



Seminario: Instalaciones Eléctricas de BT

27 y 28 de junio



Ponentes



César Barrena Sánchez

Account Manager

Consultoría e Ingeniería Eléctrica

cesar.barrena@se.com

[linkedin.com/in/cesarbarrena](https://www.linkedin.com/in/cesarbarrena)



Escuela de Ingenieros (Universidad de Sevilla)



Schneider Electric

Ponentes



Edmundo Benitez Rodriguez

Regional End User Account Manager en Schneider Electric

Sevilla, Andalucía, España

edmundo.benitez@se.com

[linkedin.com/in/edmundo-benitez-rodriguez](https://www.linkedin.com/in/edmundo-benitez-rodriguez)



Schneider Electric



Universidad de Alcalá

Schneider
 Electric

Índice

- Instalaciones eléctricas
 - Conceptos generales, normativa y reglas de diseño
- Distribución eléctrica en Baja Tensión
 - Esquemas de conexión a tierra
- Selección de los conductores
 - Caída de tensión y corriente de cortocircuito
- Tipos de aparamenta
 - Criterios de selección
- Conceptos de selectividad, filiación y limitación
- Arranque motor y variación de velocidad
- Calidad de la energía
 - Armónicos y compensación de reactiva
- CASO PRÁCTICO:
 - Cálculo de cables y selección de protecciones del circuito de un equipo frigorífico



Instalaciones eléctricas

Disposiciones legales

Baja Tensión:

- Reglamento electrotécnico para baja tensión (Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto)
- Instrucciones Técnicas Complementarias



Normas IEC

IEC 60038	Tensiones normales
IEC 60076-2	Transformadores de potencia. Parte 2: Calentamiento
IEC 60076-3	Transformadores de potencia. Parte 3: Niveles de aislamiento, ensayos dieléctricos y distancias de aislamiento en el aire
IEC 60075-5	Transformadores de potencia. Parte 5: Aptitud para soportar cortocircuitos
IEC 60075-10	Transformadores de potencia. Parte 10: Determinación de los niveles de ruido
IEC 60146	Convertidores a semiconductores. Especificaciones comunes y convertidores conmutados por red
IEC 60255	Relés eléctricos
IEC 60265-1	Interruptores de alta tensión. Parte 1: Interruptores para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores a 52 kV
IEC 60269-1	Fusibles de baja tensión. Parte 1: Reglas generales
IEC 60269-2	Fusibles de baja tensión. Parte 2: Reglas suplementarias para los fusibles destinados a ser utilizados por personas autorizadas (fusibles para usos principalmente industriales)
IEC 60282-1	Fusibles de alta tensión. Parte 1: Fusibles limitadores de corriente
IEC 60287-1-1	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1: Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas. Sección 1: Generalidades
IEC 60364	Instalaciones eléctricas en edificios
IEC 60364-1	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 1: Definiciones, campo de aplicación y principios fundamentales
IEC 60364-4-41	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 41: Protección contra los choques eléctricos
IEC 60364-4-42	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 42: Protección contra los efectos térmicos
IEC 60364-4-43	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 43: Protección contra las sobrecargas
IEC 60364-4-44	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 44: Protección contra las sobretensiones
IEC 60364-5-51	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de materiales eléctricos. Capítulo 51: Reglas comunes
IEC 60364-5-52	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de materiales eléctricos. Capítulo 52: Canalizaciones
IEC 60364-5-53	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de materiales eléctricos. Capítulo 53: Apararmentas
IEC 60364-5-54	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de los materiales eléctricos. Capítulo 54: Puesta a tierra y conductores de protección
IEC 60364-5-55	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de materiales eléctricos. Capítulo 55: Otros materiales
IEC 60364-6-61	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 6: Verificación. Capítulo 61: Verificación inicial
IEC 60364-7-701	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 701: Locales que contienen una bañera o ducha
IEC 60364-7-702	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 702: Piscinas y otros depósitos
IEC 60364-7-703	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 703: Locales que contienen radiadores para saunas
IEC 60364-7-704	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 704: Instalaciones en obras
IEC 60364-7-705	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 705: Instalaciones eléctricas en los establecimientos agrícolas y hortícolas
IEC 60364-7-706	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 706: Recintos conductores de dimensiones reducidas
IEC 60364-7-707	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 707: Puesta a tierra de las instalaciones con equipos de proceso de datos
IEC 60364-7-708	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 708: Instalaciones eléctricas en parques de caravanas y en caravanas
IEC 60364-7-709	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 709: Puertos deportivos y embarcaciones de recreo
IEC 60364-7-710	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 710: Locales de uso médico
IEC 60364-7-711	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 711: Exposiciones, espectáculos y stands
IEC 60364-7-712	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 712: Sistemas de alimentación de energía solar fotovoltaica
IEC 60364-7-713	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 713: Muebles
IEC 60364-7-714	Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 714: Instalaciones de alumbrado exterior

Normas IEC

- IEC 60364-7-715** Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 715: Instalaciones de alumbrado a muy baja tensión
- IEC 60364-7-717** Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 717: Unidades móviles o transportables
- IEC 60364-7-740** Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7: Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sección 740: Instalaciones eléctricas temporales para estructuras, atracciones y casetas de ferias, parque de atracciones y circos
- IEC 60427** Ensayos sintéticos de interruptores automáticos para corriente alterna de alta tensión
- IEC 60439-1** Conjuntos de apartamento de baja tensión. Parte 1: Conjuntos de serie y conjuntos derivados de serie
- IEC 60439-2** Conjuntos de apartamento de baja tensión. Parte 2: Requisitos particulares para las canalizaciones prefabricadas
- IEC 60439-3** Conjuntos de apartamento de baja tensión. Parte 3: Requisitos particulares para los conjuntos de apartamento de baja tensión destinados a estar instalados en lugares accesibles al personal no cualificado durante su utilización. Cuadros de distribución
- IEC 60439-4** Conjuntos de apartamento de baja tensión. Parte 4: Requisitos particulares para conjuntos para obras (CO)
- IEC 60446** Principios fundamentales y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, el marcado y la identificación. Identificación de conductores por colores o por números
- IEC 60439-5** Conjuntos de apartamento de baja tensión. Parte 5: Requisitos particulares para los conjuntos destinados a ser instalados al exterior en lugares públicos. Conjuntos de apartamento para redes de distribución (CRD)
- IEC 60479-1** Efectos de la corriente eléctrica en seres humanos y animales domésticos. Parte 1: Aspectos generales
- IEC 60479-2** Efectos de la corriente eléctrica en seres humanos y animales domésticos. Parte 2: Aspectos especiales
- IEC 60479-3** Efectos de la corriente eléctrica en seres humanos y animales domésticos. Parte 3: Efectos de la corriente que pasa a través del cuerpo de animales domésticos
- IEC 60529** Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP)
- IEC 60644** Especificaciones para los cartuchos fusibles de alta tensión destinados a circuitos con motores
- IEC 60664** Coordinación de aislamiento de los equipos en las redes de baja tensión
- IEC 60715** Dimensiones de la apartamento de baja tensión. Montaje normalizado sobre carriles para soportes mecánicos de dispositivos eléctricos en instalaciones de apartamento
- IEC 60724** Límites de temperatura de cortocircuito en cables eléctricos de tensión asignada de 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) a 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)
- IEC 60755** Requisitos generales para dispositivos de protección que funcionan con corriente residual
- IEC 60787** Guía de aplicación para la selección de fusibles de alta tensión para el circuito del transformador
- IEC 60831** Condensadores de potencia autorregenerables a instalar en paralelo en redes de corriente alterna de tensión nominal inferior o igual a 1000 V
- IEC 60947-1** Apartamento de baja tensión. Parte 1: Reglas generales
- IEC 60947-2** Apartamento de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos
- IEC 60947-3** Apartamento de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles
- IEC 60947-4-1** Apartamento de baja tensión. Parte 4: Contactores y arrancadores de motor. Sección 1: Contactores y arrancadores electromecánicos
- IEC 60947-6-1** Apartamento de baja tensión. Parte 6: Materiales de funciones múltiples. Sección 1: Materiales de conexión de transferencia automática
- IEC 61000** Compatibilidad electromagnética (CEM)
- IEC 61440** Protección contra los choques eléctricos. Aspectos comunes a las instalaciones y a los equipos
- IEC 61557-1** Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1.000 V en CA y 1.500 V en CC. Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte 1: Requisitos generales
- IEC 61557-8** Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1.000 V en CA y 1.500 V en CC. Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte 8: Dispositivos de control de aislamiento para esquemas IT
- IEC 61557-9** Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1.000 V en CA y 1.500 V en CC. Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte 9: Dispositivos de localización de defectos de aislamiento en redes IT.
- IEC 61558-2-6** Seguridad de los transformadores, unidades de alimentación y análogos. Parte 2-6: Requisitos particulares para los transformadores de seguridad para uso general.
- IEC 62271-1** Especificaciones comunes de apartamento de alta tensión y normas de apartamento de control
- IEC 62271-100** Apartamento de alta tensión. Parte 100: Interruptores automáticos de corriente alterna para alta tensión
- IEC 62271-102** Apartamento de alta tensión. Parte 102: Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna
- IEC 62271-105** Apartamento de alta tensión. Parte 105: Combinados interruptor-fusibles de corriente alterna
- IEC 62271-200** Apartamento de alta tensión. Parte 200: Apartamento bajo envolvente metálica de corriente alterna para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV
- IEC 62271-202** Subestaciones prefabricadas de alta tensión/baja tensión

Demanda de energía

Cargas de la instalación

- Análisis de los diferentes tipos de cargas (motores, resistivas, iluminación...)
- Cálculo de la potencia aparente que necesita cada carga

Demanda máxima de potencia

- Los datos se basan en la experiencia y el conocimiento de las instalaciones

Potencia instalada (kW)

- La potencia instalada es la suma de las potencias nominales de todos los dispositivos eléctricos de la instalación
- En la práctica, ésta no es la potencia absorbida realmente

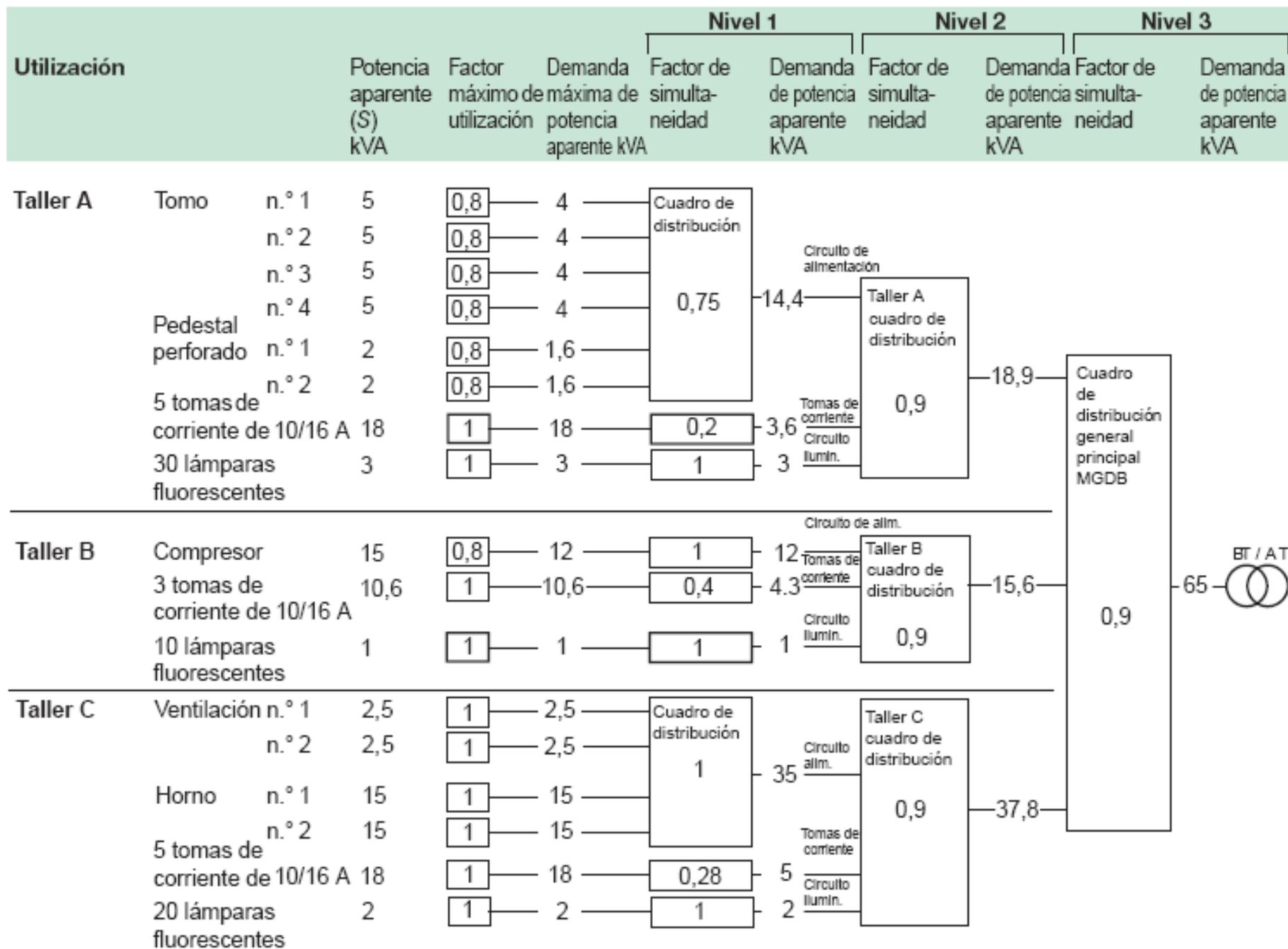
Potencia aparente instalada (kVA)

- Potencia aparente instalada es igual al Σ de las cargas individuales
- La demanda de potencia de una carga tiene en cuenta η , $\cos \varphi$...

Demanda de energía

Estimación de la demanda máxima real de kVA

- Factor de utilización máxima (k_u)
 - Se basa en el supuesto de que algunos RECEPTORES NO SUELEN FUNCIONAR A PLENA POTENCIA
 - Se aplica a cada carga individual
 - Motores en instalación industrial, se estima $k_u=0,75$
 - Cargas de luz incandescente, siempre $k_u=1$
 - Para circuitos con tomas de corriente, depende del tipo de aplicación
- Factor de simultaneidad (k_s)
 - Se basa en el supuesto de que LOS RECEPTORES NO SUELEN FUNCIONAR TODOS A LA VEZ
 - Se aplica a cada grupo de cargas (por ejemplo, un cuadro de distribución)



Niveles de tensión (BT)

Sistemas trifásicos de tres o cuatro hilos Tensión nominal (V)		Sistemas de fase únicas de tres hilos Tensión nominal (V)
50 Hz	60 Hz	60 Hz
–	120/208	120/240
–	240	–
230/400 ⁽¹⁾	277/480	–
400/690 ⁽¹⁾	480	–
–	347/600	–
1.000	600	–

(1) La tensión nominal de los sistemas existentes de 220/380 V y de 240/415 V tras un período de transición, deben haber alcanzado la tolerancia de 230/400 V ± 10 %. Igualmente sucede con el valor presente de 380/660 V con respecto al valor recomendado de 400/690 V.

Niveles de tensión (BT)

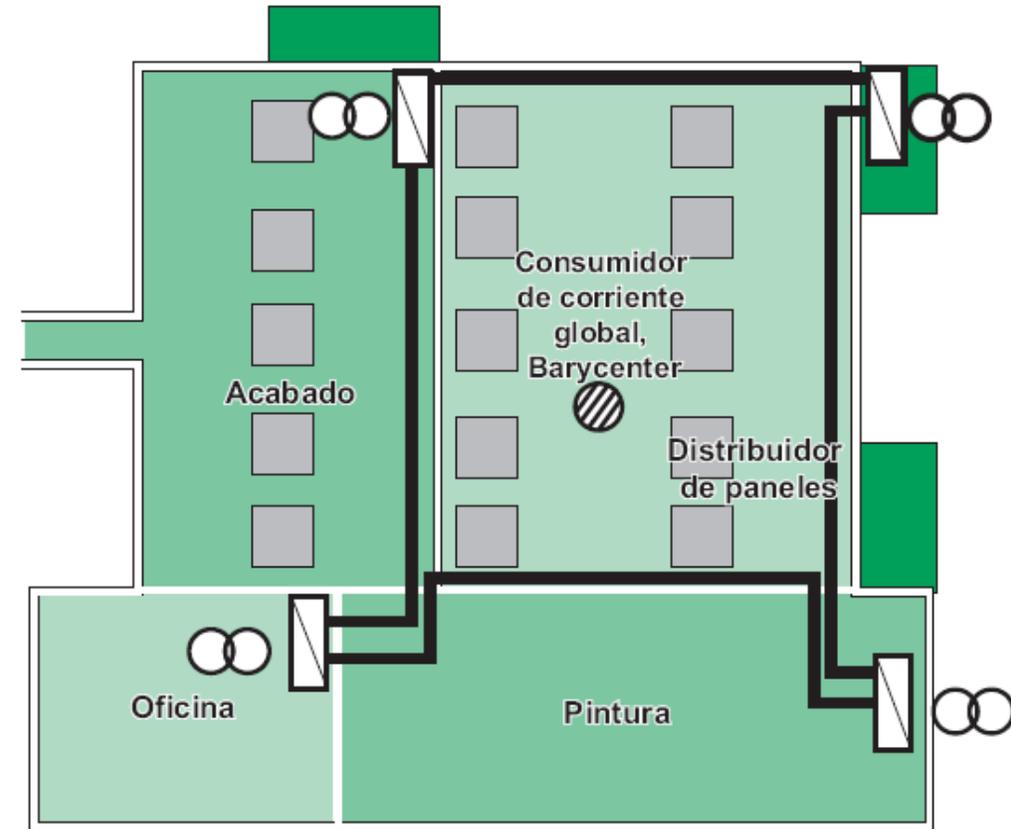
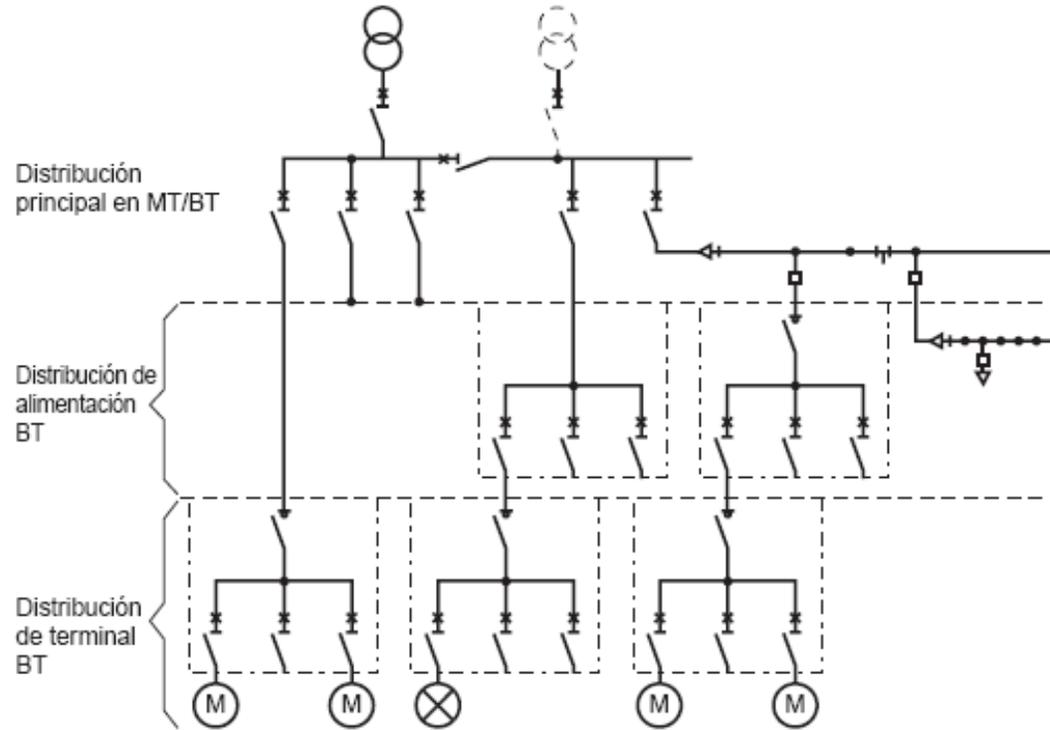
- **Tensiones de aplicación del REBT**
 - Alterna: igual o inferior a 1.000 V
 - Continua: igual o inferior a 1.500 V
- **Clasificación de las tensiones**

	Corriente alterna (Valor eficaz)	Corriente continua (Valor medio aritmético)
Muy baja tensión	$U_n \leq 50V$	$U_n \leq 75V$
Tensión usual	$50 < U_n \leq 500V$	$75 < U_n \leq 500V$
Tensión especial	$500 < U_n \leq 1000V$	$75 < U_n \leq 1500V$



Distribución eléctrica en Baja Tensión

Arquitecturas de distribución



Disposición, lo más cerca del mayor consumo

- Influye en el tiempo de instalación y tecnología actualizada
- Fiabilidad del rendimiento de la instalación
- Reciclaje de la instalación a final de vida

Riesgos de la corriente eléctrica

Fallos de Aislamiento

Tipos de Fallos

Existen 2 tipos de fallos de aislamiento:



- Fallo en **modo diferencial**: entre conductores activos
 - Cortocircuito
- Fallo en **modo común**: entre conductores activos y partes conductoras expuestas o tierra.
 - La corriente de defecto fluye por el conductor de protección (PE) y/o tierra
 - Se trata del más común de los defectos de aislamiento en sistemas BT

Riesgos de la corriente eléctrica

Fallos de Aislamiento

Posibilidad de Fallos

- Durante la Puesta en Servicio de la instalación (CAPEX) => *Bajo riesgo de defecto*
- Durante el uso de la instalación (OPEX) => *se incrementan los riesgos*, las instalaciones están sujetas a agresiones
 - Deterioro del aislante de los cables
 - Daños térmicos a los materiales aislantes
 - Fuerzas electrodinámicas desarrolladas en caso de cortocircuito
 - Sobretensiones causadas por rayos y/o conmutaciones

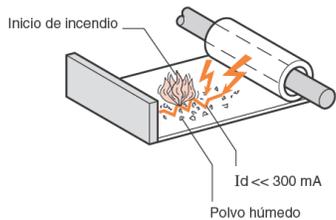
Riesgos de la corriente eléctrica

Fallos de Aislamiento

Riesgos asociados

- Shock eléctrico

- Fuego

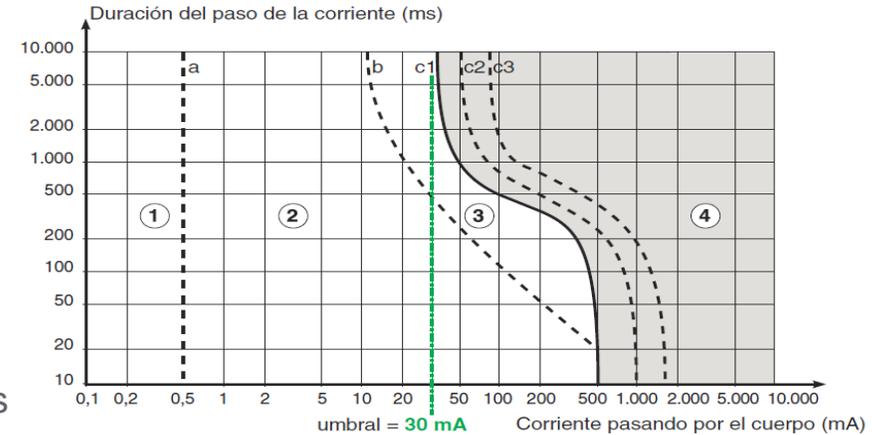


The effects of alternating (50 to 60 Hz) current on the human body	
1 A	Cardiac arrest
75 mA	Irreversible cardiac fibrillation threshold
30 mA	Respiratory paralysis threshold
10 mA	Muscular contraction (tetanisation)
0,5 mA	Very slight sensation

- Consecuencias para personas y equipos
- Altas temperaturas excesivas para las instalaciones,
- Riesgo de arco eléctrico
- Riesgo de Explosión

- Falta de disponibilidad de energía eléctrica

- Riesgos económicos (no producción)
- Riesgos personales (medicina)



Riesgos de la corriente eléctrica

Fallos de Aislamiento

Riesgos asociados: Shock eléctrico

Contacto directo

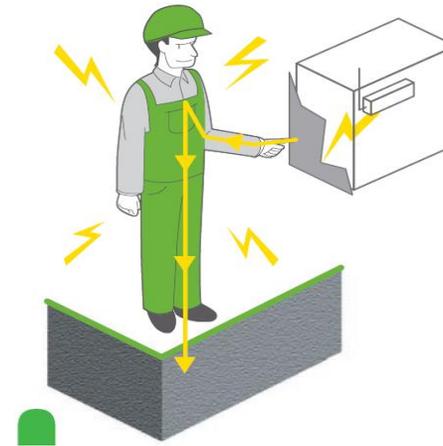
Cuando una persona toca un conductor bajo tensión



- ❑ **Protección:** las medidas de protección consisten en utilizar **aislamiento físico** o mantener la **distancia** de seguridad a las partes activas o en tensión.
- ❑ Estas medidas pueden/deben reforzarse en los cuadros de distribución terminales mediante la protección aportada por RCD: riesgo de contacto directo

Contacto indirecto

Cuando una persona toca la carcasa metálica de un aparato eléctrico (receptor) que presenta un defecto de aislamiento



- ❑ **Protección:** La solución básica consiste en **conectar a tierra todas las partes conductoras** expuestas del dispositivo receptor mediante conductores de protección.
- ❑ Esto no elimina la posibilidad de que exista una tensión de contacto que resulte peligrosa si supera el límite de seguridad. Dicha tensión de contacto depende del **Sistema de conexión a tierra.**

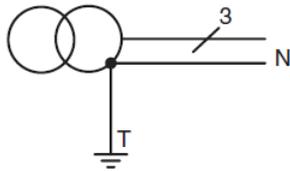
Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Tipos

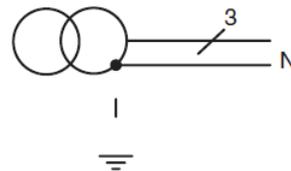
- Buscan las mejores formas de **proteger a las personas e instalaciones**
- Su elección depende del coste (**valor de la instalación**) y requisitos de disponibilidad de energía (**criticidad**)

Se definen con dos letras:

- 1** La primera letra indica el modo en el que el neutro del transformador se conecta a tierra:

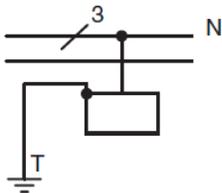


Neutro conectado a tierra **T**

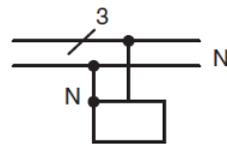


Neutro aislado de tierra **I**

- 2** La segunda letra indica el modo en el que las carcasas o las partes conductoras expuestas se conectan a tierra:



Carcasa de la carga conectada a tierra **T**



Carcasa de la carga conectada a neutro **N**

Existen tres tipos de sistemas de conexión a tierra, dependiendo de la aplicación:.

