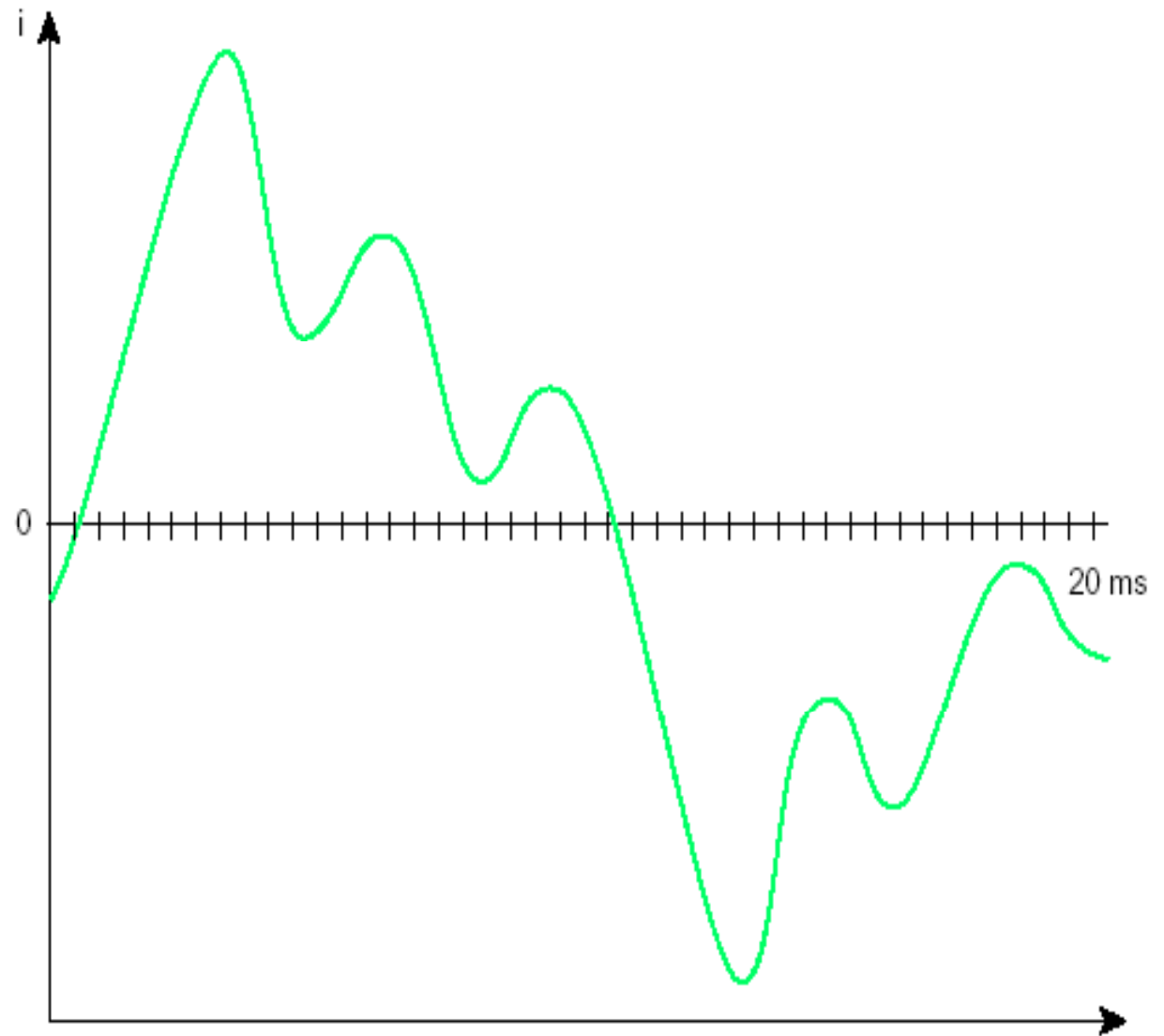
Ejemplo 1: rectificador.



Ejemplo 2: variador de velocidad de frecuencia variable.

ARMÓNICAS

- ALUMBRADO FLUORESCENTE NORMAL
- h_1 (50 Hz)=100%
- h_3 (150 Hz)= 35%
- h_5 (250 Hz)= 27%
- h_7 (350 Hz)=16,1%
- h_9 (450 Hz)=2,2%
- h_{11} (550 Hz)=3,4%
- h_{13} (650 Hz)=1,1%
- $D=42,6\%$



Iluminación fluorescente.

Ejemplo de corrección por armónicas

Ejemplo: circuito trifásico equilibrado con neutro que alimenta a un tablero desde el cual se alimentan 3 cargas monofásicas iguales, c/u de 8 KW, $\cos \varphi$ 0,85 y un contenido de 3ª armónica del 20%. En estas condiciones la intensidad de corriente en cada conductor de línea del circuito trifásico de alimentación es:

$$I_f = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} = \frac{24000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} = 42,95 A$$

De la tabla, para 20% de 3ª armónica se obtiene que la S se debe hacer en función de la corriente de línea y no de la de N y teniendo en cuenta un factor de aumento de la corriente de 1/0,86. En consecuencia por resultar $I_{L3} = 49,94 A$ la sección debe ser elegida en función de este nuevo valor tanto para los conductores de línea como para el neutro (10 mm²)

$$I_{f3} = \frac{42,95 A}{0,86} = 49,94 A$$

Ejemplo de corrección por armónicas

Otro ejemplo: el mismo circuito trifásico equilibrado con neutro y un contenido de 3ª armónica del 40%. De la tabla, para 40% de 3ª armónica se obtiene que la S se debe hacer en función de la corriente de neutro y no de la de línea y teniendo en cuenta un factor de aumento de la corriente de 1/0,86.