- 1** TT para el sector terciario y redes domésticas.

- 2** TN para redes industriales.

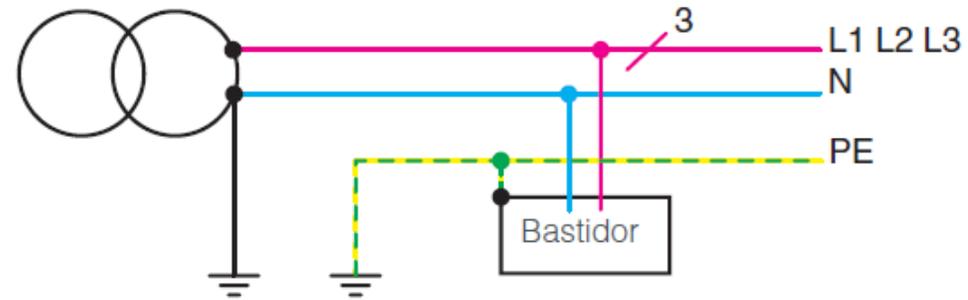
- 3** IT para embarcaciones, áreas específicas en hospitales y aplicaciones industriales con requisitos de alta continuidad de servicio.

La **norma IEC 60364** establece 3 Esquemas de Conexión a Tierra (ECT) o regímenes de neutro para asegurar la protección de persona e instalaciones

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Sistema TT

Régimen TT: Muy usado en sector terciario para distribución eléctrica en grandes distancias (una toma de tierra por edificio) y aplicaciones generales en industria

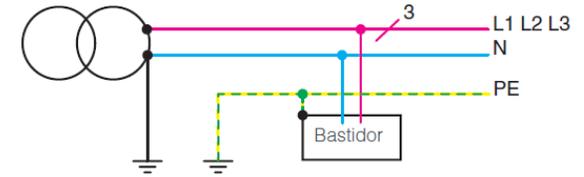


Neutro del Trafo conectado a tierra (T)

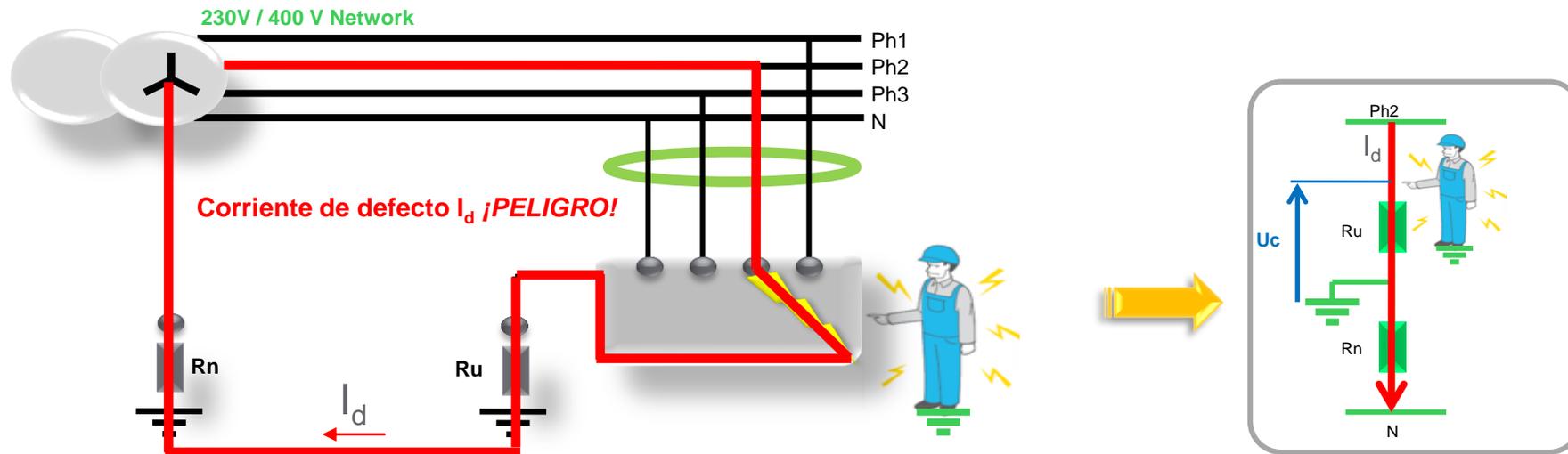
Masas de la instalación conectadas a tierra (T)

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Defecto de aislamiento en Sistema TT



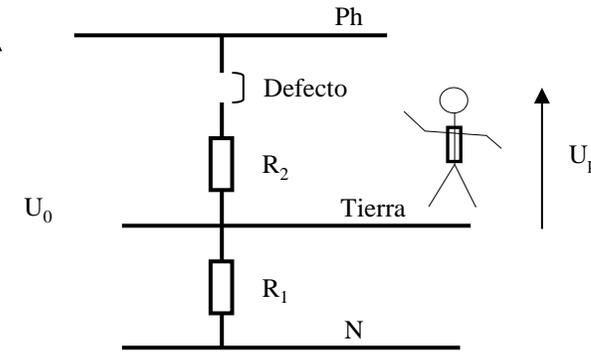
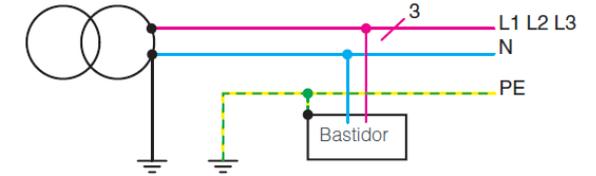
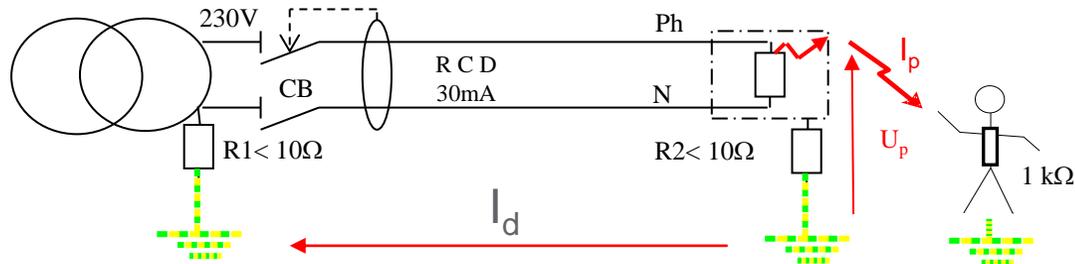
Régimen TT: En caso de un defecto de aislamiento, la tensión de contacto depende de las resistencias de tierra, pero todavía puede alcanzar niveles peligrosos.



- I_d limitada sólo por las resistencias de tierra R_n y R_u
- Tensión de contacto $U_c = U_o/2 \implies$ **peligro** (con aprox $R_u=R_n$)
- El defecto es detectado por un **dispositivo diferencial** que dispara un interruptor automático o él mismo si es interruptor (*Residual Current Device RCD*)

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Cálculos del defecto sistema TT



Contacto indirecto y fallo de aislamiento

Hipótesis: $R_1 = R_2 = 10\Omega$

U persona: $U_p = 230 * R_2 / (R_1 + R_2) = 115\text{ V}$

I persona: $I_p = U_p / R_{\text{persona}} = 115\text{V} / 1\text{k}\Omega = 115\text{ mA}$ (riesgo muy alto por encima de 30mA)

Corriente de bucle de defecto: $I_d = U_0 / (R_1 + R_2) = 230\text{V} / 20\Omega = 11.5\text{A}$ -> esta corriente no es suficientemente elevada para disparar los magnetotérmicos.

Por ello se exige la obligación de instalar RCD en RÉGIMEN TT, encargado de la protección.

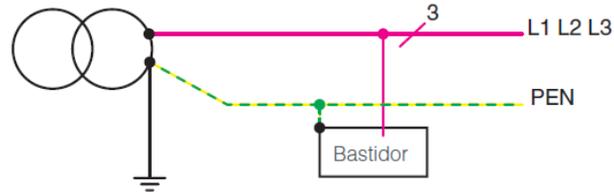


Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Sistema TN

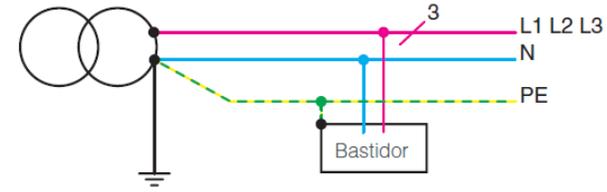
Régimen TN: Se trata de un sistema mas sencillo de implementar y más rentable en un edificio o emplazamiento industrial

> Sistema de conexión a tierra TN-C



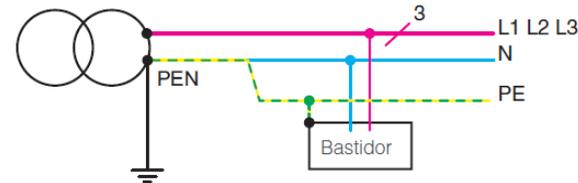
El neutro y PEN están **C**ombinados

> Sistema de conexión a tierra TN-S



El neutro y PEN están **S**eparados

> Sistema de conexión a tierra TN-C-S



El neutro y PEN están parcialmente **C**ombinados y parcialmente **S**eparados

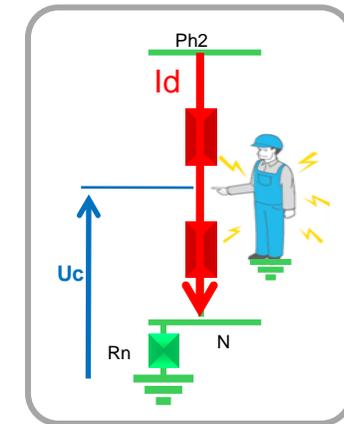
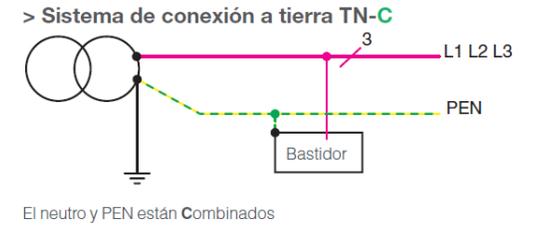
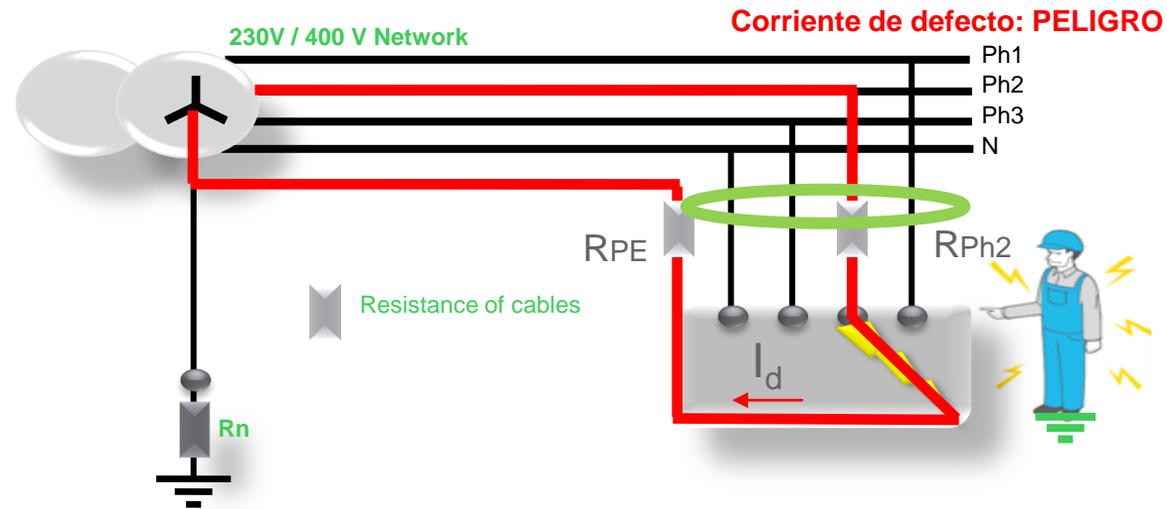
Neutro del Trafo conectado a tierra (T)

Masas de la instalación conectadas al neutro (N)

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Defecto de aislamiento en Sistema TN

Régimen TN: En caso de defecto se produce un cortocircuito I_d



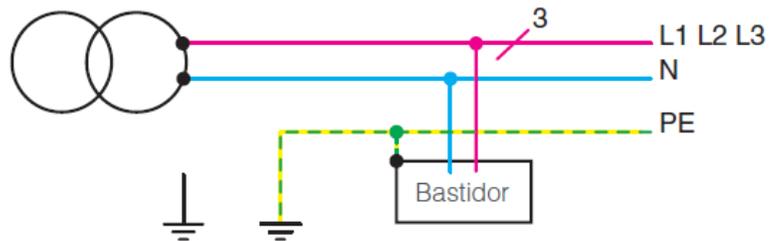
- I_d limitada sólo por la impedancia del bucle de defecto (cables) => **I_{cc}**
- >> **Un fallo de aislamiento es similar a un cortocircuito fase-neutro**
- Tensión de contacto : $U_o/2$ (resistencias de los cables : $R_{PE}=R_{Ph2}$) => **¡¡¡¡peligro!!!!**
- Debe despejarse INMEDIATAMENTE: *defecto modo diferencial = defecto modo común*

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Sistema IT

Régimen IT: Muy usado en hospitales, marina, industria con necesidades de alta disponibilidad, fotovoltaicas, etc...

> Régimen de neutro aislado o sistema de conexión a tierra IT



- > No existe tensión de contacto peligrosa al tocar partes metálicas
- > Intensidades de defecto muy bajas

Neutro del Trafo aislado de tierra (I)

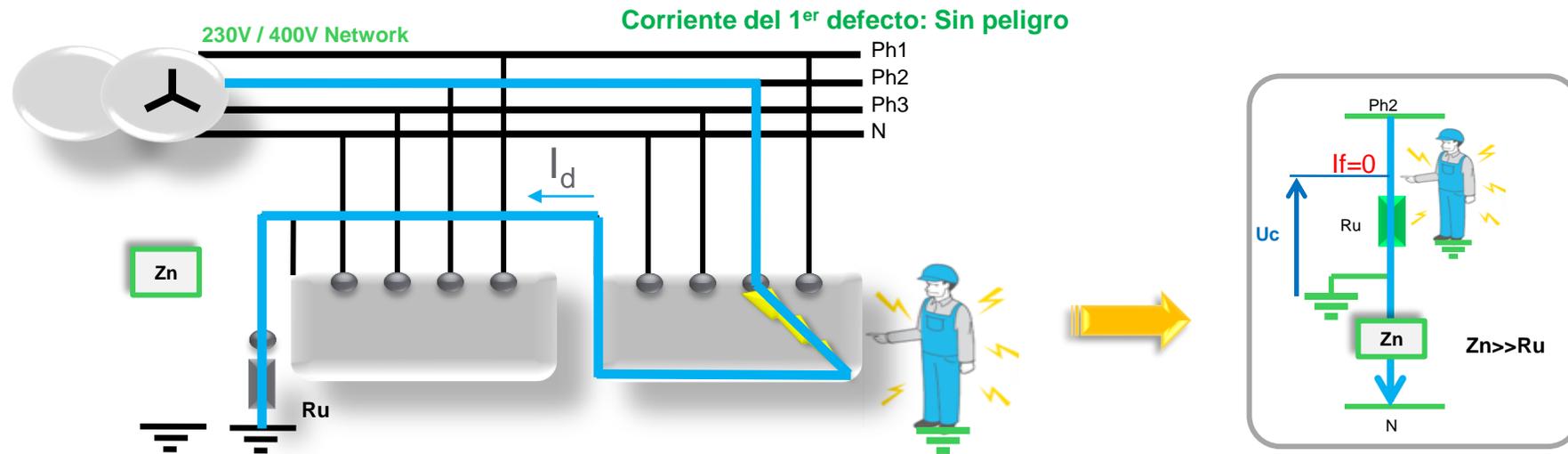
Masas de la instalación conectadas a tierra (T)

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Defecto de aislamiento en régimen IT

Régimen IT: 1er defecto sin consecuencias

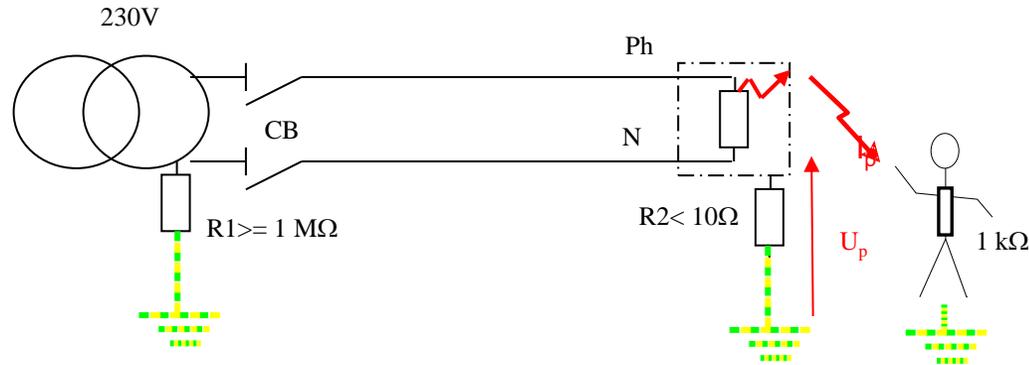
> Régimen de neutro aislado o sistema de conexión a tierra IT



- El neutro no conectado a tierra impide un bucle de corriente de defecto (Z_n muy alta)
>>Muy baja corriente de defecto (I_d despreciable)
>>Sin riesgo de tensión de defecto (U_c despreciable)
- Sin disparo de ninguna protección: **Continuidad de servicio garantizada**

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Cálculos del defecto sistema IT



Contacto indirecto y fallo de aislamiento

Hipótesis: $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ y $R_2 = 10 \Omega$

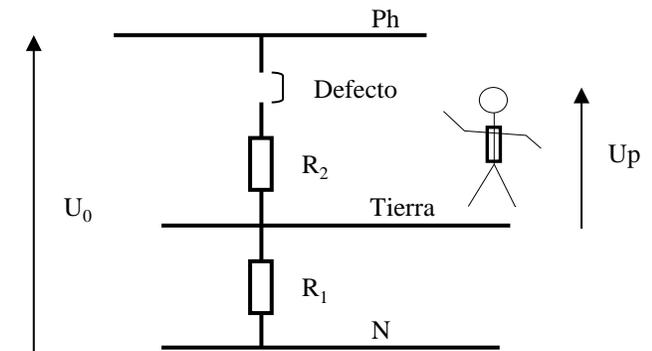
U persona: $U_p = 230 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 230 \cdot R_2 / R_1 = 2,3 \text{ mV}$

I persona: $I_p = U_p / R_{\text{persona}} = 2,3 \text{ mV} / 1 \text{ k}\Omega = 2,3 \mu\text{A}$ (sin riesgo para persona)

Corriente de bucle de defecto: $U_0 / (R_1 + R_2) = 230 \text{ V} / 1 \text{ M}\Omega = 0,2 \text{ mA}$ -> esta corriente es muy baja. No existe necesidad de disparo de ningún dispositivo.

Necesidad de corregir el defecto de aislamiento para evitar el 2º defecto que provocaría un disparo por cortocircuito

> Régimen de neutro aislado o sistema de conexión a tierra IT



Sistemas de conexión a tierra (neutro)

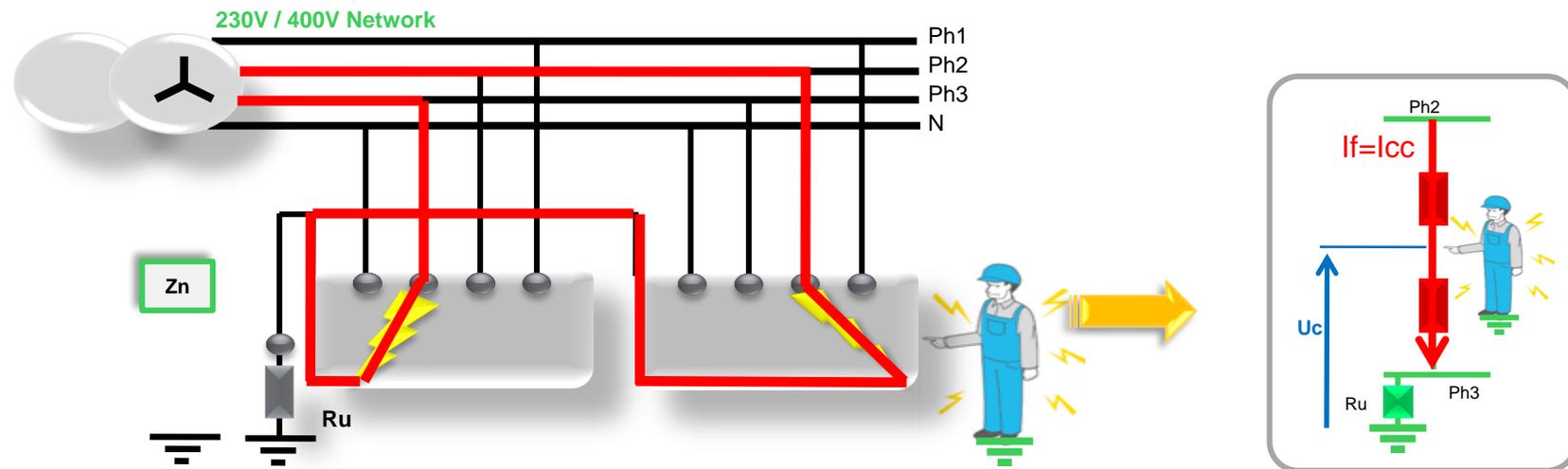
Defecto de aislamiento en régimen IT

Régimen IT: 2º defecto en distinta fase (defecto sobrecorriente)

> Régimen de neutro aislado o sistema de conexión a tierra IT



Corriente de 2º defecto (debido a diferente fase): PELIGRO



- El bucle de corriente de defecto se cierra entre fases
- >> corriente de defecto I_f : cortocircuito o sobrecorriente elevada (hay U_c peligrosa pero debe eliminarse con el disparo de las protecciones)
- Disparo de protecciones de sobrecorriente para despejar el defecto:

• OBLIGACION DE DETECTAR EL 1º DEFECTO

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Tomas de corriente: uso de protección DDR en régimen IT

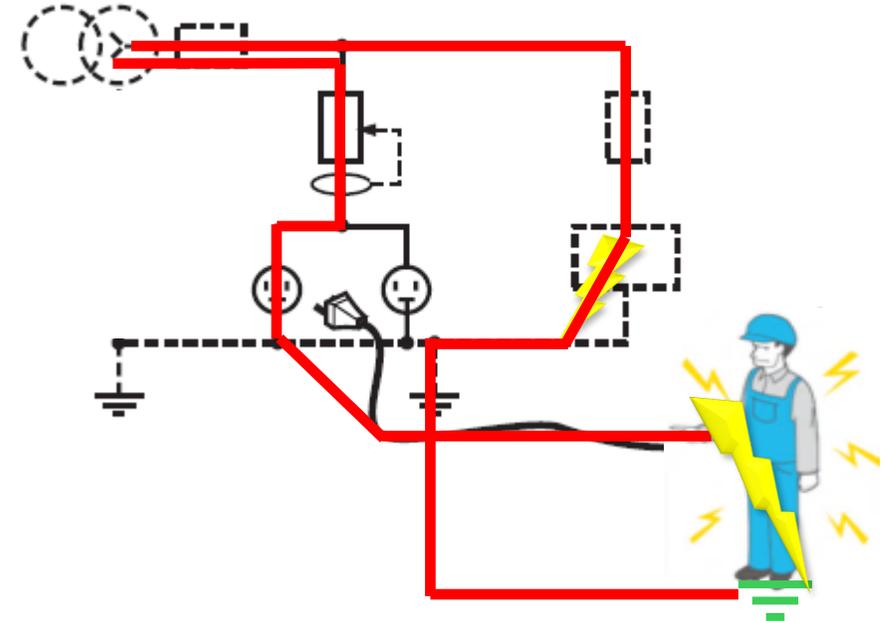
La norma IEC 60364-4-471 recomienda firmemente la utilización de un DDR de elevada sensibilidad (30 mA) en los siguientes casos:

- Circuitos con toma de corriente para corrientes nominales de 32 A en cualquier ubicación.
- Circuitos con toma de corriente en ubicaciones húmedas para todas las especificaciones de corriente.
- Circuitos con toma de corriente en instalaciones provisionales.
- Circuitos de suministro a lavanderías y piscinas.
- Circuitos de alimentación de conjuntos de obras, caravanas, barcos de entretenimiento y ferias.

Esta protección puede destinarse a circuitos individuales o a grupos de circuitos:

- Altamente recomendada para circuitos de tomas de corriente 20 A (obligatoria si van a alimentar equipos portátiles para uso en exteriores).
- En algunos países, este requisito es obligatorio para los circuitos de tomas de corriente $I_n=32\text{ A}$. También se recomienda para limitar el número de tomas de corriente protegidas por un DDR (p. ej., 10 tomas para un DDR).

> Régimen de neutro aislado o sistema de conexión a tierra IT

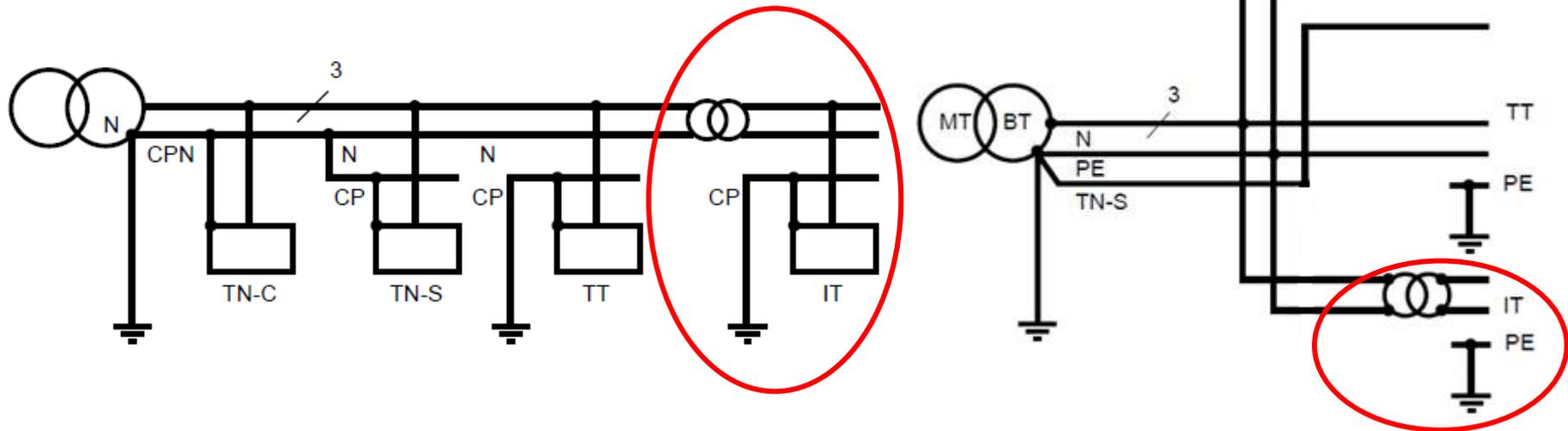


PROHIBIDO EN SALAS MEDICAS IT

Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Coexistencia de varios sistemas en una instalación

Régimen IT: Siempre aislado de cualquier otro mediante transformador de aislamiento



Sistemas de conexión a tierra (neutro)

Aplicativos típicos de redes IT

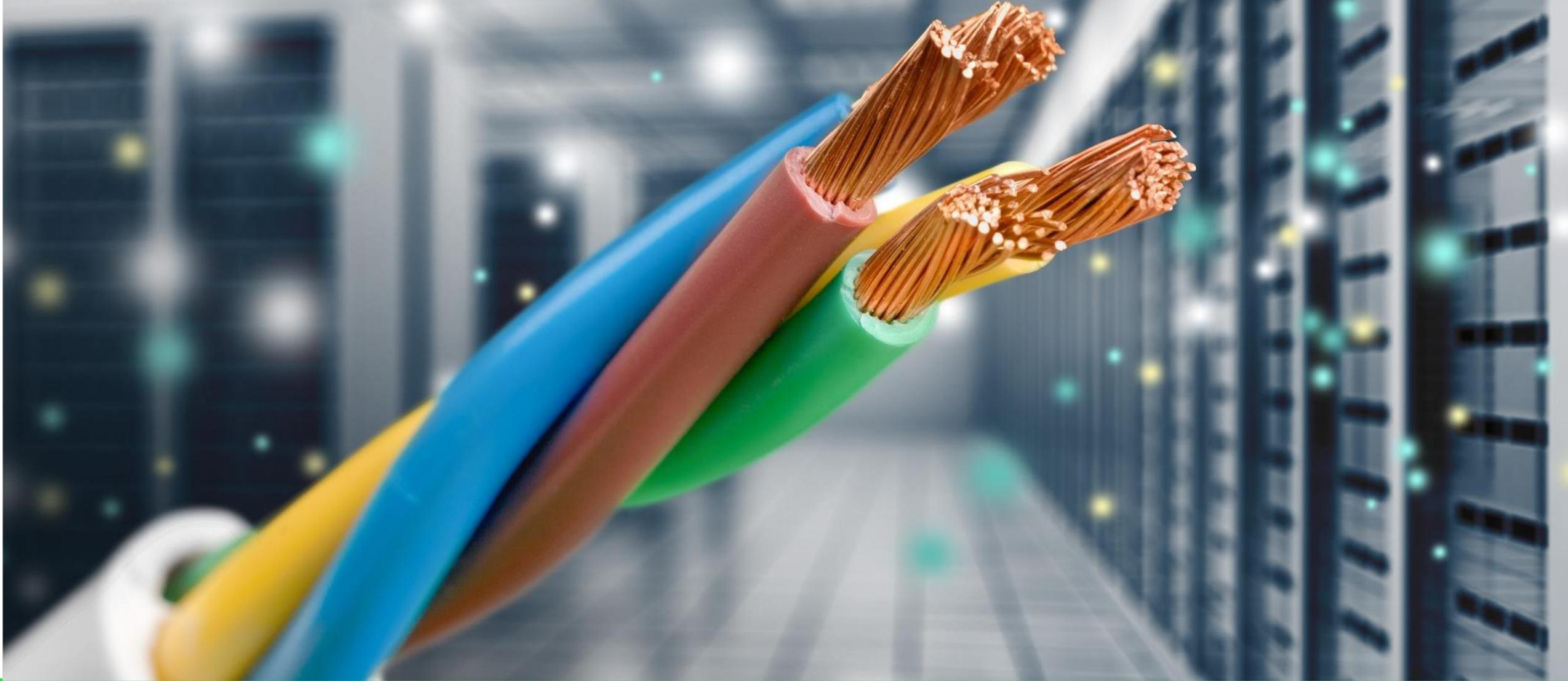
Dónde encontrar régimen IT

- Quirófanos y determinadas salas médicas en hospitales
- Embarcaciones
- Conservación en frío
- Alumbrado de emergencia
- Laboratorios
- Aplicaciones industriales con procesos continuos o vulnerables
- Fotovoltaico



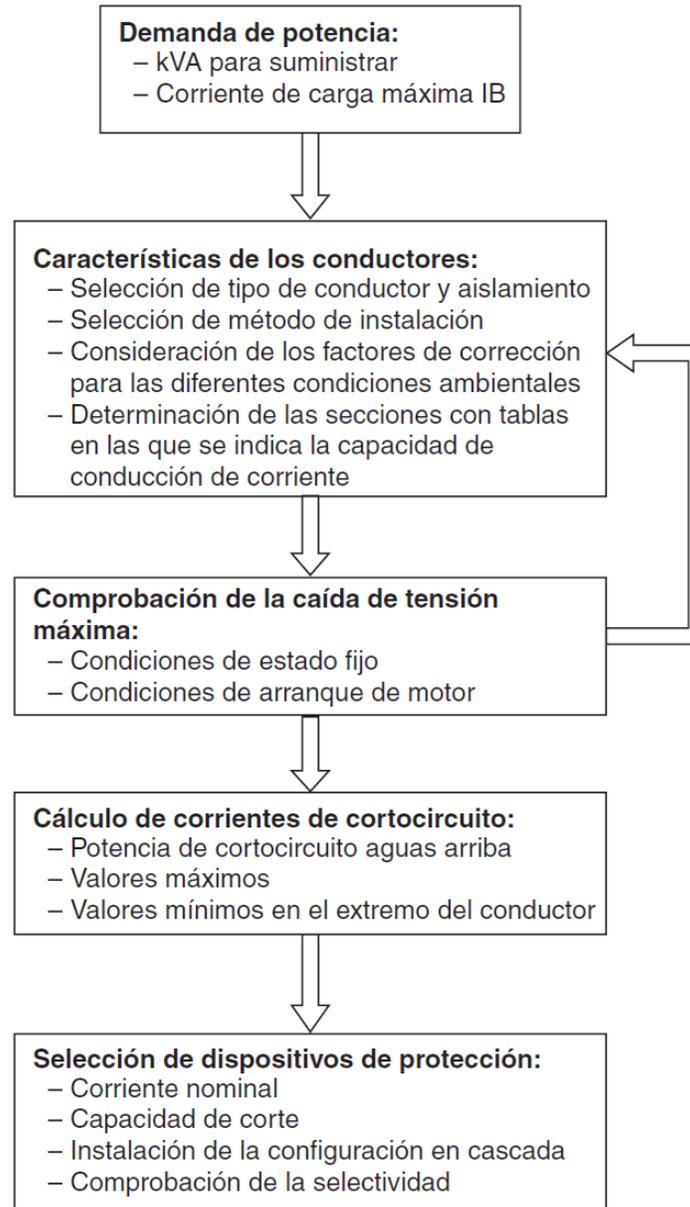
- Centrales nucleares
- Túneles
- Aeropuertos: torre de control, luces de balizamiento en pista
- Depósitos de munición
- Edificios oficiales: parlamentos, bolsa de valores, ministerios, etc.
- Minas
- Silos
- Pozos petrolíferos

IT es obligatorio en Hospital y Marina



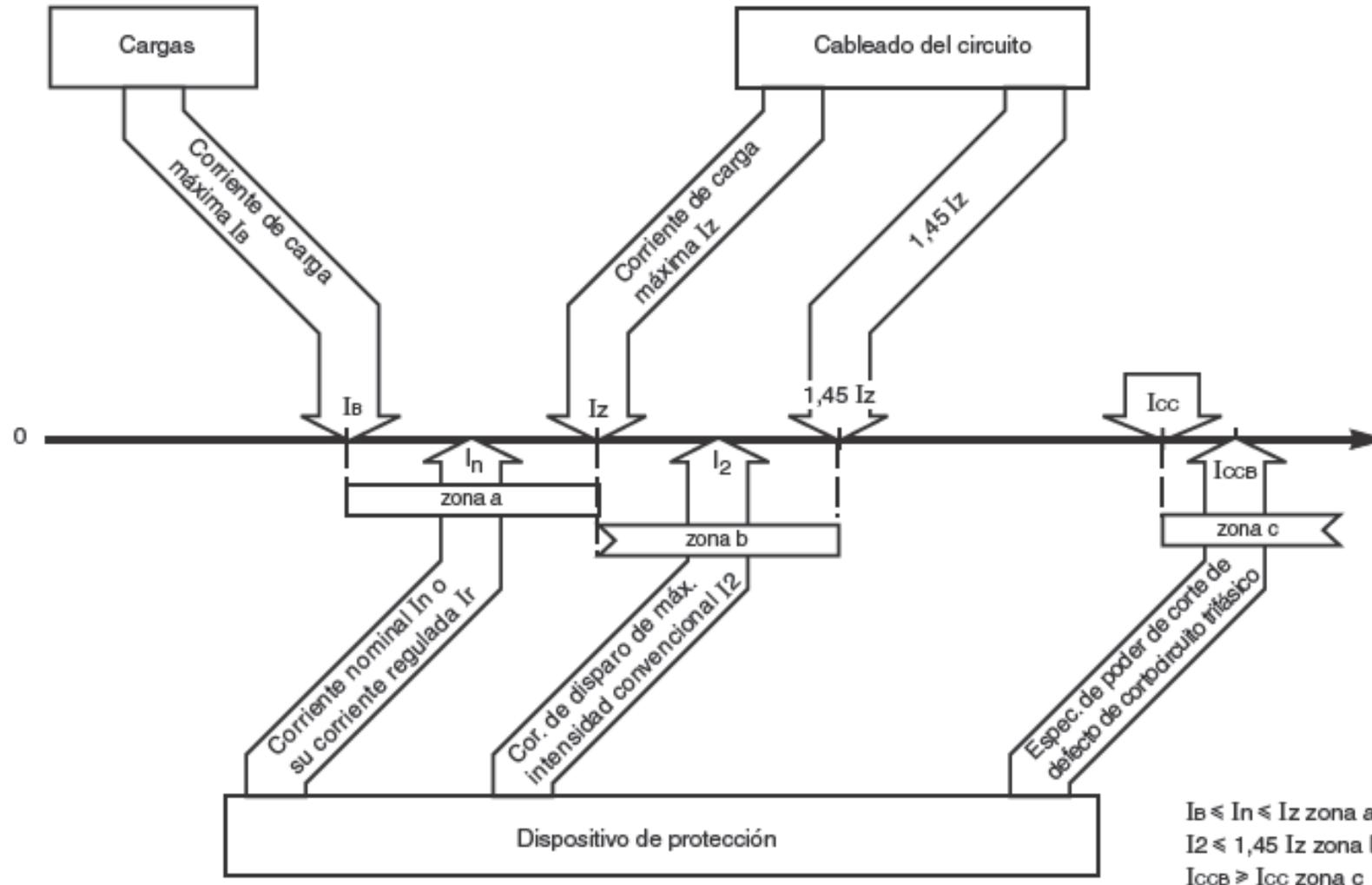
Selección de los conductores

Selección del cable y la protección



Selección del cable y la protección

Desarrollo de los circuitos



I_B : Corriente de carga máxima

I_Z : Corriente máxima permitida

I_n : Corriente nominal

I_2 : Corriente de disparo de máxima intensidad convencional

I_{CC} : Corriente de cortocircuito

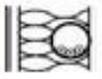
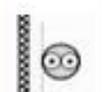
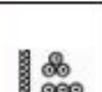
I_{CCB} : Corriente de cortocircuito nominal del interruptor automático

Cálculo de la sección mínima: Intensidad admisible

Intensidad Máxima Admisible (ITC-BT-19)

- Las intensidades máximas admisibles se rigen por lo indicado en la norma UNE-HD 60364-5-52.
- Existen reducciones de la intensidad admisible de los circuitos en función del número de conductores en carga
- Existe una reducción de la intensidad admisible de los cables basada en la presencia de corrientes armónicas.
- Existen tablas simplificadas para facilitar la elección de los cables (tanto en el caso de enterrados como sin enterrar).
 - Estas tablas se complementan con factores de corrección asociados a la temperatura, la presencia de grupos de varios circuitos o la utilización de cables multiconductores.

Cálculo de la sección mínima: Intensidad admisible

A1		Conductores unipolares aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes		3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR.	2x XLPE o EPR.										
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes	3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR.	2x XLPE o EPR.												
B1		Conductores unipolares en tubos empotrados en obra o en montaje superficial				3x PVC	2x PVC					3x XLPE o EPR.				2x XLPE o EPR.				
B2		Cables multiconductores en tubos empotrados en obra o en montaje superficial			3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR.	2x XLPE o EPR.									
C		Cables unipolares o multiconductores directamente sobre la pared o sobre bandejas no perforadas						3x PVC			2x PVC			3x XLPE o EPR.		2x XLPE o EPR.				
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3D o sobre bandejas perforadas, de rejilla o de escalera							3x PVC			2x PVC			3x XLPE o EPR.		2x XLPE o EPR.			
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D. Mismos sistemas que el tipo E, para S superior a 25 mm ²									3x PVC			2x PVC		3x XLPE o EPR.		2x XLPE o EPR.		
		S (mm²)	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
			INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES I_z (A)																	

Cálculo de la sección mínima: Intensidad admisible

	S (mm ²)	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
		INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES I _z (A)																	
Cobre	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	-
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	-
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	-
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	-
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	-
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	-
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	-	-	-	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	-	-	-	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	-	-	-	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	-	-	-	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	-	-	-	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	-	-	-	-	-	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
	185	-	-	-	-	-	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
240	-	-	-	-	-	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	
Aluminio	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	-
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	-
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	-
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	-
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	-
	25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
	35	-	-	-	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
	50	-	-	-	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
	70	-	-	-	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
	95	-	-	-	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
	120	-	-	-	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306
	150	-	-	-	-	-	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353
	185	-	-	-	-	-	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406
	240	-	-	-	-	-	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482

Cálculo de la sección mínima: Caídas de tensión

Caídas de tensión máximas

- Caída de tensión (%)

$$\frac{100 \Delta U}{U_n}$$

- La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea:
 - ✓ < 3 % de la tensión nominal para cualquier circuito interior de viviendas
 - ✓ < 3 % para alumbrado en otras instalaciones interiores o receptoras
 - ✓ < 5 % para los demás usos en otras instalaciones interiores o receptoras
- La caída de tensión se calculará considerando alimentados todos los aparatos de utilización susceptibles de funcionar simultáneamente

Cálculo de la sección mínima: Caídas de tensión

Cálculo de las caídas de tensión

- Mediante el uso de fórmulas:

Circuito	Caída de tensión (ΔU)	
	en voltios	en %
Monofásico: fase/fase	$\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi)L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Monofásico: fase/neutro	$\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi)L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Trifásico equilibrado: trifásico (con o sin neutro)	$\Delta U = \sqrt{3}I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi)L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

- Mediante el uso de tablas simplificadas:

Sección en mm ²		Circuito monofásico			Circuito trifásico equilibrado		
		Potencia del motor		Iluminación	Potencia del motor		Iluminación
		Funcion. normal	Arranque		Funcion. normal	Arranque	
Cu	Al	cos $\varphi = 0,8$	cos $\varphi = 0,35$	cos $\varphi = 1$	cos $\varphi = 0,8$	cos $\varphi = 0,35$	cos $\varphi = 1$
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

$$\Delta U = K \times I_B \times L \left(K \text{ en } \frac{\text{V}}{\text{A} \cdot \text{km}} \right)$$

Cálculo de la sección mínima: Corriente de cortocircuito

Resistencia térmica del cable en condiciones de cortocircuito

- Cuando la duración de la corriente de cortocircuito es corta ($< 5s$), se supone que todo el calor generado permanece en el conductor aumentando su t^a (proceso adiabático).
- El tiempo durante el cual un conductor de sección S puede llevar una corriente antes de que la temperatura alcance un nivel perjudicial para el aislamiento es:

$$I^2t = K^2S^2$$

- Por tanto, la sección mínima del cable debe ser:

$$S = \frac{I_{CC} \cdot \sqrt{t}}{K}$$

CONDUCTOR	AISLAMIENTO	K
COBRE	PVC	115
	XLPE-EPR	143
ALUMINIO	PVC	76
	XLPE-EPR	94

Cálculo de la sección mínima: Corriente de cortocircuito

Métodos de cálculo de Intensidades de Cortocircuito

- Método de las impedancias:

- Basado en:
$$I_{cc_3} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_T}$$

- Complejo de utilizar dada la dificultad para adquirir los datos necesarios (especialmente Z_T)

- Icc en un extremo respecto a la Icc en origen:

- Basado en el uso de tablas

- Mucho más simple, valor aproximado basado en el método de composición

Cálculo de la sección mínima: Corriente de cortocircuito

Cálculo de la Intensidad de cortocircuito en los terminales de un transformador

Estimación por cálculo en función de U_{cc} :

$$I_{cc} = \frac{I_n \times 100}{U_{cc}} \text{ con } I_n = \frac{P \times 100}{U \sqrt{3}}$$

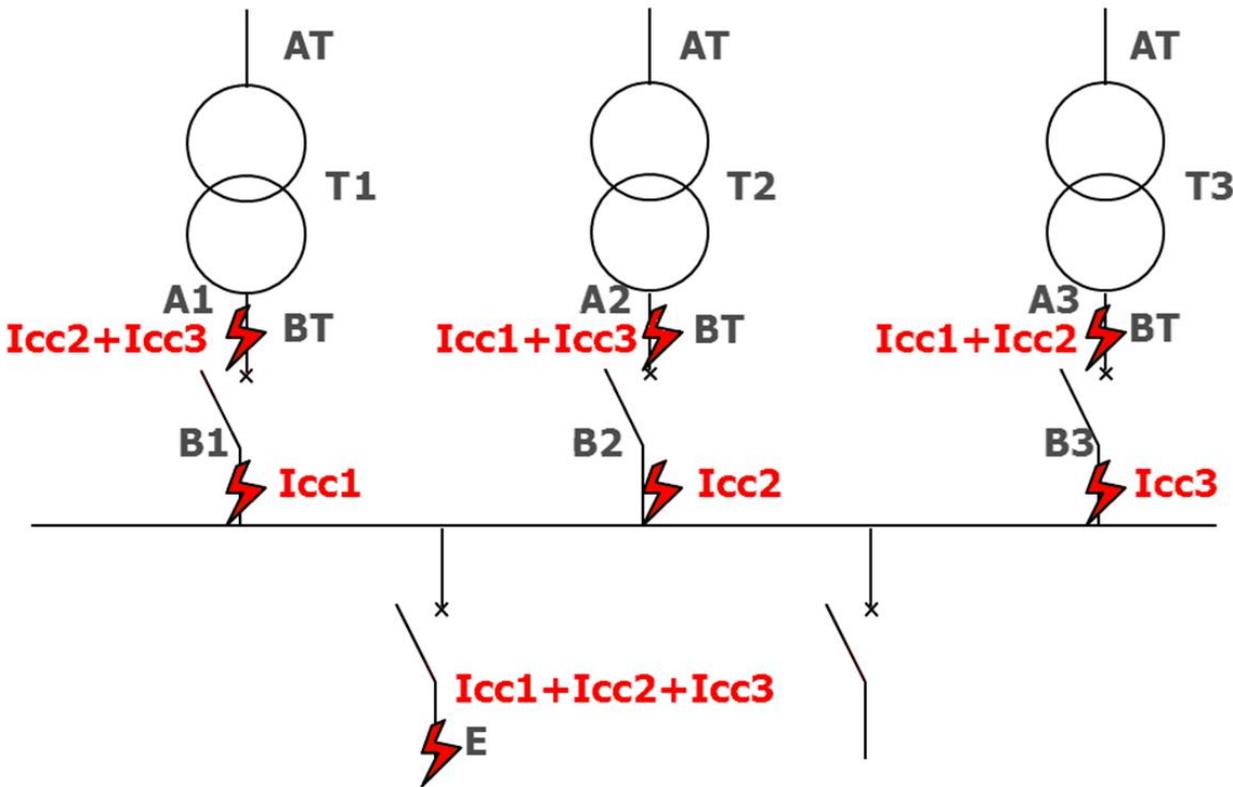
Intensidad del transformador en kVA	U_{cc} en %	
	Tensión secundaria en circuito abierto	
	410 V	237 V
50 a 630	4	4
800	4,5	5
1.000	5	5,5
1.250	5,5	6
1.600	6	6,5
2.000	6,5	7
2.500	7	7,5
3.150	7	7,5

Estimación mediante tablas:

Potencia nominal del transformador (kVA)																				
	16	25	40	50	63	80	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150
237 V																				
I_n (A)	39	61	97	122	153	195	244	390	609	767	974	1.218	1.535	1.949	2.436	3.045	3.899	4.872	6.090	7.673
I_{cc} (A)	973	1.521	2.431	3.038	3.825	4.853	6.060	9.667	15.038	18.887	23.883	29.708	37.197	41.821	42.738	48.721	57.151	65.840	76.127	94.337
410 V																				
I_n (A)	23	35	56	70	89	113	141	225	352	444	563	704	887	1.127	1.408	1.760	2.253	2.816	3.520	4.435
I_{cc} (A)	563	879	1.405	1.756	2.210	2.805	3.503	5.588	8.692	10.917	13.806	17.173	21.501	24.175	27.080	30.612	35.650	40.817	46.949	58.136

Cálculo de la sección mínima: Corriente de cortocircuito

Icc de varios transformadores en paralelo



Transformadores				Pdc mín. origen (kA)	Interruptor automático de origen	Pdc mín. salida	Interruptor automático de salida				
P (kVA)	In (A)	Ucc (%)	Icc (kA)				≤ 100	160	250	400	630
1 transformador											
50	70	4	2	2	NS100N TM-D/STR22SE	2	NS100N				
100	141	4	4	4	NS160N TM-D/STR22SE	4	NS100N	NS160N			
160	225	4	6	6	NS250N TM-D/STR22SE	6	NS100N	NS160N	NS250N		
250	352	4	9	9	NS400N STR23SE/53UE	9	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
400	563	4	14	14	NS630N STR23SE/53UE	14	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
630	887	4	22	22	NS1000N NT10H1 NW10N1 Micrologic	22	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
800	1.127	6	19	19	NS1250N NT12H1 NW12N1 Micrologic	19	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
1.000	1.408	6	23	23	NS1600N NT16H1 NW16N1 Micrologic	23	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
1.250	1.760	6	29	29	NW20N1 Micrologic	29	NS100H	NS160N	NS250N	NS400N	
1.600	2.253	6	38	38	NW25H1 Micrologic	38	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	
2.000	2.816	6	47	47	NW32H1 Micrologic	47	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
2.500	3.521	6	59	59	NW40H1 Micrologic	59	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
2 transformadores											
50	70	4	2	2	NS100N TM-D/STR22SE	4	NS100N	NS160N			
100	141	4	4	4	NS160N TM-D/STR22SE	7	NS100N	NS160N	NS250N		
160	225	4	6	6	NS250N TM-D/STR22SE	11	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
250	352	4	9	9	NS400N STR23SE/53UE	18	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
400	563	4	14	14	NS630N STR23SE/53UE	28	NS100H	NS160N	NS250N	NS400N	
630	887	4	22	22	NS1000N NT10H1 NW10N1 Micrologic	44	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	
800	1.127	6	19	19	NS1250N NT12H1 NW12N1 Micrologic	38	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	
1.000	1.408	6	23	23	NS1600N NT16H1 NW16N1 Micrologic	47	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
1.250	1.760	6	29	29	NW20N1 Micrologic	59	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
1.600	2.253	6	38	38	NW25H1 Micrologic	75	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	
2.000	2.816	6	47	47	NW32H1 Micrologic	94	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	
2.500	3.521	6	59	59	NW40H1 Micrologic	117	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	
3 transformadores											
50	70	4	2	4	NS100N TM-D/STR22SE	5	NS100N	NS160N	NS250N		
100	141	4	4	7	NS160N TM-D/STR22SE	11	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
160	225	4	6	11	NS250N TM-D/STR22SE	17	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
250	352	4	9	18	NS400N STR23SE/53UE	26	NS100H	NS160N	NS250N	NS400N	
400	563	4	14	28	NS630N STR23SE/53UE	42	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	
630	887	4	22	44	NS1000N NT10L1 NW10H1 Micrologic	67	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
800	1.127	6	19	38	NS1250N NT12H1 NW12N1 Micrologic	56	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
1.000	1.408	6	23	47	NS1600N NW16H1 Micrologic	70	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	
1.250	1.760	6	29	59	NS2000N NW20N1 Micrologic	88	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	
1.600	2.253	6	38	75	NS2500N NW25H2 Micrologic	113	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	
2.000	2.816	6	47	94	NS3200N NW32H2 Micrologic	141	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	

Cálculo de la sección mínima: Conductores de tierra (PE) y neutro (N)

Conductor de conexión a tierra (PE)