En estas condiciones la intensidad de corriente en el neutro es:

$$I_n = 42,95 A \times 0,4 \times 3 = 51,54 A$$

Aplicando el factor 0,86 de aumento de la corriente, se calcula la corriente en el neutro:

$$I_{n_3} = \frac{51,54 A}{0,86} = 59,93 A$$

En consecuencia por resultar $I_n = 59,93 A$ la sección debe ser elegida en función de este nuevo valor tanto para los conductores de línea como para el neutro (16 mm²)

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Datos

$I_b = 110 \text{ A}$

Modo de instalación: bandeja escalera

Cable: tetrapolar, 3x +N, 1,1 kV, 2178, Cu,
aislado con PVC y con cubierta

Cables adyacentes: ninguno

Temperatura ambiente: 40°C

Tasa de armónicas: Variable en cada
ejemplo

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cálculo 1

Método de instalación:

De tabla B-52-10 se busca el N° de referencia a emplear.

En este caso Referencia 31 que nos indica el método E

Corrección por temperatura: $f_1=1$

Corrección por cables adyacentes: $f_2=1$

Corriente corregida de proyecto a considerar

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \times f_2} = 110 A$$

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cálculo 1

Método de instalación:

De la tabla B52-10 método E (tercera columna)

35 mm² 110 A

Cálculo 2

Si existe una *tasa de armónicas del 28%* estamos obligados a que la $S_N = S_f$ y que la corriente a considerar sea

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \times f_2 \times 0,86} = 133,7 \text{ A}$$

De la tabla obtenemos para el cable de **3x50/25 mm² 133 A**, se podría emplear con la tolerancia, pero no se puede por la Sección del N. Se requiere un **4x50 mm²**.

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cálculo 3

Si ahora existe una *tasa de armónicas del 40%* estamos obligados a que la $S_N = S_f$ y a calcular la I_N y luego a aplicar un factor de *0,86*.

La I_N vale

$$I_N = \frac{I_b}{f_1 \times f_2} \times 3 \times 0,4 = 110 \times 3 \times 0,4 = 132 A$$

a partir de la I_N calculamos I'_b

$$I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{132}{0,86} = 153 A$$

De la tabla obtenemos que debemos emplear un cable de *4x70 mm²* que admite *171 A*

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cálculo 4

Si ahora existe una *tasa de armónicas del 60%* estamos obligados a que la $S_N = S_f$ y a calcular la I_N y luego a aplicar un factor de 1 .

La I_N vale

$$I_N = \frac{I_b}{f_1 \times f_2} \times 3 \times 0,6 = 110 \times 3 \times 0,6 = 198 A$$

a partir de la I_N calculamos I'_b

$$I'_b = \frac{I_N}{1} = \frac{198}{1} = 198 A$$

De la tabla obtenemos que debemos emplear un cable de **4x95 mm²** que admite **207 A**

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

Cálculo 5

Datos

Corriente de empleo $I_b = 136 \text{ A}$

Modo de instalación: bandeja perforada

Cable: tetrapolar, 3x +N, 1,1 kV, 2178, Cu, aislado con XLPE y con cubierta

Cantidad de circuitos: 7

Factor de corrección f_2 por más de un circuito: 0,73

Temperatura ambiente: 40°C

Tasa de armónicas: 45%

Estamos obligados a que la $S_N = S_f$ y a calcular la I_N y luego a aplicar un factor de 0,86.

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

$$I_N = I_b \times 3 \times 0,45 = 136 \times 3 \times 0,45 = 184 \text{ A}$$

$$I'_N = \frac{I_b}{f_1 \times f_2} \times 3 \times 0,45 = \frac{136}{f_1 \times 0,73} \times 3 \times 0,45$$

$$I'_N = \frac{136}{1 \times 0,73} \times 3 \times 0,45 = \frac{136}{0,73} \times 3 \times 0,45 = 252 \text{ A}$$

a partir de la I'_N calculamos I'_{bN}

$$I'_{bN} = \frac{I'_N}{0,86} = \frac{252}{0,86} = 293 \text{ A}$$

De la tabla B52-12 obtenemos que debemos emplear
un cable de **4x120 mm²** que admite **315 A**

Ejemplos de circuitos trifásicos c/ neutro, con corrientes armónicas

¿Qué interruptor elegimos?

La $I_n \geq I_N$ o sea $I_n \geq 184 \text{ A}$

¿Qué regulación adoptamos para los relés de protección contra sobrecargas de las fases?

$$I_{r \text{ mínima}} = I_{bfase} = 136 \text{ A}$$

$$I_{r \text{ máxima}} = I_z \times f_2 \times f_3 = 315 \times 0,73 \times 0,86 = 198 \text{ A}$$

Interruptor 4x250 A

$$I_r = 190 \text{ A}$$