Sección de conductores de fase S_{ph} (mm ²)	Sección del conductor PE		Sección del conductor PEN
	Cu	Al	
Método simplificado	≤ 16	≤ 16	$S_{PE} = S_{ph}^{(1)}$
		25	$S_{PE} = 16$
	25, 35	35	$S_{PEN} = S_{ph}$ con tamaño mínimo 10 mm ² para Cu, 16 mm ² para Al
	> 35	> 35	$S_{PEN} = \frac{S_{ph}}{2}$ a $S_{ph}^{(3)}$ con Mínimo 16 mm ² Cu, 25 mm ² Al

Conductor de neutro (N)

- Circuitos monofásicos o aquellos con sección ≤ 16 mm² (cobre) o ≤ 25 mm² (aluminio)

$$S_N = S_{ph}$$

- Circuitos trifásicos con sección > 16 mm² (cobre) o > 25 mm² (aluminio)

$$S_N = S_{ph}$$

La sección del conductor neutro puede ser más pequeña, siempre y cuando:

- La corriente en condiciones normales sea inferior a I_z (cuidado con los armónicos de orden 3)
- El conductor neutro esté protegido contra cortocircuitos
- El tamaño del conductor neutro sea como mínimo > 16 mm² (cobre) o > 25 mm² (aluminio)

Selección del cable y la protección

- Schneider Electric Calculation Tools

<https://ect.se.com/>

- Prysmian:

<https://es.prysmian.com/cableapp-calculo-seccion-cable-electrico-online>

- TopCable:

<https://www.topcable.com/blog-electric-cable/topmatic-app-calcula-la-seccion-de-cable-electrico/>

- Nexans:

<https://www.nexans.es/es/business/Building-and-Territories/Building/Fast-Installation/EasyCalc.html>

Software de Diseño



Asistencia al diseño y cálculo de:

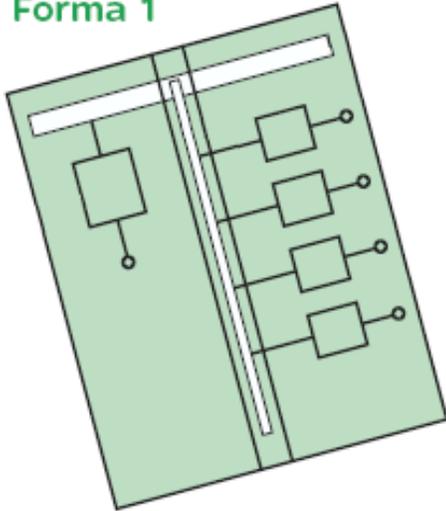
- Caídas de tensión $\Delta U(\%)$
- Intensidades de cortocircuito de cada línea
- Potencia de transformadores en cabecera
- Sección de cables
- Coordinación de protecciones
- Riesgo eléctrico



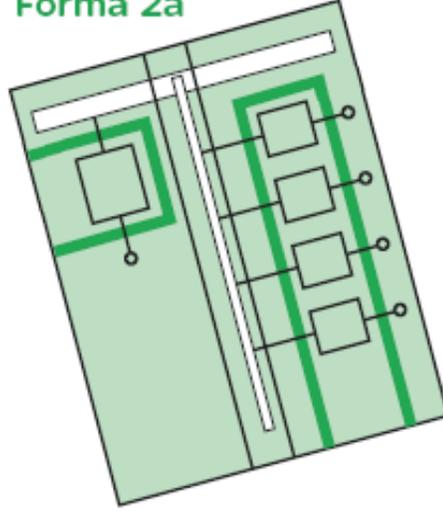
Tipos de aparamenta

Cuadros eléctricos: Compartimentación

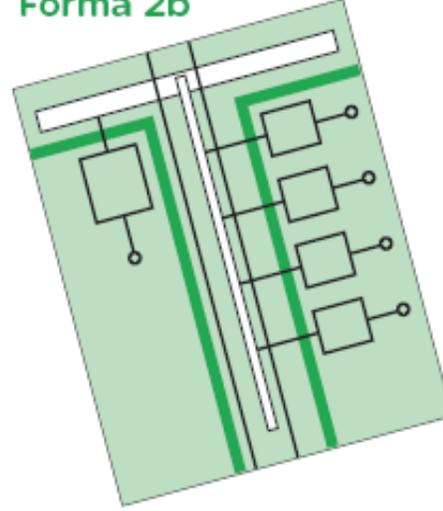
Forma 1



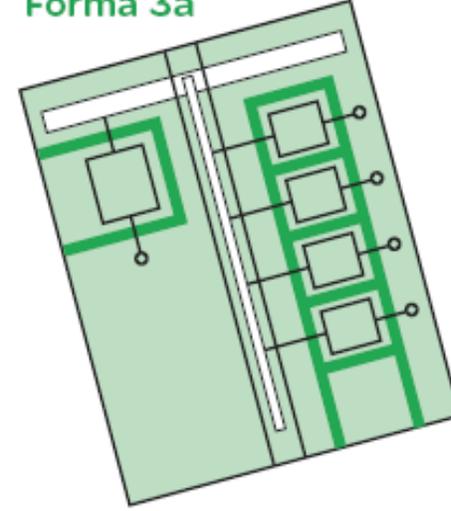
Forma 2a



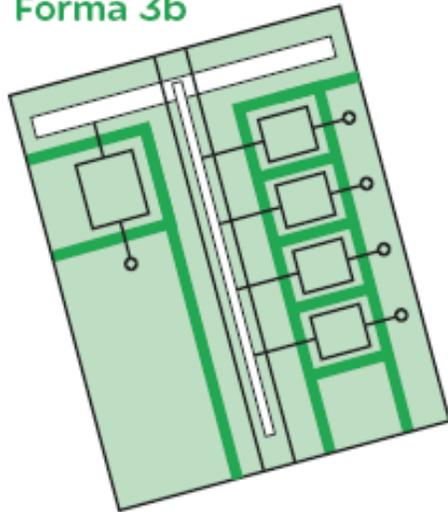
Forma 2b



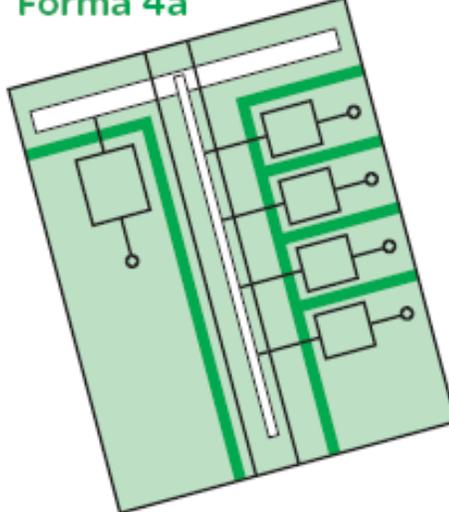
Forma 3a



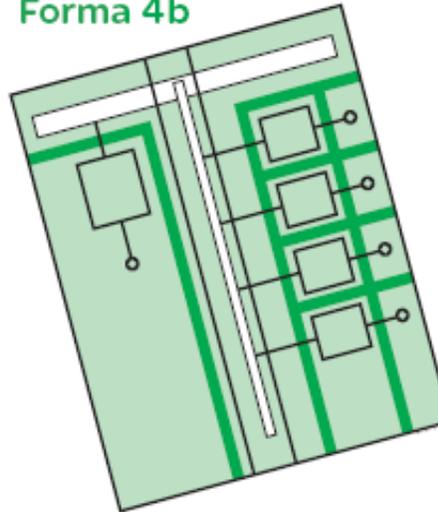
Forma 3b



Forma 4a



Forma 4b



Las unidades funcionales están separadas entre sí y de los juegos de barras.

Las bornas están separadas entre sí y de las unidades funcionales.

Cuadros eléctricos: Influencias externas

Código IP

Grado de protección que proporciona una envolvente contra la penetración de cuerpos sólidos y agua

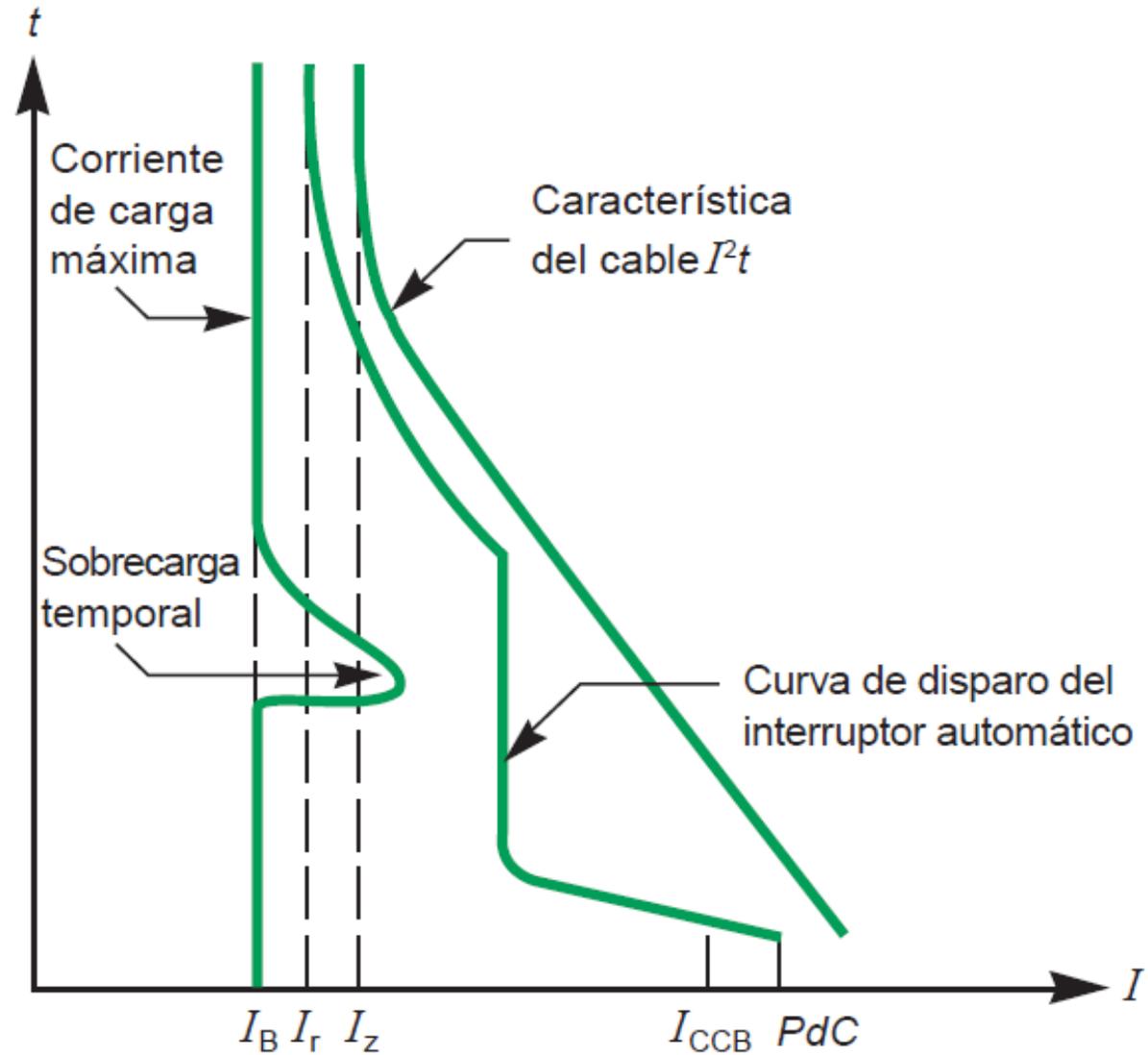
Código IK

Capacidad de la envolvente de resistir a los impactos

Código IK	Energía del impacto (en julios)	Código AG
00	0	
01	≤ 0,14	
02	≤ 0,20	AG1
03	≤ 0,35	
04	≤ 0,50	
05	≤ 0,70	
06	≤ 1	
07	≤ 2	AG2
08	≤ 5	AG3
09	≤ 10	
10	≤ 20	AG4

Elemento	Número o letra	Significado de la protección del equipo	Significado de la protección de personas
Cód. de letras	IP		
Primera cifra característica	0 1 2 3 4 5 6	Contra la entrada de cuerpos sólidos extraños (sin protección) ≥ 50 mm de diámetro ≥ 12,5 mm de diámetro ≥ 2,5 mm de diámetro ≥ 1,0 mm de diámetro Protección contra el polvo Estanco al polvo	Contra la entrada a las partes peligrosas con (sin protección) Dorso de la mano Dedos Herramientas Cables Cables Cables
Segunda cifra característica	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Contra la entrada de agua con efectos nocivos (sin protección) Flujo vertical Flujo (15° inclinado) Pulverización Salpicado Chorro Chorro potente Inmersión temporal Inmersión continuada	
Letra adicional (opcional)	A B C D		Contra la entrada a las partes peligrosas con Dorso de la mano Dedos Herramientas 2,5 mm ∅ Hilos
Letra adicional (opcional)	H M S W	Información adicional específica de: Aparato de alta tensión Movimiento durante ensayo de agua Fijo durante ensayo de agua Condiciones ambientales	

Niveles de corriente



Aparamenta de BT

Funciones básicas de la aparamenta de BT

- **Protección eléctrica**

OBJETIVO: evitar o limitar las consecuencias nocivas de las corrientes excesivas (sobrecargas, cortocircuitos o defectos eléctricos) y separar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se realiza una distinción entre:

- Protección de circuitos
- Protección de personas y animales
- Protección de equipos y dispositivos suministrados por la instalación

- **Aislamiento eléctrico de las secciones de una instalación**

OBJETIVO: separar un circuito, aparato o un elemento de una planta del resto del sistema, permitiendo la utilización del resto de la instalación de manera segura.

Un dispositivo de aislamiento debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Todos los polos del circuito deben estar abiertos
- Disponer de un medio de apertura/cierre mediante una llave (Evitar conexiones no autorizadas)
- Cumplir la norma IEC 60947-3 o equivalente

Aparamenta de BT

Además:

- Debe poder verificarse que los contactos del dispositivo de aislamiento están abiertos.
- Con el dispositivo de aislamiento abierto, las corrientes de fuga entre los contactos abiertos de cada fase no deben ser superiores a:
 - 0,5 mA para un dispositivo nuevo.
 - 6,0 mA al final de su vida útil.
- Debe disponer de capacidad de resistencia a sobretensiones a través de los contactos abiertos.
- **Control mediante la conmutación local o remota**

OBJETIVO: modificación de manera segura de un sistema de alimentación con carga a todos los niveles de la instalación.

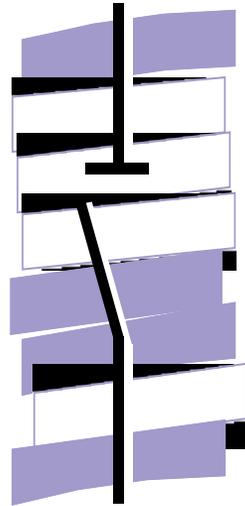
Existen 3 tipos diferentes de control:

- Control funcional → operaciones de conmutación en condiciones normales
- Control de emergencia → desconexión de un circuito que es o puede ser peligroso
- Control para realización de trabajos de mantenimiento

Aparamenta de BT

Dispositivos de conmutación elementales

Seccionador (o aislante)



Símbolo de un seccionador (o aislante)

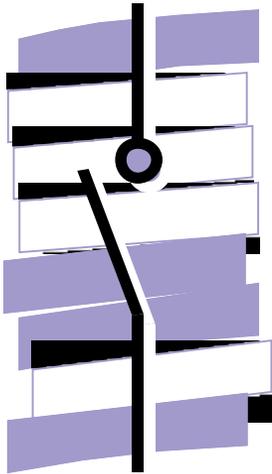
- Dispositivo de dos posiciones (abierto/cerrado)
- Accionado manualmente
- Debe ser capaz de resistir el paso de corrientes de cortocircuito
- Se le asigna una Intensidad de corta duración admisible

NO ESTÁ PENSADO
PARA ABRIR Y
CERRAR EL PASO
DE LA CORRIENTE

**ASEGURA EN POSICIÓN ABIERTO
LA FUNCIÓN DE SECCIONAMIENTO**

Aparamenta de BT

Interruptor en carga



Símbolo de un interruptor en carga

**CAPAZ DE ABRIR Y CERRAR CIRCUITOS
CARGADOS EN CONDICIONES NORMALES
(SIN DEFECTOS)**

- Dispositivo de dos posiciones (abierto/cerrado)
- Dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado)
- Accionado manualmente
- La norma CEI 60947-3 determina:
 - La máxima frecuencia de funcionamiento (600 ciclos OF/hora)
 - La endurance mecánica y eléctrica
 - El régimen de conexión/desconexión de corriente

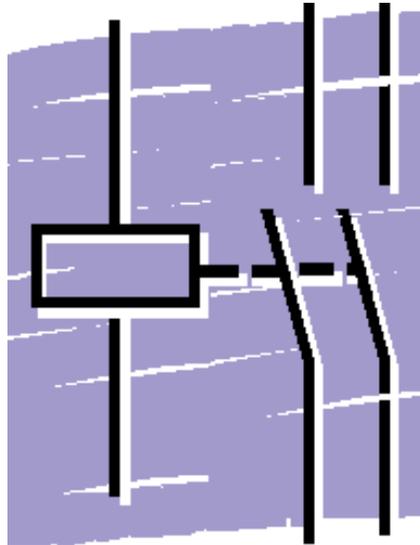


**NO PROPORCIONA
NINGUNA
PROTECCIÓN A LOS
CIRCUITOS QUE
CONTROLA**



Aparamenta de BT

Interruptor biestable (telerruptor)



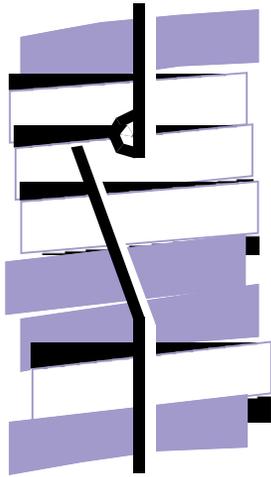
Símbolo de un interruptor biestable controlado de forma remota

- Dispositivo utilizado extensamente para el control de circuitos de iluminación
- Al presionar un pulsador abre un interruptor ya cerrado o cierra un interruptor previamente abierto en una secuencia biestable



Aparamenta de BT

Contactor



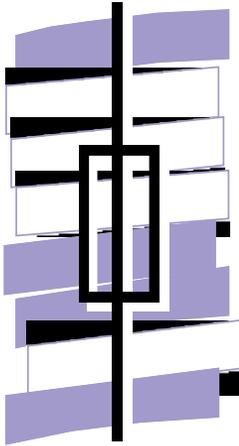
Símbolo de un contactor

- Diseñados para realizar numerosos ciclos de apertura/cierre
- Dispositivo de conmutación accionado por solenoide
- La norma CEI 60947-4-1 determina:
 - El máximo número de ciclos de funcionamiento



Aparamenta de BT

Fusible



Símbolo de un fusible

- Desconectan un circuito cuando la corriente supera un valor determinado durante un periodo de tiempo
- Nomenclatura:



- La primera letra indica el margen de corte
- La segunda letra indica la categoría de utilización

**DESCONECTAN UN CIRCUITO
MEDIANTE LA FUSIÓN CONTROLADA
DEL ELEMENTO FUSIBLE**

- gG: capacidad completa de corte para aplicaciones generales
- gM: capacidad completa de corte para protección de circuitos de motor
- aM: capacidad parcial de corte para protección de circuitos de motor



Aparamenta de BT

Elección de la aparamenta

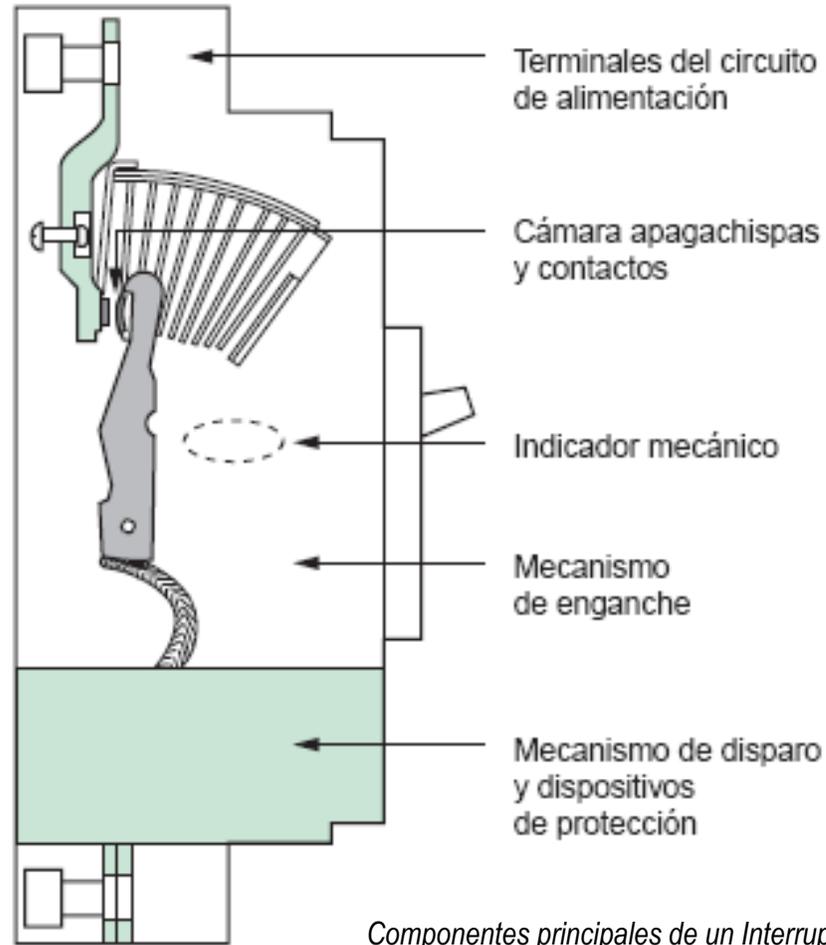
	Seccionador	Interruptor	Contactador	seccionador fusible	Interruptor automático	Interruptor fusible
Seccionamiento	■	■○		■	■○	■○
Mando		■	■		■○ (1)	■
Protección contra: - sobrecargas - cortocircuitos - tierra			○	■ ■	■ ■ ■	■ ■
Protección diferencial		○			■○	○ (2)
Señalización	○	○	○	○	○	○

■ = Función estándar
○ = Función opcional

(1) manual en estándar, automática en opción

(2) necesita el empleo de un interruptor con apertura automática

Interruptores Automáticos



Componentes principales de un Interruptor Automático

Interruptores Automáticos

Es la única aparatamenta capaz de satisfacer simultáneamente todas las funciones básicas necesarias en una instalación eléctrica.

Componentes principales:

- Componentes de corte
- Mecanismo de enganche
- Dispositivo accionador del mecanismo de disparo
- Espacio asignado a diversos tipos de bornes

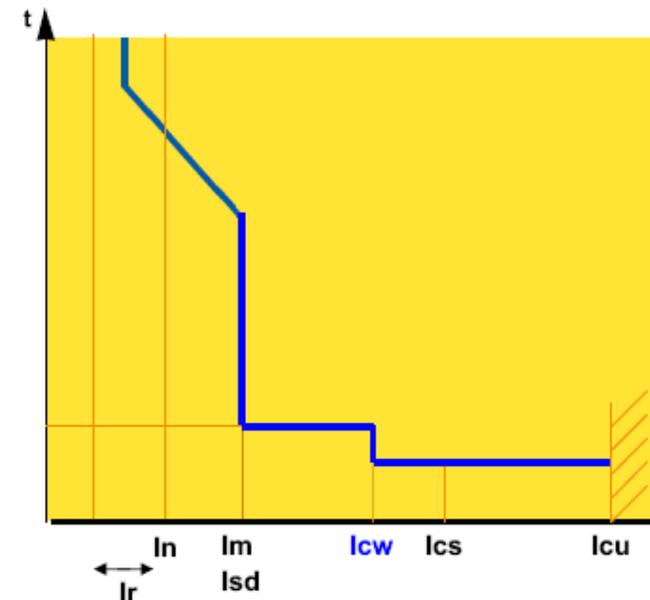
Interrupidores Automáticos

Características de un Interruptor Automático

- *Características fundamentales:*
 - Tensión asignada de empleo (U_e)
 - Corriente nominal (I_n)
 - Regulación de la protección contra sobrecargas (I_r)
 - Regulación de la protección contra cortocircuitos (I_m)
 - Poder de corte último (I_{cu})
- *Otras características:*
 - Tensión nominal de aislamiento (U_i)
 - Tensión nominal de resistencia a impulsos (U_{IMP})
 - Intensidad de corta duración admisible (I_{cw})
 - Poder de cierre (I_{cm})
 - Poder de corte en servicio (I_{cs})
 - Limitación de la corriente de defecto

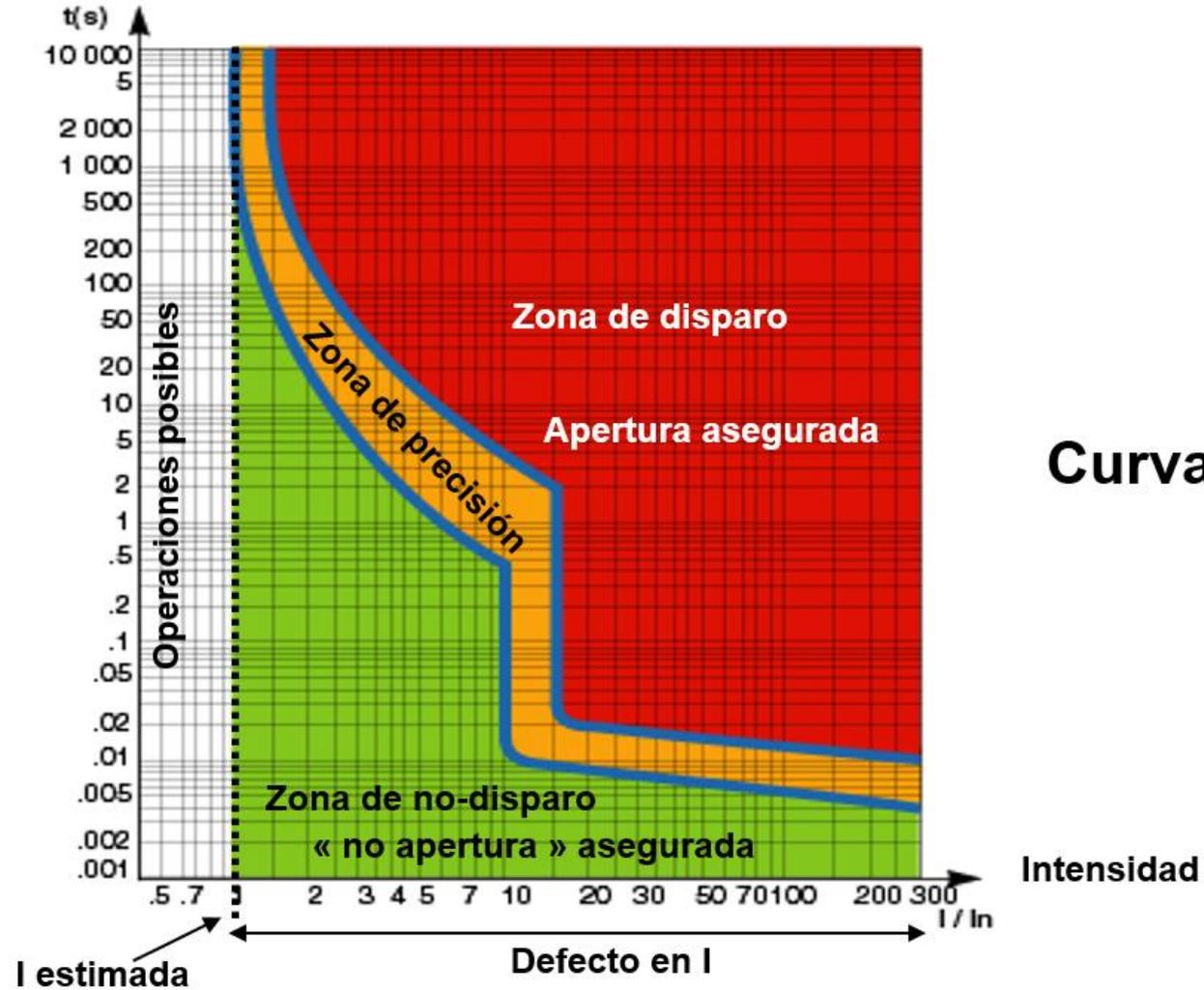


Masterpact	
NT10 H1	
U_i 1000V	U_{imp} 12kV
U_e (V)	I_{cu} (kA)
220/440 ~	42
480/690 ~	42
I_{cs} 100% I_{cu}	
I_{cw} 42kA/1s	cat.B
IEC 60947-2	50/60Hz
UTE VDE BS CEI	UNE AS NEMA



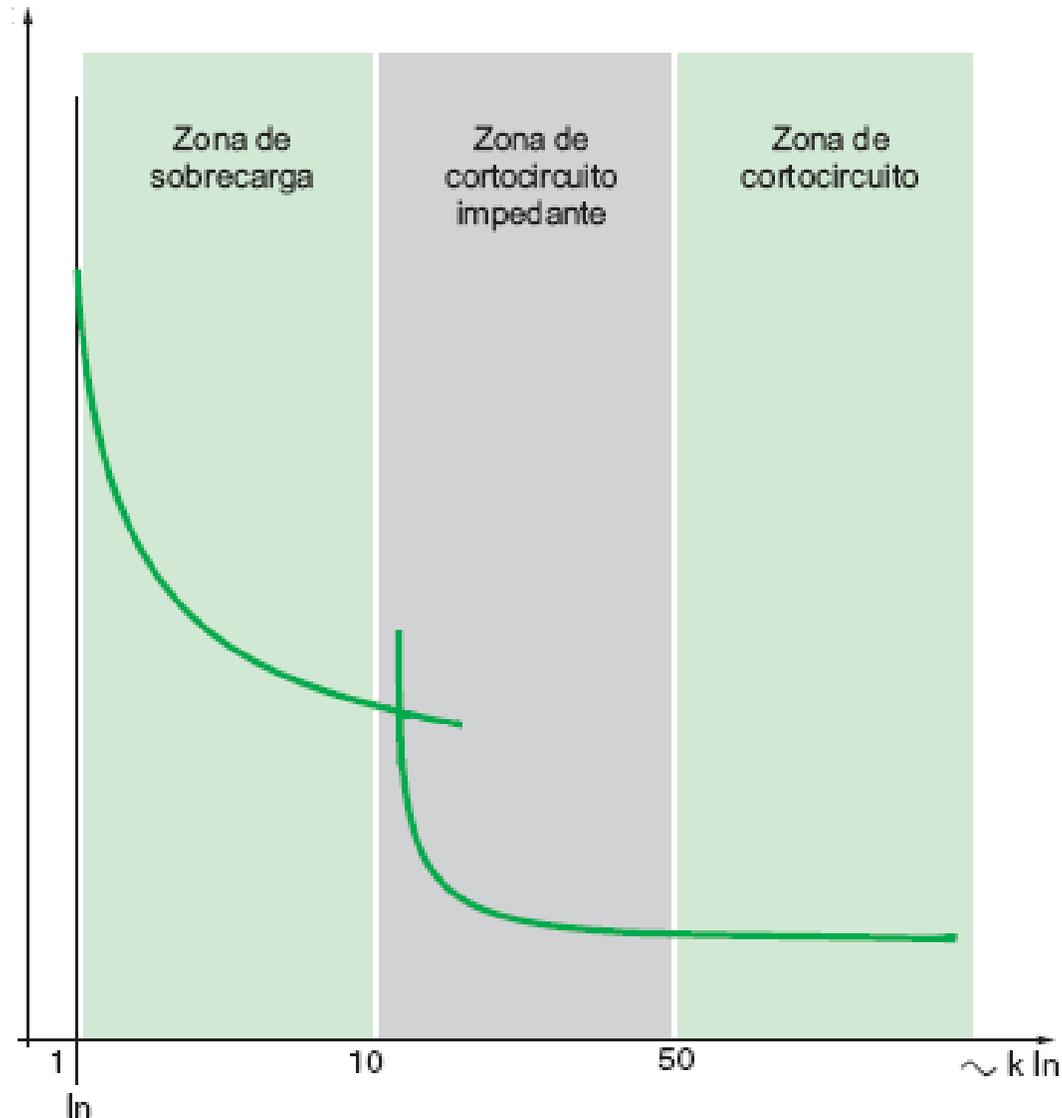
Interrupidores Automáticos

Tiempo de disparo



Curva de disparo

Interrupidores Automáticos



Curva de disparo

Sobrecarga ($I < 10I_n$)

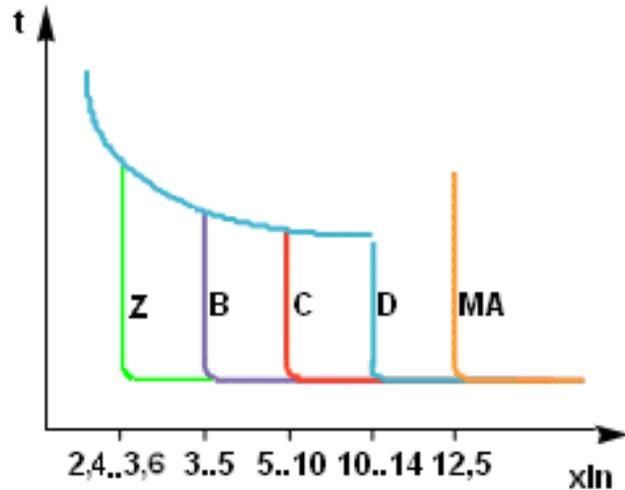
Cortocircuito impedante ($10I_n < I < 50I_n$)

Fundamentalmente causado por el deterioro de los aislantes.

Cortocircuito ($I > 50I_n$)

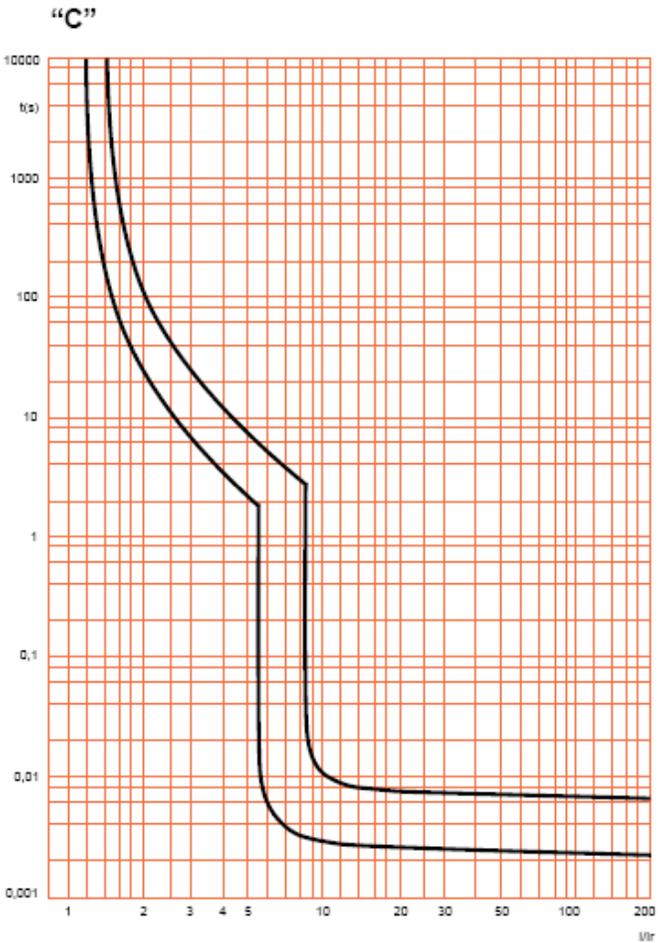
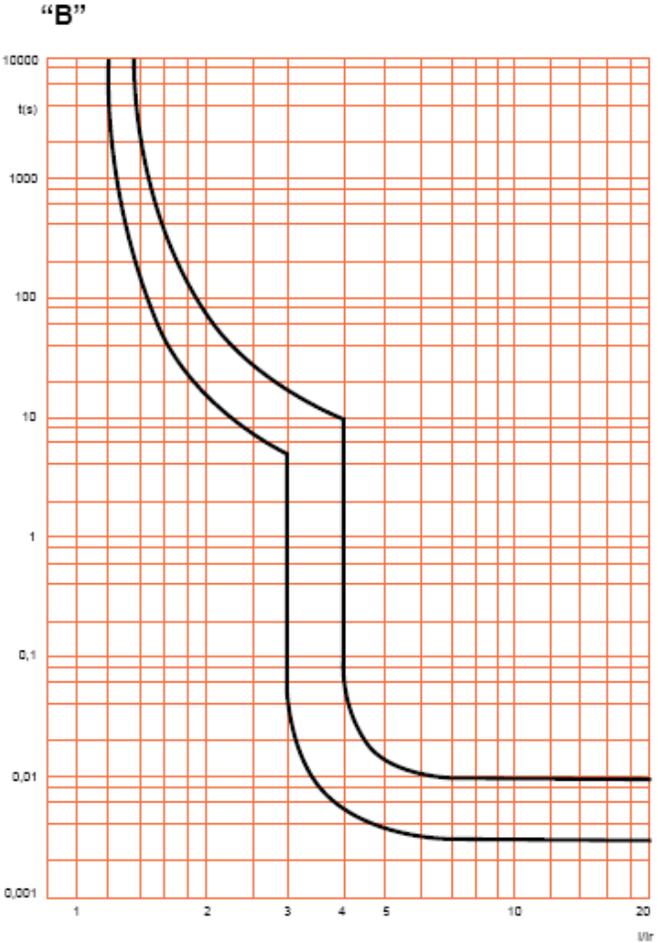
Poco común. Corresponde a un cortocircuito franco. Ejemplo: error de conexión en el transcurso de una operación de mantenimiento

Interrupidores Automáticos (Carril DIN)



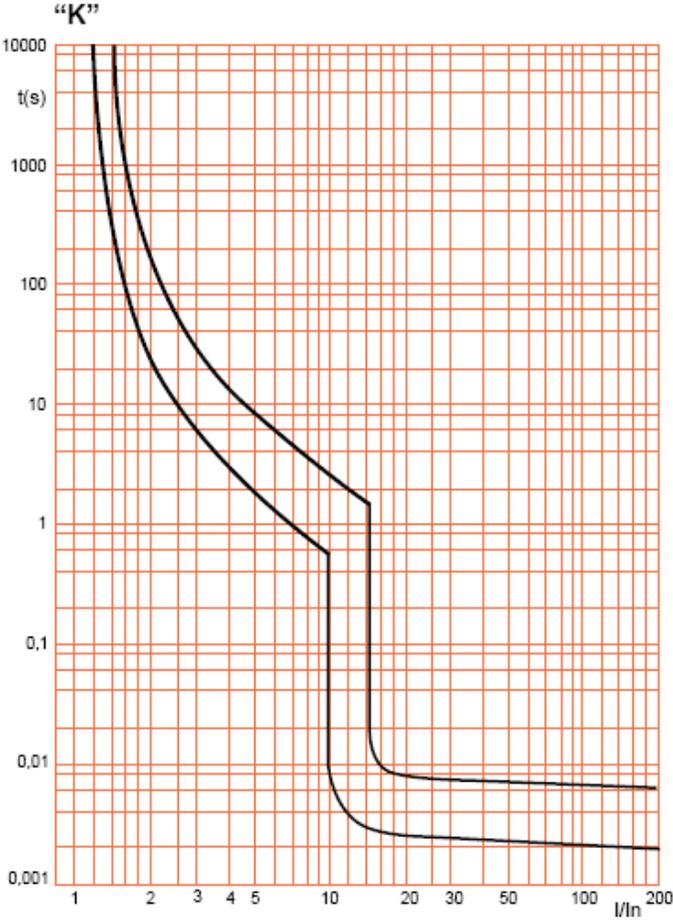
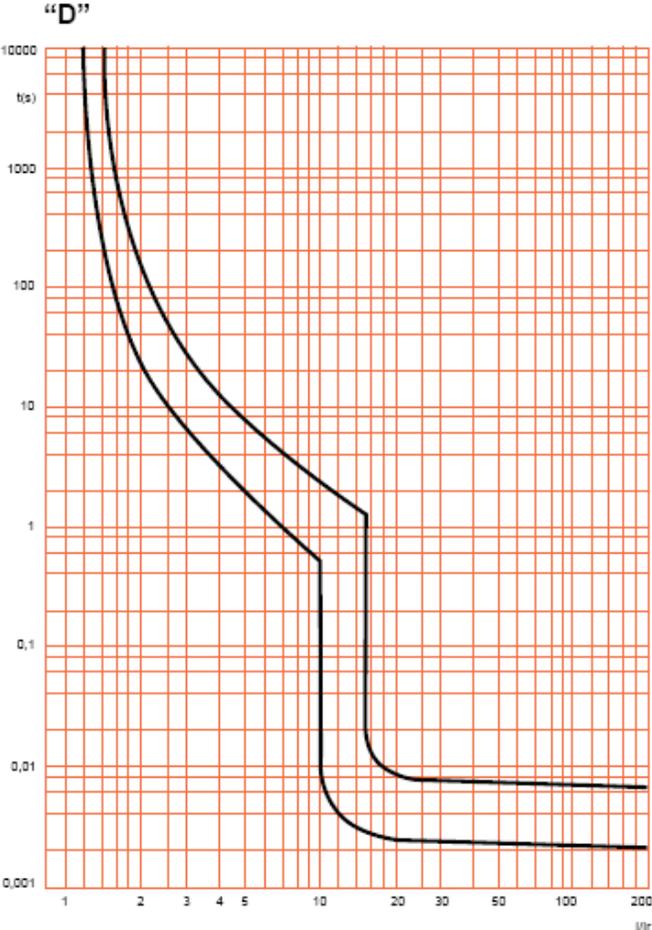
- **Curva B**
 □ Disparo: 3 a 5 veces la corriente nominal (I_n); protección de los generadores, personas, cables de gran longitud; no hay puntas de corriente
- **Curva C**
 □ Disparo: 5 a 10 I_n ; protección de los circuitos (alumbrado, tomas de corriente); aplicaciones generales
- **Curvas D y K**
 □ Disparo: 10 a 14 I_n ; protección de cables alimentando receptores con fuertes puntas de arranque; transformadores, motores.
- **Curva Z**
 □ Disparo: 2,4 a 3,6 I_n ; protección de los circuitos electrónicos
- **Curva MA**
 □ Disparo: 12 I_n ; protección de arranque de motores y aplicaciones específicas (no hay protección térmica)

Interruptores Automáticos (Carril DIN)



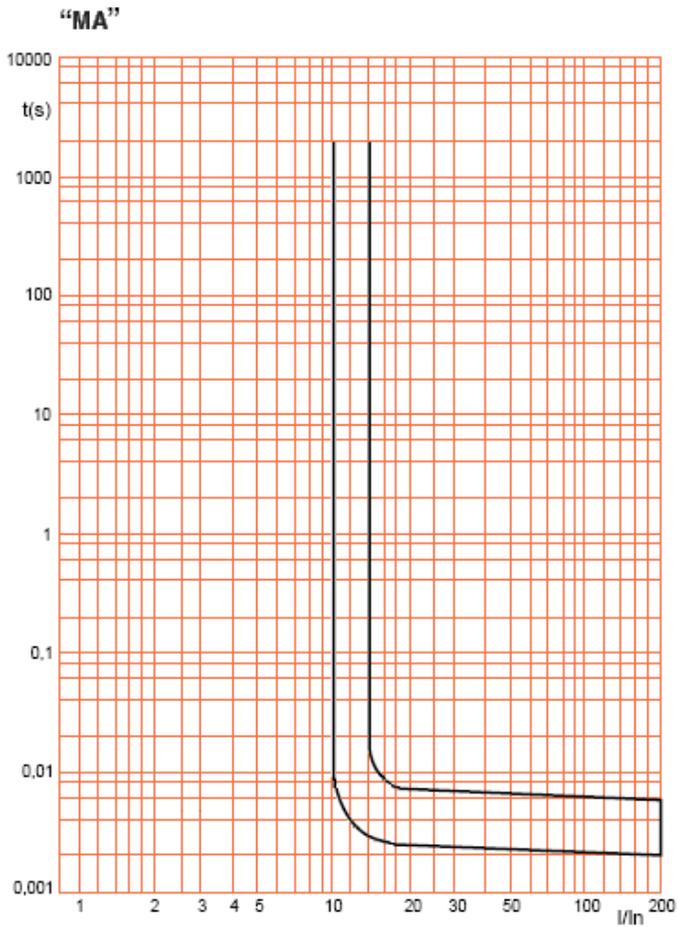
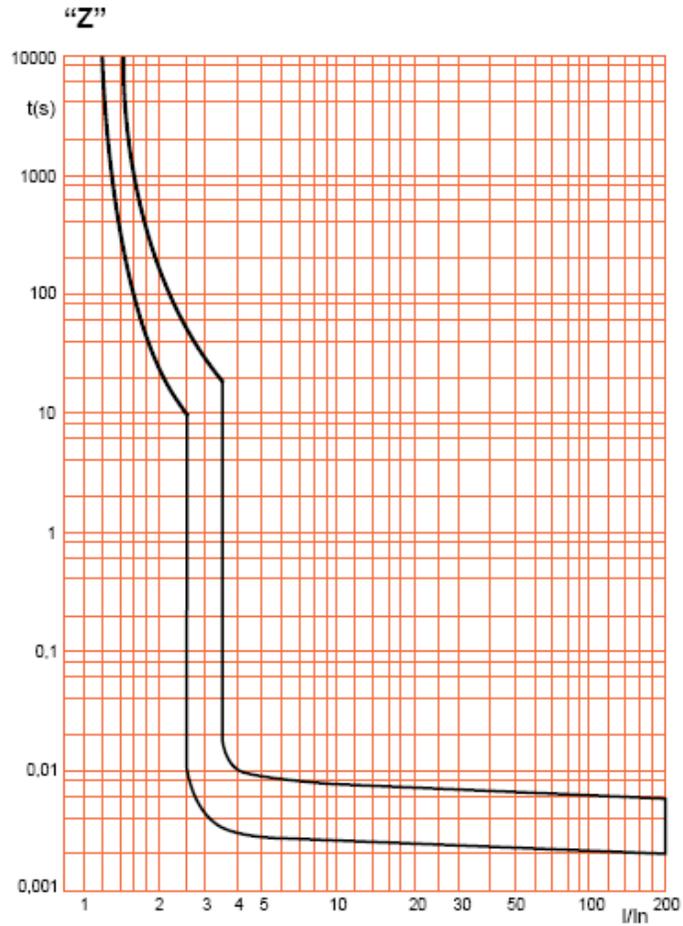
Curva de disparo

Interruptores Automáticos (Carril DIN)



Curva de disparo

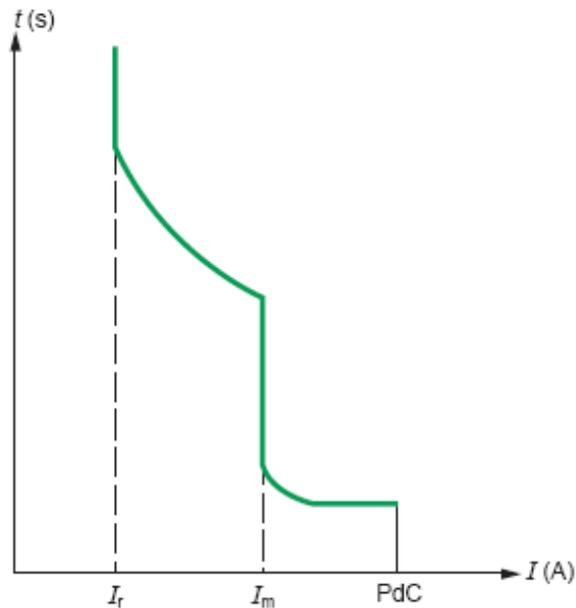
Interruptores Automáticos (Carril DIN)



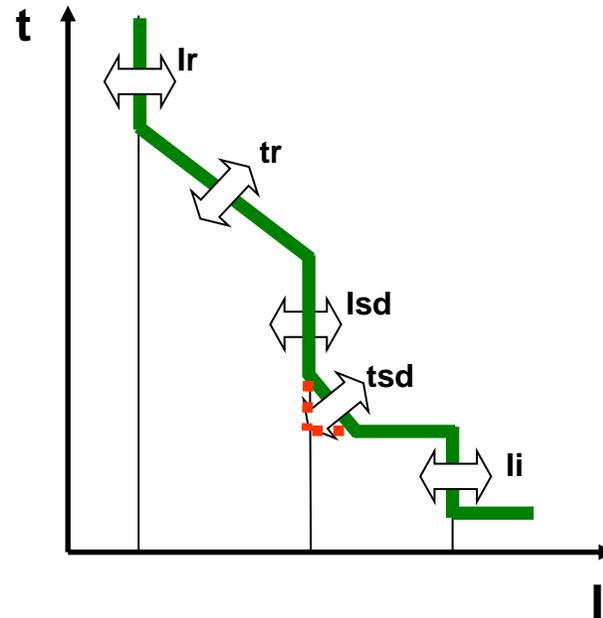
Curva de disparo

Interrupidores Automáticos

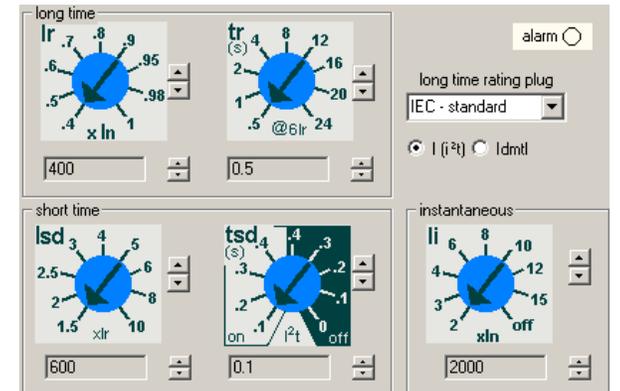
- Regulación de la protección contra sobrecargas (I_r)
- Regulación de la protección contra cortocircuitos (I_m o I_{sd})
- Poder de corte último (I_{cu}) y poder de corte asignado en servicio (I_{cs})



Curva de disparo de un interruptor automático con protección magnetotérmica



Curva de disparo de un interruptor automático con protección electrónica



Interruptores Automáticos

Selección de un interruptor automático

Se debe tener en cuenta:

- Características eléctricas de la instalación
- Su entorno previsto (temperatura, condiciones climáticas,...)
- Requisitos de conexión y desconexión de la corriente de cortocircuito
- Especificaciones operativas (disparo selectivo, control remoto, contactos,...)
- Normas de la instalación (protección de personas)
- Características de carga (motores, iluminación, transformadores,...)

USO DOMÉSTICO

UNE-EN 60898-1

USO INDUSTRIAL

UNE-EN 60947-2



Interruptores Automáticos

Selección de un interruptor automático



Acti 9



Multi 9

1-125 A

Carril DIN



Compact NSXm

16-160 A



Compact NSX

16-630 A

Caja Moldeada



Compact NS

630-3200 A



Masterpact MTZ

630-6300 A

Bastidor Abierto

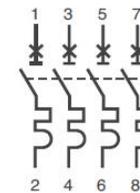
Selección de un interruptor automático Carril DIN

Guía de selección

Interruptores automáticos

Tipo	iC60N	iC60H			
Norma	UNE-EN 60947-2, 60898-1	UNE-EN 60947-2, 60898-1			
Número de polos	1P, 1P+N 2, 3, 4P	1P, 1P+N 2, 3, 4P			
Dispositivo de corriente residual adicional (Vigi)	•	•			
Auxiliares para indicación y disparo remotos	•	•			
Características eléctricas					
Curvas	B, C, D	B, C, D			
Calibre (A)	In 0,5 a 63	0,5 a 63			
Tensión de empleo máxima (V)	Ue máx. CA (50/60 Hz) 440 CC 250	440 250			
Tensión de empleo mínima (V)	Ue mín. CA (50/60 Hz) 12 CC 12	12 12			
Tensión asignada de aislamiento (V CA)	Ui 500	500			
Tensión asignada impulsional (kV)	Uimp 6	6			
Poder de corte					
Poder de corte de CA					
UNE-EN 60947-2 (kA)	Ue (50/60 Hz)	F/N	F/F	F/N	F/F
Icu	12...60 V	50 (0,5 a 4 A) 36 (6 a 63 A)	-	70 (0,5 a 4 A) 42 (6 a 63 A)	-
	12...133 V	-	50 (0,5 a 4 A) 36 (6 a 63 A)	-	70 (0,5 a 4 A) 42 (6 a 63 A)
	100...133 V	50 (0,5 a 4 A) 20 (6 a 63 A)	-	70 (0,5 a 4 A) 30 (6 a 63 A)	-
	220...240 V	50 (0,5 a 4 A) 10 (6 a 63 A)	50 (0,5 a 4 A) 20 (6 a 63 A)	70 (0,5 a 4 A) 15 (6 a 63 A)	70 (0,5 a 4 A) 30 (6 a 63 A)
	380...415 V	-	50 (0,5 a 4 A) 10 (6 a 63 A)	-	70 (0,5 a 4 A) 15 (6 a 63 A)
	440 V	-	25 (0,5 a 4 A) 6 (6 a 63 A)	-	50 (0,5 a 4 A) 10 (6 a 63 A)
Ics		100% de Icu (0,5 a 4 A) 75% de Icu (6 a 63 A)		100% de Icu (0,5 a 4 A) 75% de Icu (6 a 63 A)	

Interruptores automáticos 4P



iC60N - 4P

50 kA (0,5 a 4 A)
10 kA (6 a 63 A)

iC60H - 4P

70 kA (0,5 a 4 A)
15 kA (6 a 63 A)

ancho	calibre (A)	curva C	curva B	curva D	curva C	curva B	curva D
8 pasos de 9 mm	0,5	A9F74470	-	-	-	-	-
	1	A9F74401	-	A9F75401	A9F84401	-	-
	1,6	-	-	-	-	-	-
	2	A9F74402	A9F73402	A9F75402	A9F84402	-	-
	3	A9F74403	A9F73403	A9F75403	A9F84403	-	-
	4	A9F74404	A9F73404	A9F75404	A9F84404	-	-
	6	A9F79406	A9F78406	A9F75406	A9F89406	A9F88406	A9F85406
	10	A9F79410	A9F78410	A9F75410	A9F89410	A9F88410	A9F85410
	16	A9F79416	A9F78416	A9F75416	A9F89416	A9F88416	A9F85416
	20	A9F79420	A9F78420	A9F75420	A9F89420	A9F88420	A9F85420
	25	A9F79425	A9F78425	A9F75425	A9F89425	A9F88425	A9F85425
	32	A9F79432	A9F78432	A9F75432	A9F89432	A9F88432	A9F85432
	40	A9F79440	A9F78440	A9F75440	A9F89440	A9F88440	A9F85440
	50	A9F79450	A9F78450	A9F75450	A9F89450	A9F88450	A9F85450
63	A9F79463	A9F78463	A9F75463	A9F89463	A9F88463	A9F85463	

Selección de un interruptor automático Caja Moldeada

Interruptores automáticos				NSX100						NSX160														
Tipo de poder de corte				F	N	H	S	L	R	HB1 ⁽⁴⁾	HB2	F	N	H	S	L								
Características eléctricas según IEC 60947-2																								
Corriente nominal (A)		I_n	40 °C	100					100			160												
Número de polos				2 ⁽⁵⁾ , 3, 4					2 ⁽⁵⁾ , 3, 4			2 ⁽⁵⁾ , 3, 4												
Poder de corte último (kA rms)				I_{cu}	AC 50/60 Hz	220/240 V	380/415 V	440 V	500 V	525 V	660/690 V	85	90	100	120	150	200	-	-	85	90	100	120	150
Poder de corte en servicio (kA rms)				I_{cs}	AC 50/60 Hz	220/240 V	380/415 V	440 V	500 V	525 V	660/690 V	85	90	100	120	150	200	-	-	85	90	100	120	150
Endurancia (ciclos C-A)					Mecánica						50.000					20.000			40.000					
					Eléctrica	440 V	$I_n/2$				50.000					20.000			40.000					
						690 V	$I_n/2$				20.000					10.000			15.000					
							I_n				10.000					5.000			7.500					

Compact NSXm up to 160 A		Compact NSX up to 250 A		Compact NSX up to 630 A					
TM-D distribution	Micrologic 4.1 Distribution and earth leakage protection	MA Distribution and motors	TM-D distribution TM-G generators	Micrologic 2 and 1.3 1.3 M Motors (1 only) 2.2/2.3 A Distribution 2.2/2.3 AB Service connection (public distribution) 2.2 G Generators 2.2/2.3 M Motors	Micrologic 4 4.2/4.3 Distribution and earth leakage protection 4.2/4.3 AB Service connection (public distribution) 4.2/4.3 AL	Micrologic 5 / 6 A 5.2/5.3/6.2/6.3 A Distribution and generators 5.2/5.3 A-Z 16Hz 2/3 networks	Micrologic 5 / 6 E 5.2/5.3/6.2/6.3 E Distribution and generators 6.2/6.3 E-M Motors	Micrologic 7 E 7.2/7.3 E Distribution and earth leakage protection 7.2/7.3 E AL	

Selección de un interruptor automático Bastidor Abierto

Characteristics

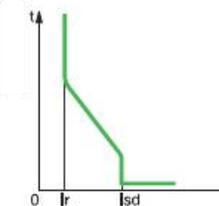
MasterPact MTZ1

From 630 to 1600 A

Circuit breaker as per IEC/EN 60947-2

MasterPact			06	08	10	12	16		
Rated current at 40/50 °C ^[1]	I_n (A)		630	800	1000	1250	1600		
Sensor ratings	(A)		400 to 630	400 to 800	400 to 1000	630 to 1250	800 to 1600		
MasterPact			06 to 10				12 to 16		
Type			H1	H2	H3 ^[7]	L1 ^[2]	H1	H2	H3 ^[7]
Ultimate breaking capacity V AC 50/60 Hz	I_{cu} (kA rms)	220/415 V	42	50	66	150	42	50	66
		440 V	42	50	66	130	42	50	66
		500/525 V	42	42	-	100	42	42	-
		660/690 V	42	42	-	-	42	42	-
		1150 V	-	-	-	-	-	-	-
Rated service breaking capacity	I_{cs} (kA rms)	% I_{cu}	100	100	75 ^[4]	100	100	100	75 ^[4]
Selectivity category ^[3]			B	B	B	A	B	B	B
Rated short-time withstand current V AC 50/60 Hz	I_{cw} (kA rms)	0.5 s	42	42	50	10	42	42	50
		1 s	42	42	50	-	42	42	50
		3 s	24	24	30	-	24	24	30
Rated making capacity V AC 50/60 Hz	I_{cm} (kA)	220/415 V	88	105	145	330	88	105	145
		440 V	88	105	145	286	88	105	145
		500/525 V	88	88	-	220	88	88	-
		660/690 V	88	88	-	52	88	88	-
		1150 V	-	-	-	-	-	-	-
Integrated instantaneous protection (DIN kA instantaneous $\pm 10\%$) ^[3]			-	90	110	10 x I_n	-	90	105
Break time between tripping order and arc extinction	(ms)		25	25	25	9	25	25	25
Closing time	(ms)		< 50				< 50		

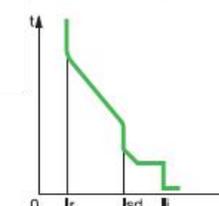
... MicroLogic 2.0 X



LI: Long-time
+ Instantaneous



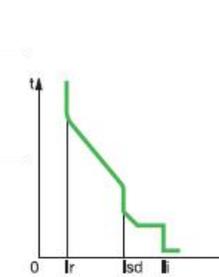
... MicroLogic 5.0 X



LSI: Long-time
+ Short-time
+ Instantaneous



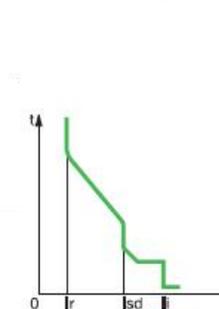
... MicroLogic 6.0 X



LSIG: Long-time
+ Short-time
+ Instantaneous
+ Earth fault



... MicroLogic 7.0 X

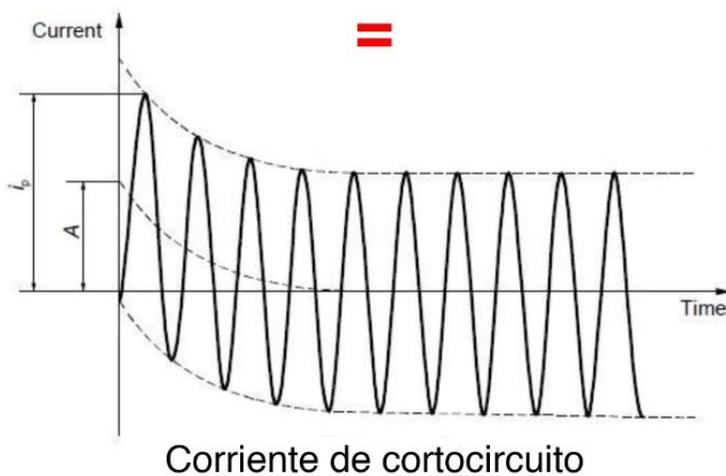
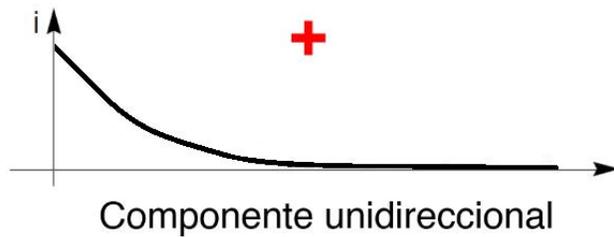
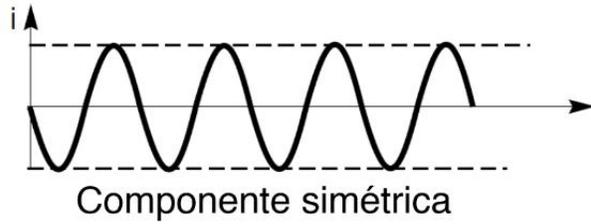


LSIV: Long-time
+ Short-time
+ Instantaneous
+ Earth leakage



Interrupidores Automáticos

Selección de un interruptor automático



Instalación:

Valor eficaz de la componente simétrica (I_k)

Intensidad de pico (I_p) $(\sqrt{2} \cdot I_k < I_p < 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k)$

Interruptor automático:

Poder de corte último (I_{cu})

Poder de cierre (I_{cm})

Criterio de selección:

- 1.- $I_{cu} > I_k$
- 2.- $I_{cm} > I_p$

Interrupedores Automáticos

Desclasificación por temperatura

C60H: curva C. C60N: curvas B y C (temperatura de referencia: 30 °C)

Especific. (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2

NS250N/H/L (temperatura de referencia: 40 °C)

Especific. (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

Entorno previsto (temperatura, condiciones climáticas,...)

**IMPORTANTES
EFECTOS DE LA
TEMPERATURA**



Interruptores Automáticos

Desclasificación por frecuencia

Debido a una frecuencia mayor, los interruptores automáticos están sujetos a un aumento adicional de la temperatura para niveles de corriente idénticos, lo que produce mayores pérdidas provocadas por las corrientes de Foucault y un aumento del efecto pelicular (reducción en la sección útil de los conductores).

Para mantenerse dentro de los límites de aumento de temperatura de estos aparatos, es necesaria una reducción de la corriente.



Unidades de control electrónicas Micrologic

Reducción térmica: ajuste de I_r máximo

Interruptor automático	Coefficiente de ajuste máximo	Ajuste I _r máx. a 400 Hz
NSX100N	1	100
NSX250N	0,8	225
NSX400N	0,8	320
NSX630N	0,8	500

Unidades de control equipadas con protección magnetotérmica

Las regulaciones de corriente de 400 Hz se obtienen multiplicando los valores de 50 Hz por el siguiente coeficiente de adaptación:

- K1 para unidades de control térmicas
- K2 para unidades de control magnéticas.

Estos coeficientes son independientes del ajuste de la unidad de control.

Coefficientes de adaptación para unidades de control magnetotérmicas

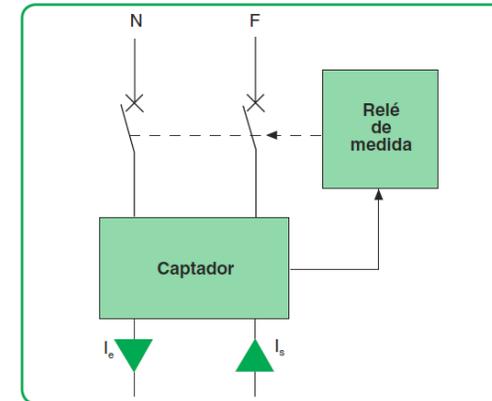
Interruptor automático	Unidad de control	I _n (A) 50 Hz	Térmica a 40°C		I _m (A) 50 Hz	Magnética	
			K1	400 Hz		K2	400 Hz
NSX100	TM16G	16	0,95	15	63	1,6	100
	TM25G	25	0,95	24	80	1,6	130
	TM40G	40	0,95	38	80	1,6	130
	TM63G	63	0,95	60	125	1,6	200
NSX100	TM16D	16	0,95	15	240	1,6	300
	TM25D	25	0,95	24	300	1,6	480
	TM40D	40	0,95	38	500	1,6	800
	TM63D	63	0,95	60	500	1,6	800
	TM80D	80	0,9	72	650	1,6	900
	TM100D	100	0,9	90	800	1,6	900
NSX250	TM100D	100	0,9	90	800	1,6	900
	TM160D	160	0,9	144	1.250	1,6	2.000
	TM200D	200	0,9	180	1.000 a 2.000	1,6	1.600 a 3.200
	TM250D	250	0,9	225	1.250 a 2.500	1,6	2.000 a 4.000

Interruptores Diferenciales (DDR)

Objetivos de la protección diferencial

- **Proteger las personas** contra los choques eléctricos debidos a contactos directos e indirectos.
- **Proteger las instalaciones y los receptores** contra los riesgos de incendio, explosión y daños adicionales
- La protección tendrá que velar siempre por la **seguridad** y la **continuidad de servicio** mediante:
 - La elección del **régimen de neutro** más adecuado
 - La selección de los tipos de **protección activos y pasivos** adecuados para cada régimen de neutro
 - La selección de las **características del dispositivo diferencial** que se adapte a cada tipo de instalación:

Clase	Retardo
Sensibilidad	Calibre



Interruptores Diferenciales (DDR)

Interruptores diferenciales



Interruptores automáticos con DDR integrado



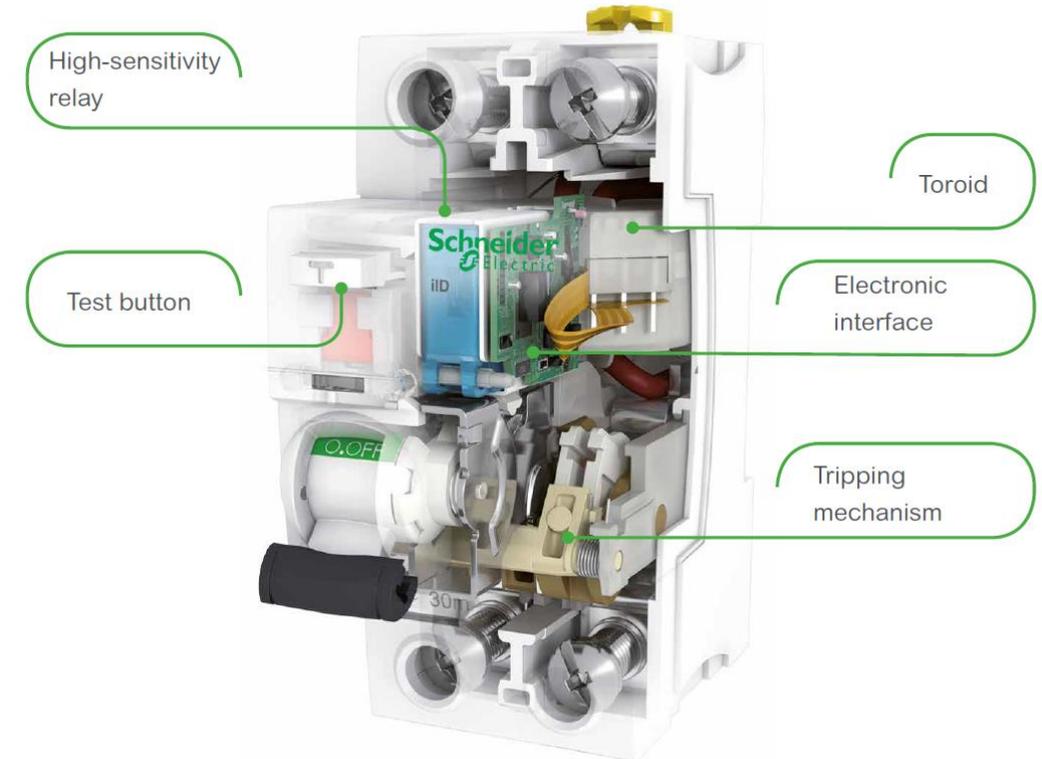
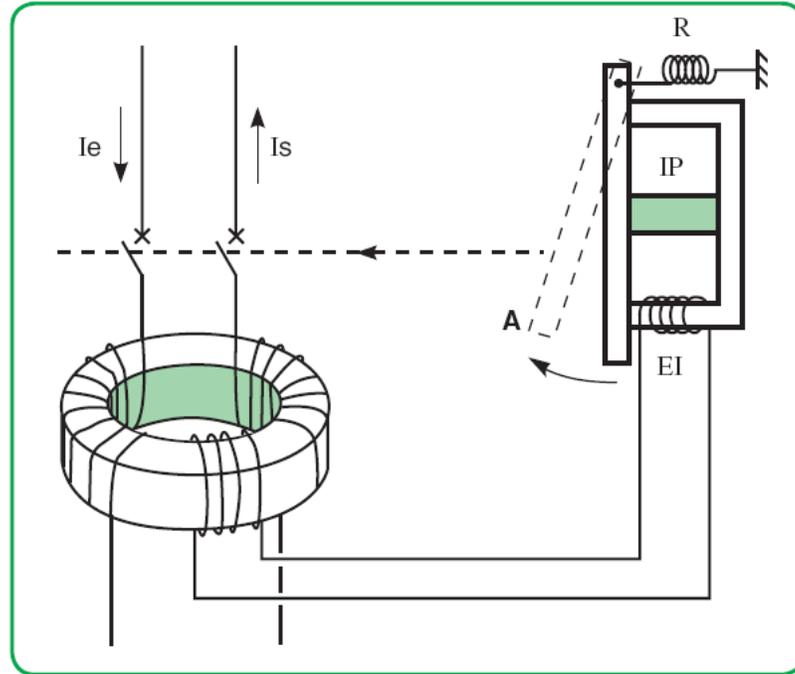
DDR con toroidal separado



**Tipos de
Dispositivos
Diferenciales
Residuales**

Interruptores Diferenciales (DDR)

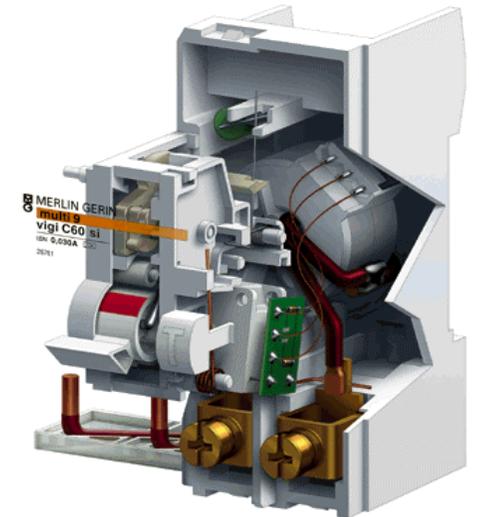
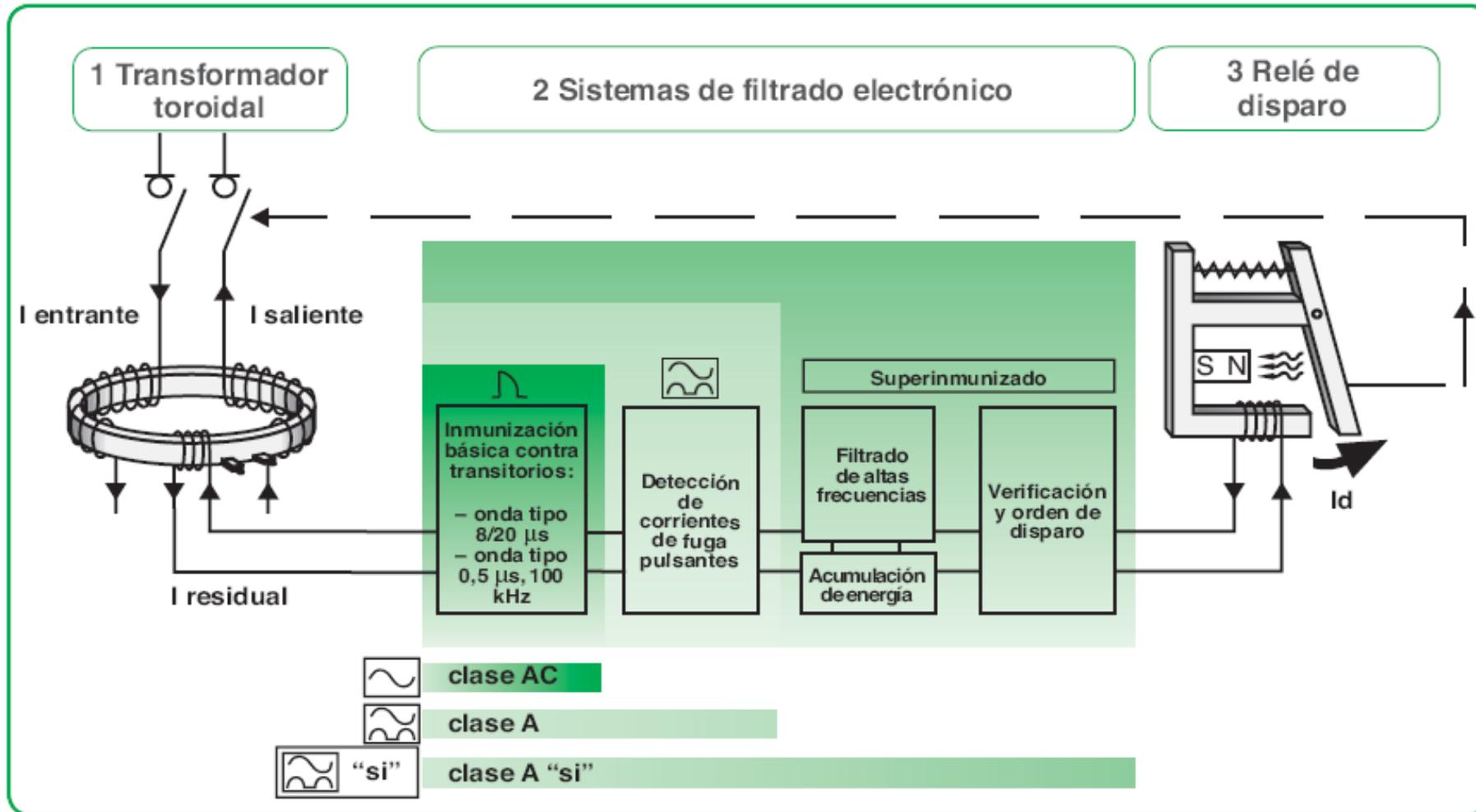
Principio de funcionamiento de un DDR



- En un circuito en buen estado $I_1 + I_2 = 0$ y no habrá flujo en el núcleo magnético.
- Una corriente de defecto suministra la energía a un electroimán (EI) que anula la atracción de un imán permanente (IP) y provoca la orden mecánica de disparo del dispositivo.

Interruptores Diferenciales (DDR)

Protección diferencial Clase A y A "si"



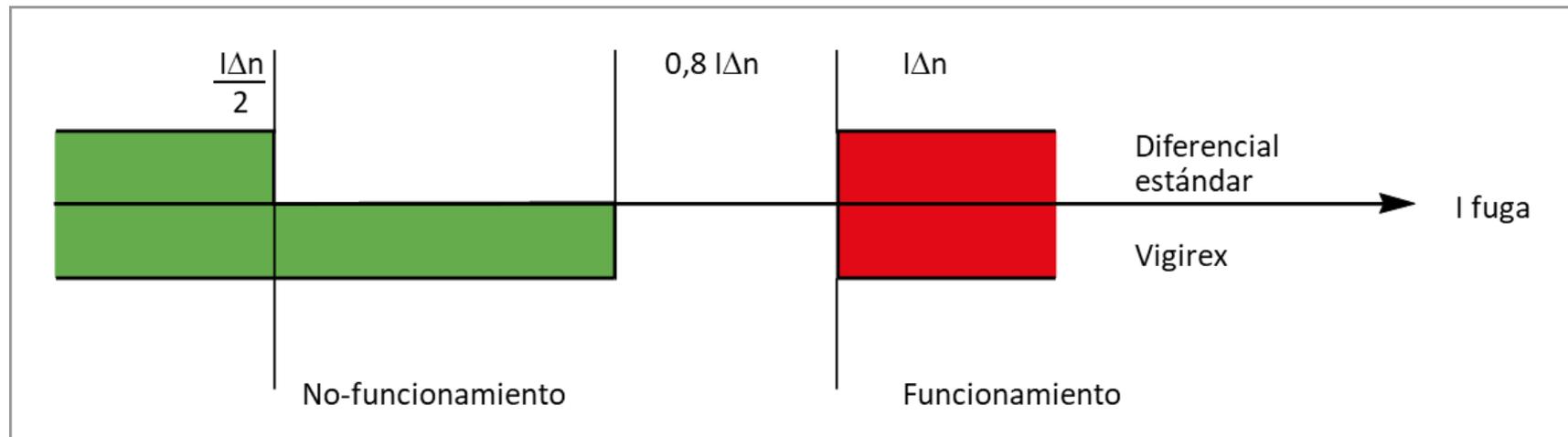
Interruptores Diferenciales (DDR)

Gama superinmunizada “si”

Tolerancia reducida

Por exigencias de la norma, los DDR tienen una corriente de no funcionamiento de 50 % $I_{\Delta n}$ y una corriente de funcionamiento de 100 % $I_{\Delta n}$.

En las gamas “si”, la corriente de no funcionamiento es el 80%.



Interruptores Diferenciales (DDR)

Capacidad para soportar entornos hostiles ↑

Disparo asegurado como para el Tipo A. Se evita disparo intempestivo en caso de:

- perturbaciones electromagnéticas,
- pico de corriente (iluminación)



Tipo A-SI

Por diseño, incluso el Tipo A-SI puede proteger las cargas Tipo F



Tipo B-SI

Interruptores Diferenciales (DDR)

Disparo asegurado para:
Cargas lineales
(iluminación, calentador...)



Tipo AC

Disparo asegurado para el Tipo AC y:

- dispositivos con rectificador, transformador de tensión (dispositivos electrónicos, cocina inducción,...)



Tipo A

Diferenciales Tipo F (corrientes de frecuencias hasta 1000 Hz):

- dispositivos con variador de velocidad monofásico (bomba de calor, aire acond. "inverter", lavadora con variador)
- convertidores frecuencia



Tipo F

Disparo asegurado para el Tipo A/F y:

- variadores de velocidad trifásico para motores asíncronos
- AC/DC inversores (cargadores VE, sistema fotovoltaico)



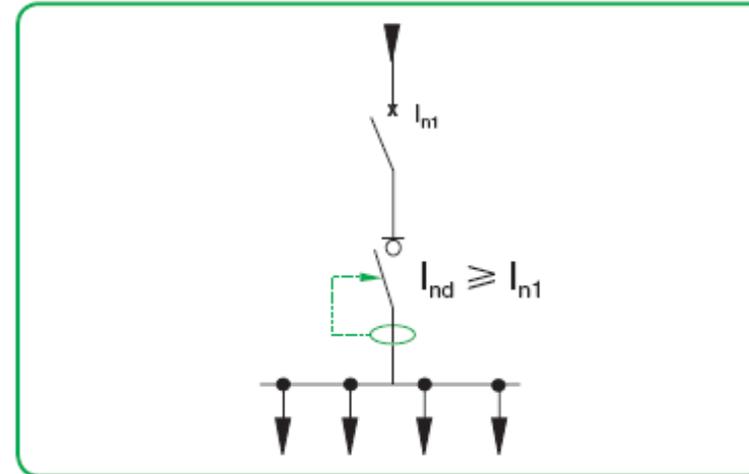
Tipo B

Capacidad para detectar fugas a tierra según el tipo de carga según las normas IEC →

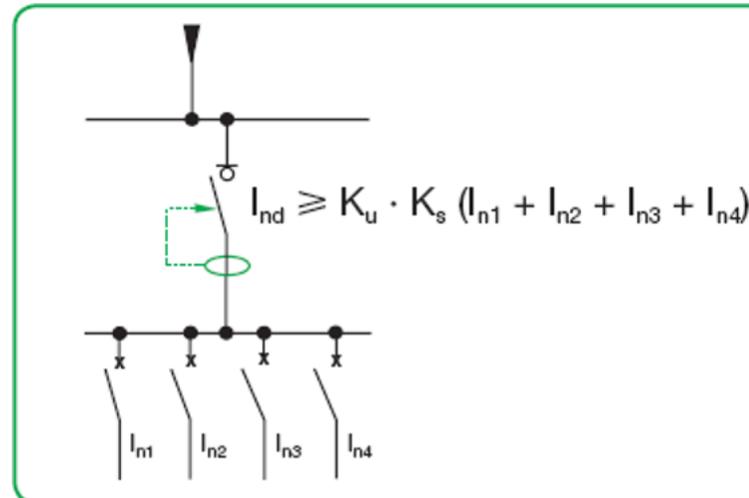
Interruptores Diferenciales (DDR)

Elección de un interruptor diferencial

- ID conectado en serie y aguas debajo de un interruptor automático



- ID conectado aguas arriba de un grupo de circuitos protegidos por int. automáticos



Interruptores Diferenciales (DDR)

Elección de un interruptor diferencial

- Tablas de asociación entre interruptores diferenciales y automáticos para lograr una correcta protección contra cortocircuitos

Tipo de ID		Interruptor diferencial IDc 2P (230 V)		Interruptor diferencial ID									
				2P (230 V)					4P (400 V)				
Calibre (A)		25	40	25	40	63	80	100	25	40	63	80	100
Interruptor automático	iDPN	6	6	6	6				6	6			
	iDPN N	10	10	10	10				10	10			
	C60N	10	10	20	20	20			10	10	10		
	C60H	15	15	30	30	30			15	15	15		
multi 9	C60L	20	20	50	45	30			25	20	15		
	NC100H	6	6	5	5	10	10	10	7	7	7	5	5
	C120N/C120H			10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
	NG125N	10	10	15	15	15	15	7	15	15	15	15	7
	NG125H	10	10	15	15	15	15		15	15	15	15	
	NG125L	10	10	15	15	15	15		15	15	15	15	10
Compact	NS100			6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
	NS160				6	6	6	6		4	4	4	4

Interruptores Diferenciales (DDR)

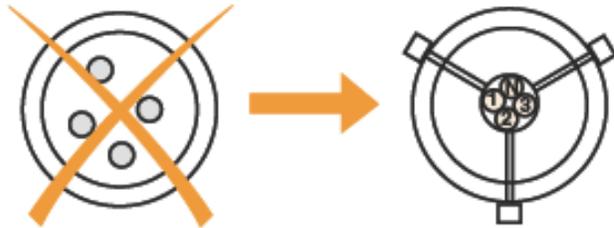
Elección de un interruptor diferencial



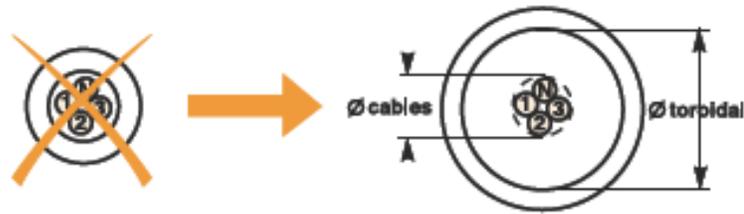
Interruptores Diferenciales (DDR)

Recomendaciones de instalación de DDRs con toroidal separado

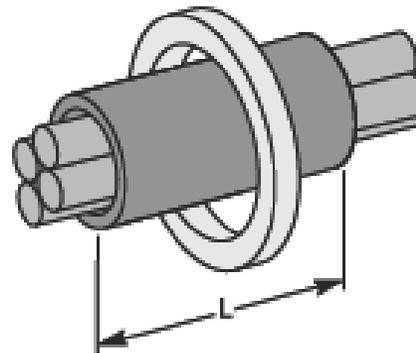
Centralización de los cables



Sobredimensionamiento del núcleo



Inclusión de chapa de acero magnética para canalizar el flujo de fuga

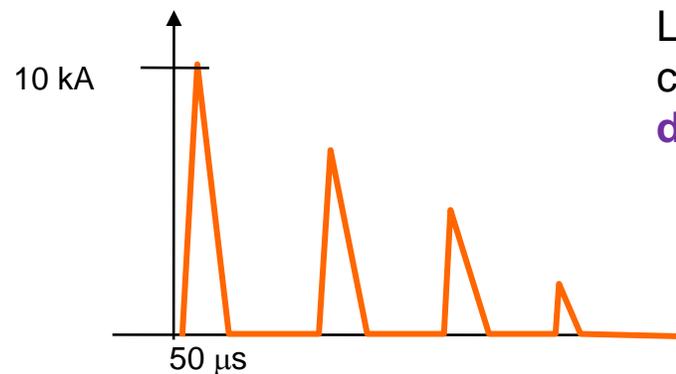
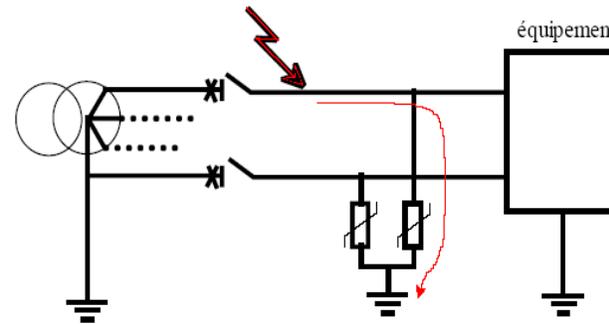


$$L=2 \times \varnothing$$

Protección Diferencial

Funcionamientos anómalos ➔ Disparos Intempestivos

Perturbaciones en la red eléctrica a causa de relámpagos



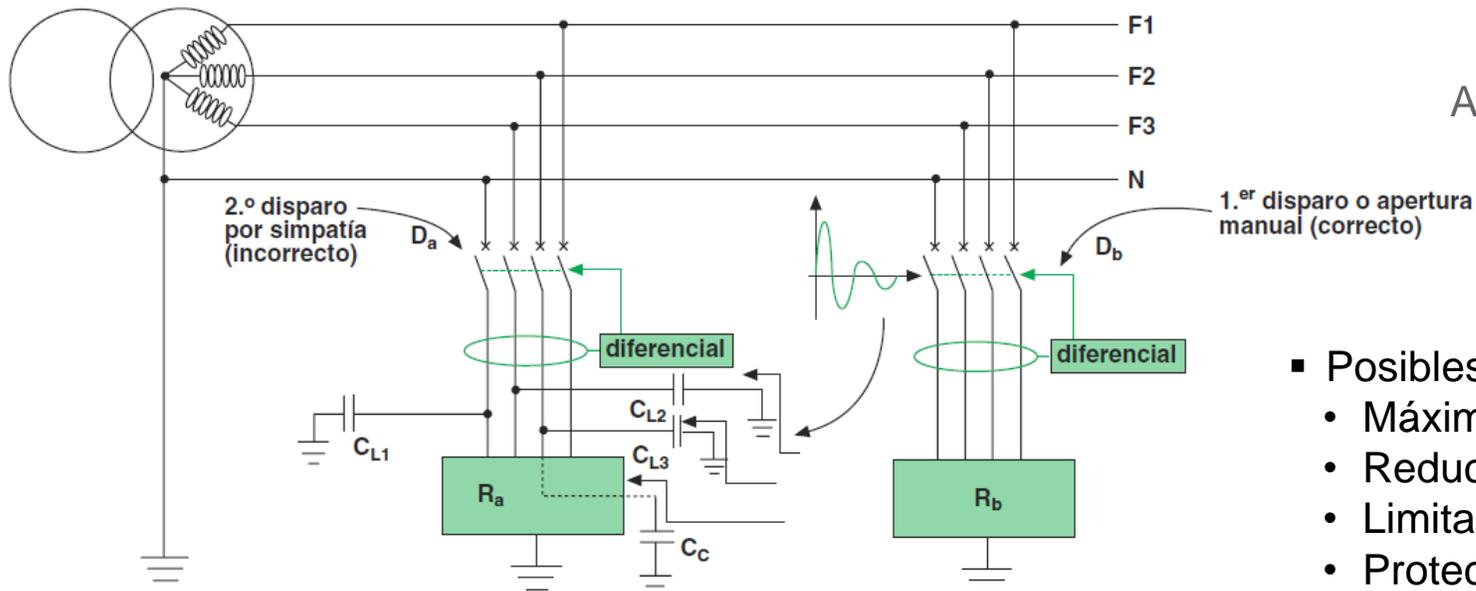
Los pulsos generados por el relámpago circulan a través de tierra, **provocando el disparo de la protección diferencial**

Protección Diferencial

Funcionamientos anómalos ➔ Disparos Intempestivos

Efecto de la capacidad parásita a tierra en los disparos de DDR

- Disparos en diferenciales que protegen salidas en paralelo de la misma instalación provocados por corrientes de fuga a través de las capacidades de las instalaciones
- Estas capacidades pueden tener 2 orígenes:
 - Las capacidades de aislamiento de los conductores eléctricos (cables).
 - Los filtros capacitivos (condensadores) conectados a tierra de los receptores electrónicos en las instalaciones



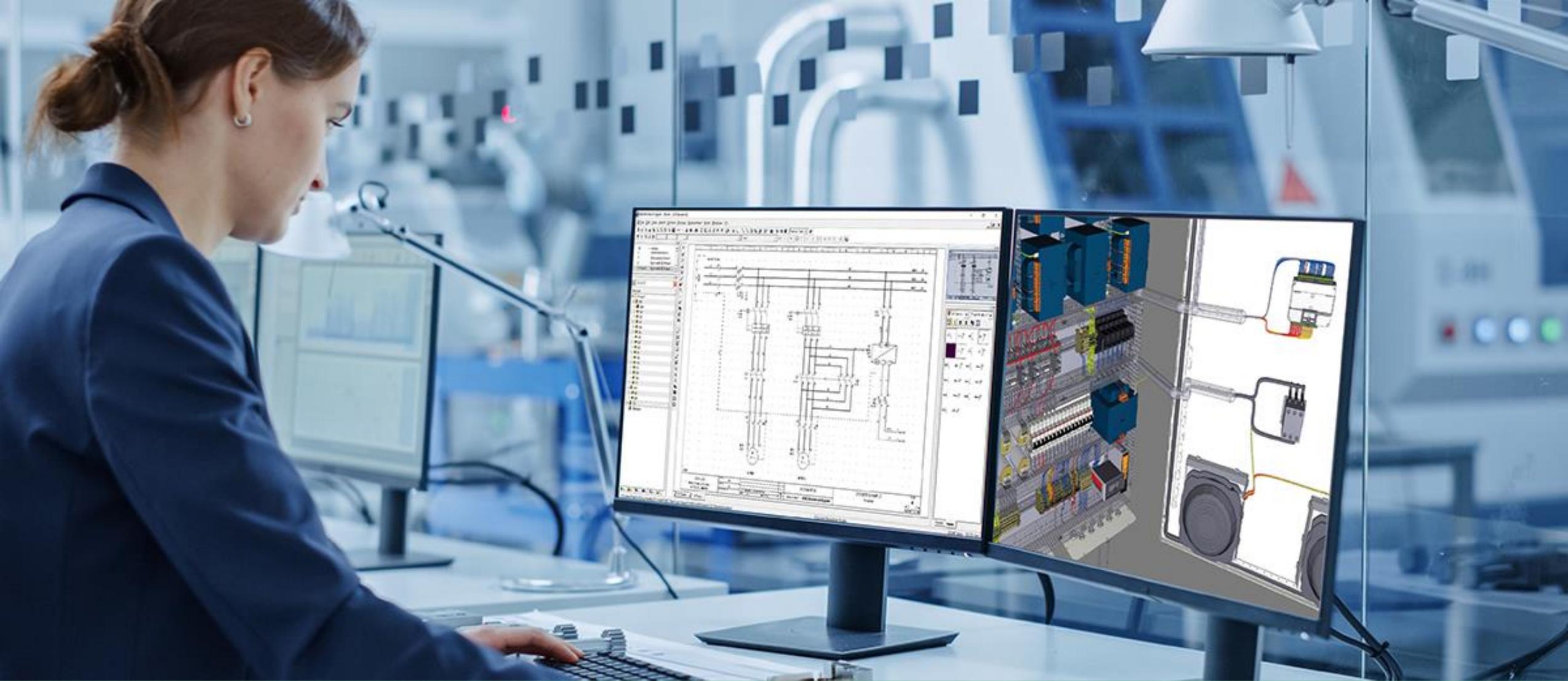
Acoplamiento capacitivo de HF: disparo por simpatía

- Posibles Soluciones:
 - Máxima subdivisión posible de circuitos
 - Reducir las distancias de cables
 - Limitar el número de receptores electrónicos por diferencial
 - Protección diferencial Superinmunizada

Los armónicos

NO

**provocan el disparo de
los diferenciales**

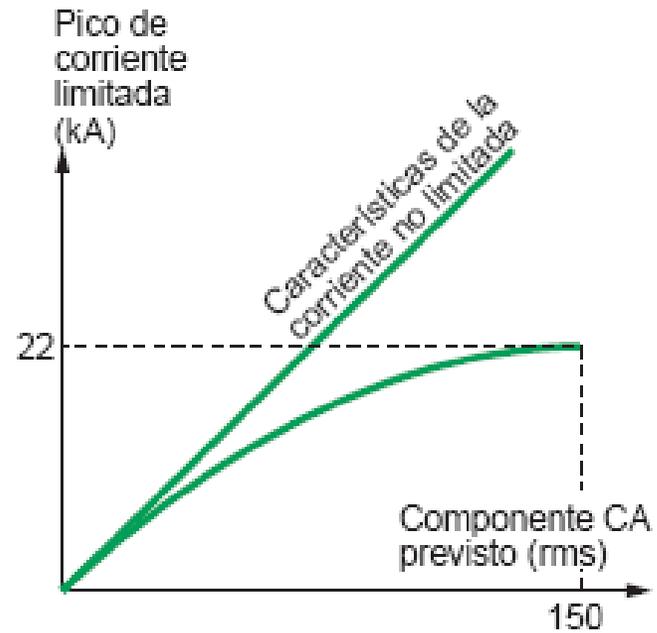
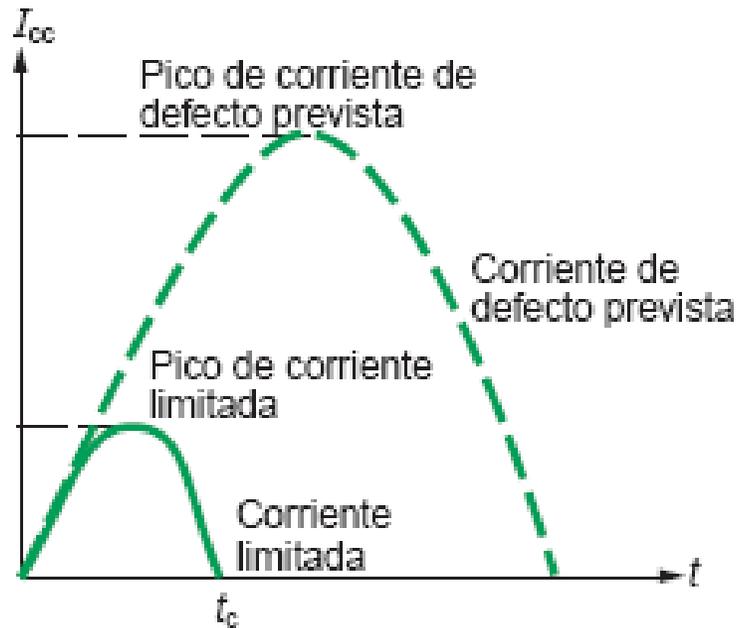


Conceptos de selectividad, filiación y limitación

Interruptores Automáticos: limitación

Limitación de la corriente

La limitación de corriente reduce sensiblemente las tensiones térmicas (I^2t)



Interruptores Automáticos: limitación

Ventajas de la limitación de corriente

- Mejora la conservación de las redes de las instalaciones
- Reducción de los efectos térmicos (< calentamiento de conductores e incremento de su vida media)
- Reducción de los efectos mecánicos
- Reducción de los efectos de la interferencia electromagnética (< influencia en circuitos electrónicos)
- Reducción del envejecimiento de la instalación



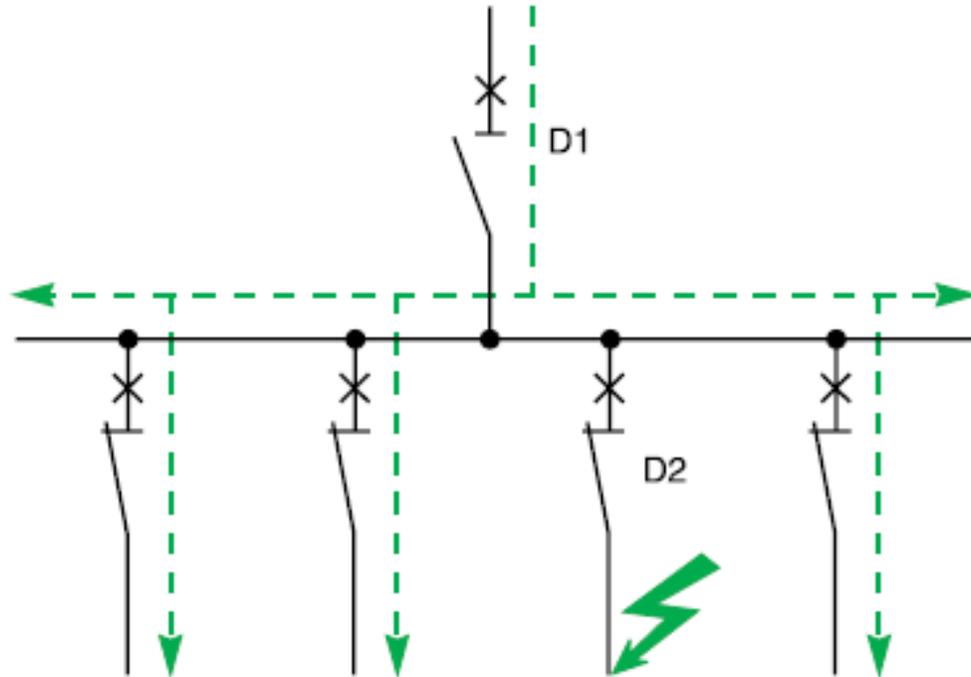
- Mejor aprovechamiento de cables y cableado
- Mejor aprovechamiento de la aparamenta
- Mejor aprovechamiento de las envolventes

Interruptores Automáticos: selectividad

Coordinación entre interruptores automáticos

Selectividad

Se consigue la selectividad cuando un defecto eléctrico en cualquier punto de la instalación es eliminado por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto

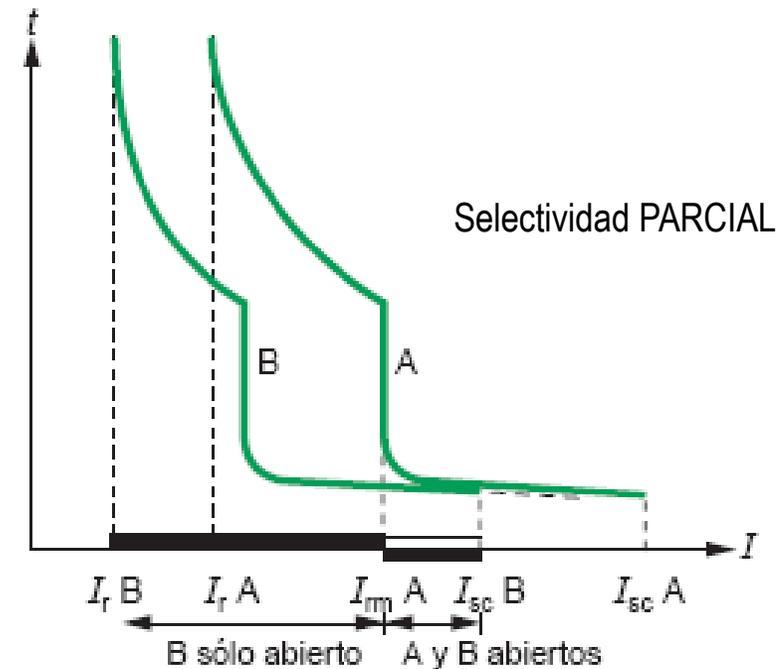
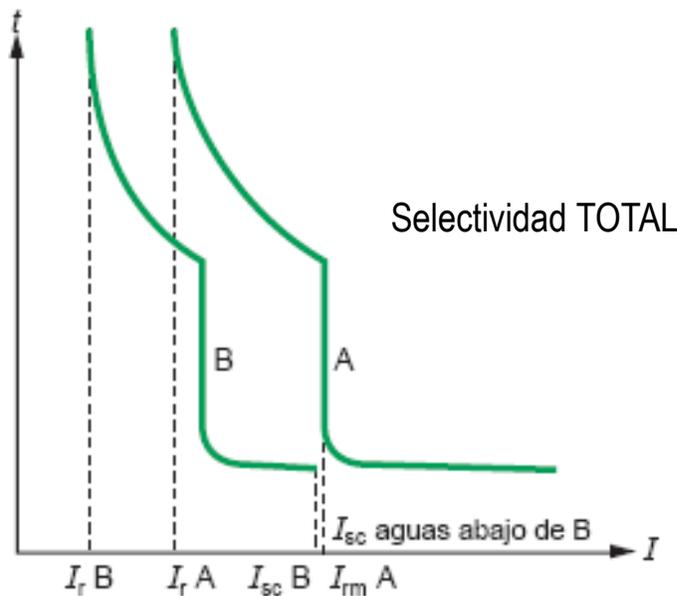


Interruptores Automáticos: selectividad

La selectividad es TOTAL si el valor máximo de corriente de defecto posible en la instalación (desde una sobrecarga hasta un cortocircuito) es despejado por el interruptor aguas abajo mientras el de aguas arriba permanece cerrado.

Selectividad

La selectividad será PARCIAL si la condición anterior no se cumple para todas las posibles corrientes de defecto sino hasta un determinado valor que se denomina límite de selectividad.



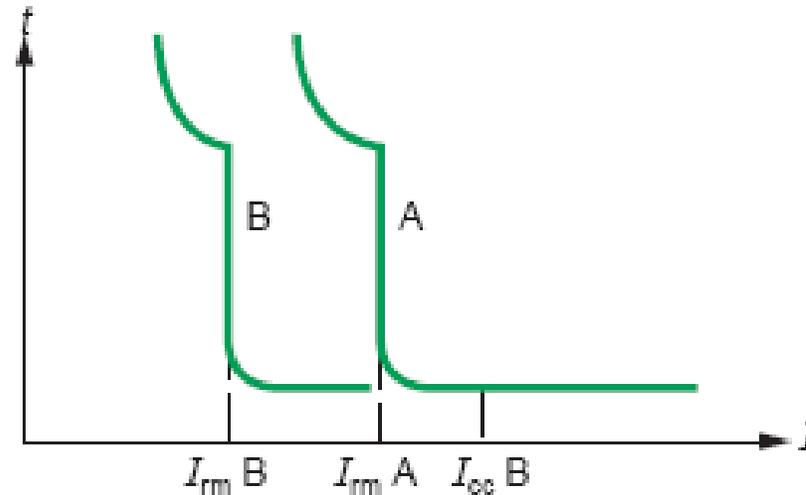
Interruptores Automáticos: selectividad

Clases de Selectividad

Selectividad **amperimétrica**

Selectividad a nivel de corriente, se consigue por medio de ajustes escalonados de los umbrales de regulación de disparo magnético instantáneo.

Por ejemplo: si el ratio entre los umbrales de los interruptores es $> 1,6$



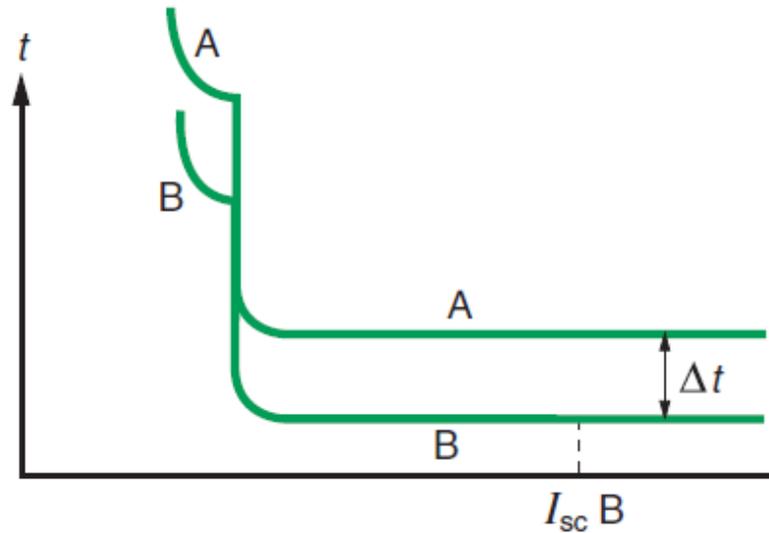
Interrupidores Automáticos: selectividad

Clases de Selectividad

Selectividad *cronométrica*

Siempre que el tiempo de corte de la corriente del interruptor aguas arriba esté ligeramente retrasado respecto al del interruptor aguas abajo.

Por ejemplo: si el ratio entre los umbrales de los interruptores es $> 1,5$

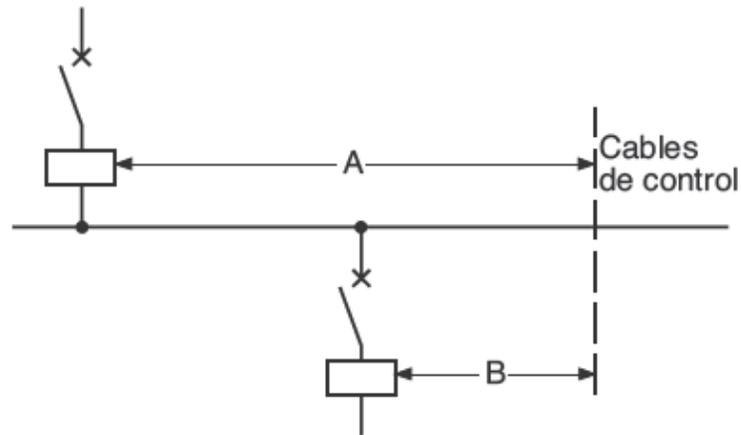


Interrupidores Automáticos: selectividad

Clases de Selectividad

Selectividad *lógica*

El interruptor automático aguas arriba se ajusta a disparar instantáneamente cuando detecta un defecto a menos que el relé del interruptor aguas abajo envíe una señal para confirmar que el defecto se ha producido aguas abajo.



La señal provoca una demora de disparo en el interruptor de aguas arriba, con lo que se garantiza una protección de reserva en el caso que el interruptor aguas abajo no elimine el defecto.

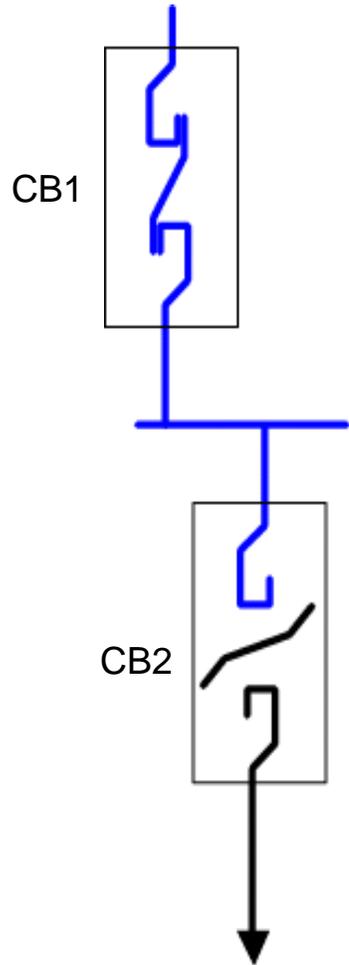
ES NECESARIO, pues, interruptores automáticos equipados con unidades de disparo electrónicas que se hayan diseñado para esta aplicación

Interruptores Automáticos: selectividad



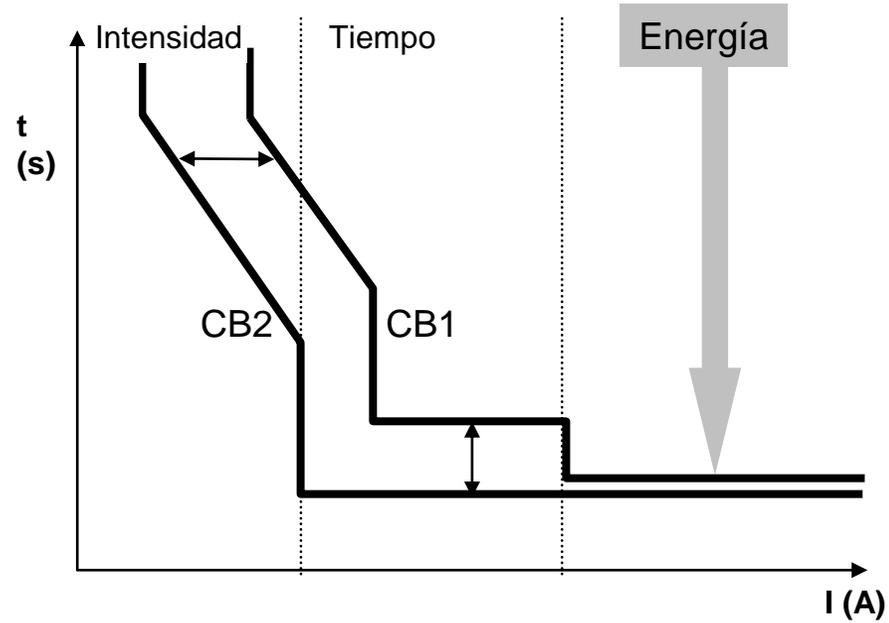
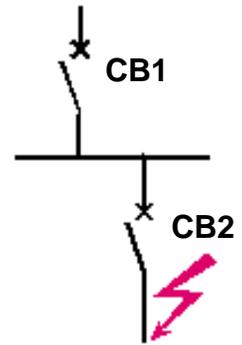
Corte Rotoactivo

Interrupidores Automáticos: selectividad



Clases de Selectividad

Selectividad *energética*

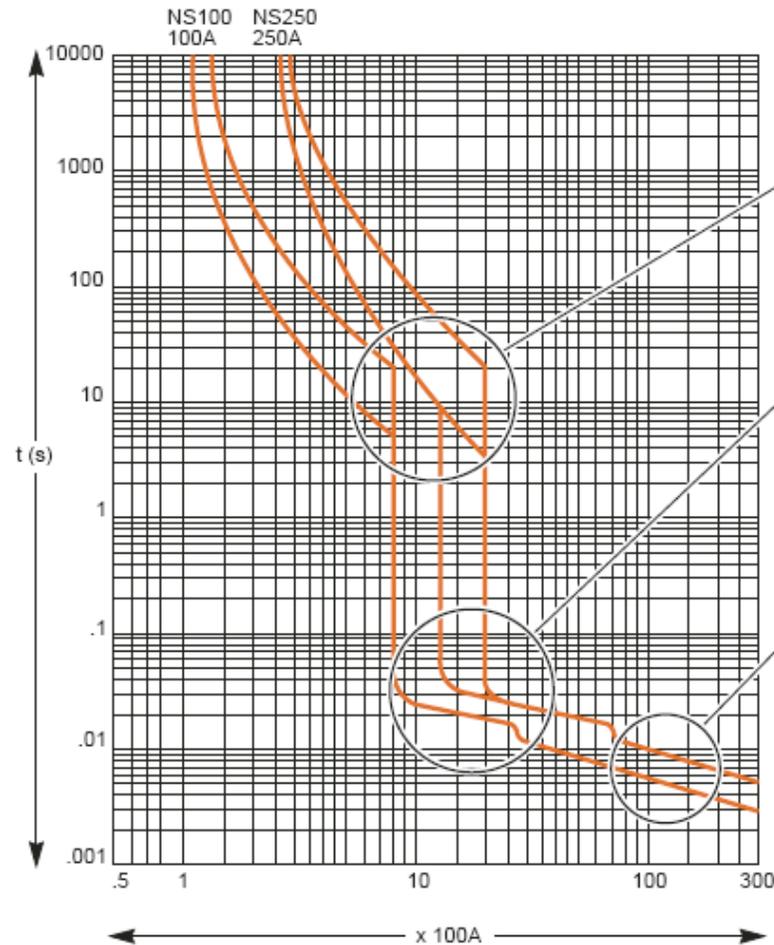


Limitación de corriente + selectividad = selectividad reforzada

- Sin intensidad
- Intensidad normal
- Cortocircuito

Interrupidores Automáticos: selectividad

Clases de Selectividad



Selectividad amperimétrica

Selectividad cronométrica + lógica

Selectividad energética

Tablas de Selectividad

Interrupedores Automáticos: selectividad

Tablas de Selectividad

Aguas arriba		NSX100/F/N/H/S/L								NSX160/F/N/H/S/L				NSX250/F/N/H/S/L		
Unidad de control		TM-D								TM-D				TM-D		
Aguas abajo	Valor (A) Calibre Ir	16	25	32	40	50	63	80	100	80	100	125	160	160	200	250
Límite de selectividad (kA)																
iDPN Curvas B, C	≤ 10	0,19	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	16		0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	20			0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	25					0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	32						0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	40							0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T
iDPN N Curvas C, D	≤ 10	0,19	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	16		0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	20			0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	25					0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	32						0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	40							0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T
C60N Curvas B, C, D	≤ 10	0,19	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	16		0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	20			0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	25				0,5	0,5	0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	32						0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T	T
	40							0,5	0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T
	50								0,63	0,8	0,63	0,8	T	T	T	T
	63									0,8		0,8	T	T	T	T

Interruptores Automáticos: filiación

Coordinación entre interruptores automáticos

Filiación

Gracias a la limitación de la corriente de cortocircuito, un interruptor limitador permite utilizar en todos los dispositivos aguas abajo del mismo, interruptores con poderes de corte inferiores a la corriente de cortocircuito prevista

Aguas arriba Poder de corte (kA rms)	NSC100N 18	NG160E 16	NG160N 30	NSX100F 36	NSX100N 50	NSX100H 70	NSX100S 100	NSX100L 150
---	---------------	--------------	--------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------

Aguas abajo	Poder de corte (kA rms)							
iDPN (230 V entre fase y neutro)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
iDPN N (230 V entre fase y neutro)	15 kA	15 kA	15 kA	15 kA	15 kA	15 kA	15 kA	15 kA
C60N	18 kA	15 kA	20 kA	25 kA	30 kA	30 kA	30 kA	30 kA
C60H	18 kA	15 kA	25 kA	30 kA	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
C60L ≤ 25 A			25 kA	30 kA	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
C60L ≤ 40 A			25 kA	30 kA	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
C60L ≤ 63 A	18 kA		25 kA	30 kA	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
P25M ≥ 14 A	18 kA		25 kA	25 kA	40 kA	50 kA	50 kA	50 kA
C120N/H	18 kA		25 kA	25 kA				
NG125N				36 kA	36 kA	36 kA	50 kA	70 kA
NG125H					40 kA	50 kA	70 kA	100 kA
NG125L/LMA						70 kA	100 kA	150 kA
NS80HMA							100 kA	150 kA
NSC100N				36 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA
NSX100F					50 kA	70 kA	100 kA	150 kA
NSX100N						70 kA	100 kA	150 kA
NSX100H							100 kA	150 kA
NSX100S								150 kA

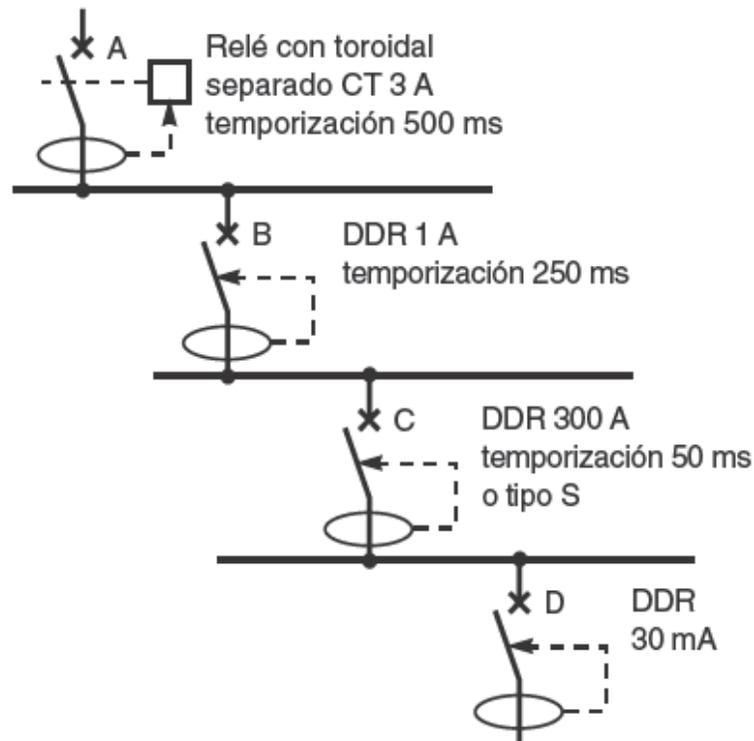
Ventajas:

- Cálculos simplificados de la corriente de cortocircuito
- Simplificación de la elección de la aparamenta situada aguas abajo
- Uso de aparamenta de menor rendimiento (ahorro de costes)
- Menor requisito de espacio físico

Interruptores Diferenciales: selectividad

Coordinación de dispositivos de protección

La correcta utilización de dispositivos selectivos y retardados garantiza que, en caso de que se produzca un fallo de tierra aguas abajo en la instalación, sólo dispara la protección diferencial más cercana a dicho defecto.



Para garantizar la selectividad diferencial, se deben cumplir 2 condiciones:

- **Amperimétrica**, puesto que un diferencial debe actuar para fugas entre $I_{\Delta n}$ e $I_{\Delta n}/2$:

$$I_{\Delta n}(A) > 2 \times I_{\Delta n}(B)$$

- **Cronométrica**, puesto que todo mecanismo necesita un tiempo para actuar, se requiere una temporización o retardo voluntario en el dispositivo aguas arriba:

$$t_r(A) > t_r(B) + t_c(B)$$

$$t_r(A) > t_f(B)$$

t_r : tiempo de retardo (no disparo)

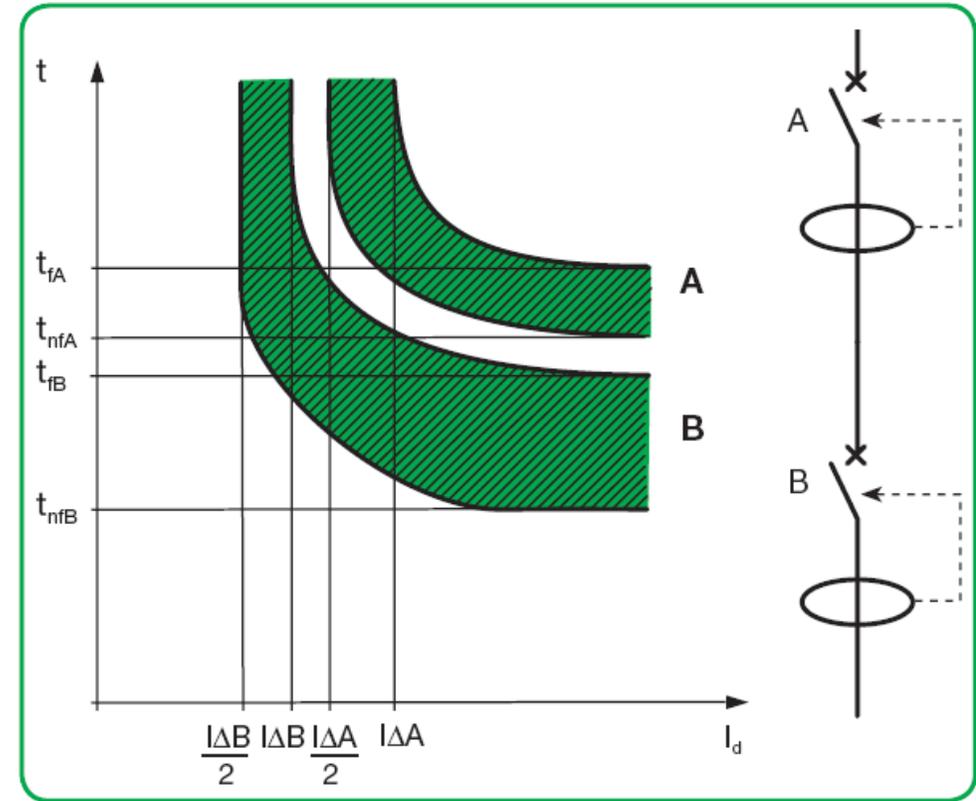
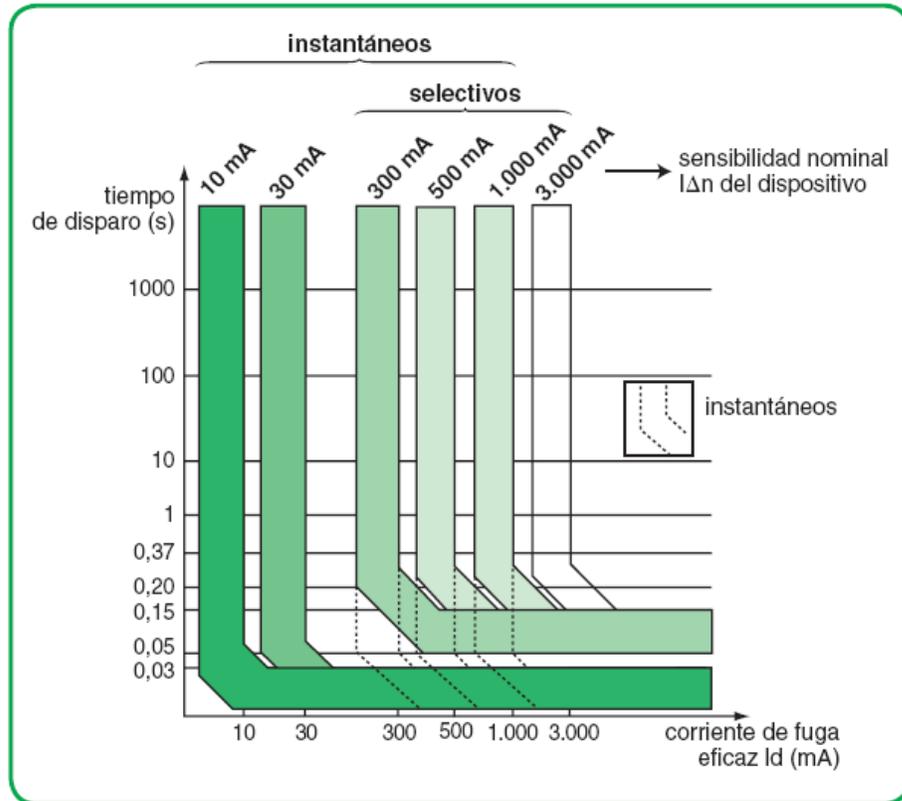
t_c : tiempo desde la orden hasta el corte

t_f : tiempo de funcionamiento (detección y corte de corriente)

Interrupidores Diferenciales: selectividad

Coordinación de dispositivos de protección

La selectividad amperimétrica y cronométrica vienen relacionadas por las siguientes figuras:



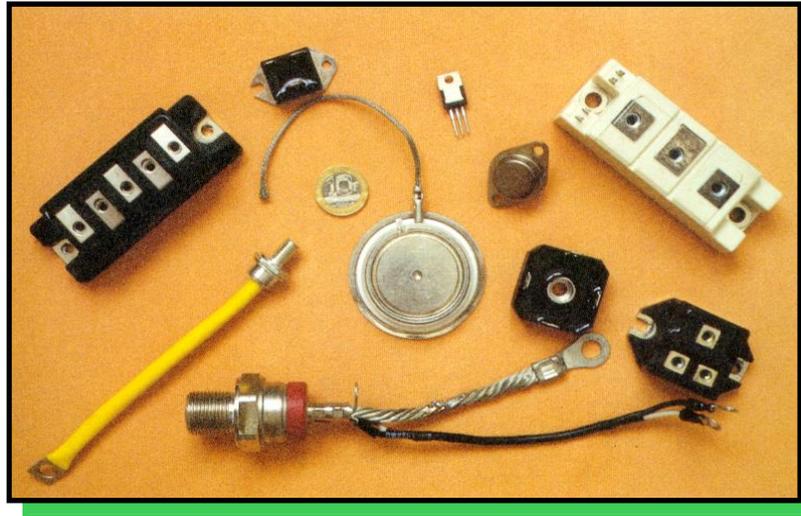


Arranque motor y variación de velocidad

Variación de velocidad

ELECTRÓNICA de POTENCIA

**Semiconductores de potencia empleados
en control de motores eléctricos.**



Variación de velocidad

COMPONENTES SEMICONDUCTORES DE POTENCIA

Los dispositivos semiconductores funcionando en conmutación se utilizan en la realización de convertidores estáticos de energía

Para que la potencia disipada por los interruptores sea mínima:

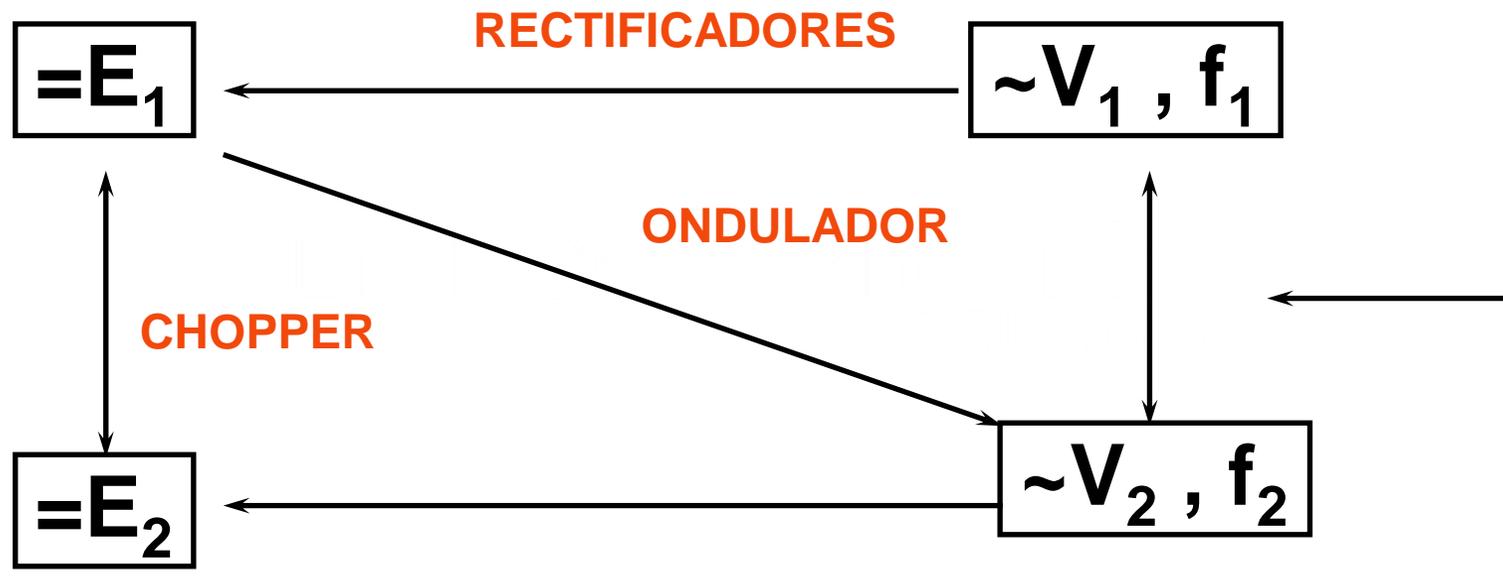


Conclusiones:

- Aumenta el rendimiento del convertidor.
- Se minimiza la potencia a evacuar (p.e. con radiadores).
- **Negativo: Generación de armónicos e interferencias de radio-frecuencia.**

Variación de velocidad

TIPOS DE CONVERTIDORES



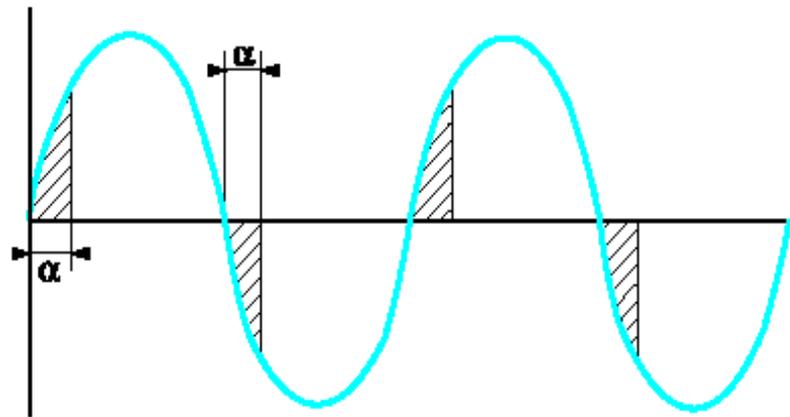
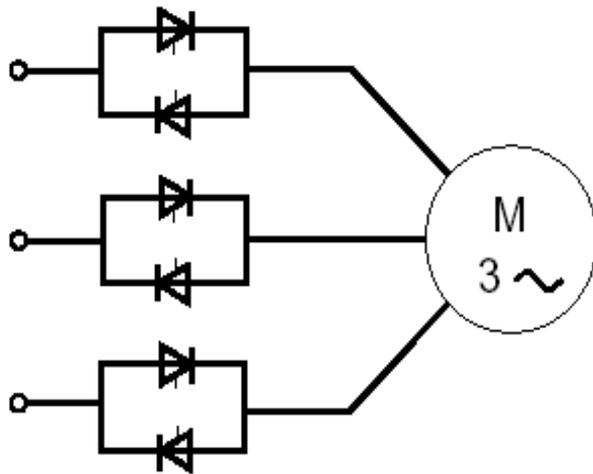
si $f = \text{cte}$ regulador de tensión;
CICLOCONVERTIDORES ($f_2 < f_1$)

Variación de velocidad

Arranque electrónico progresivo

Principio de funcionamiento

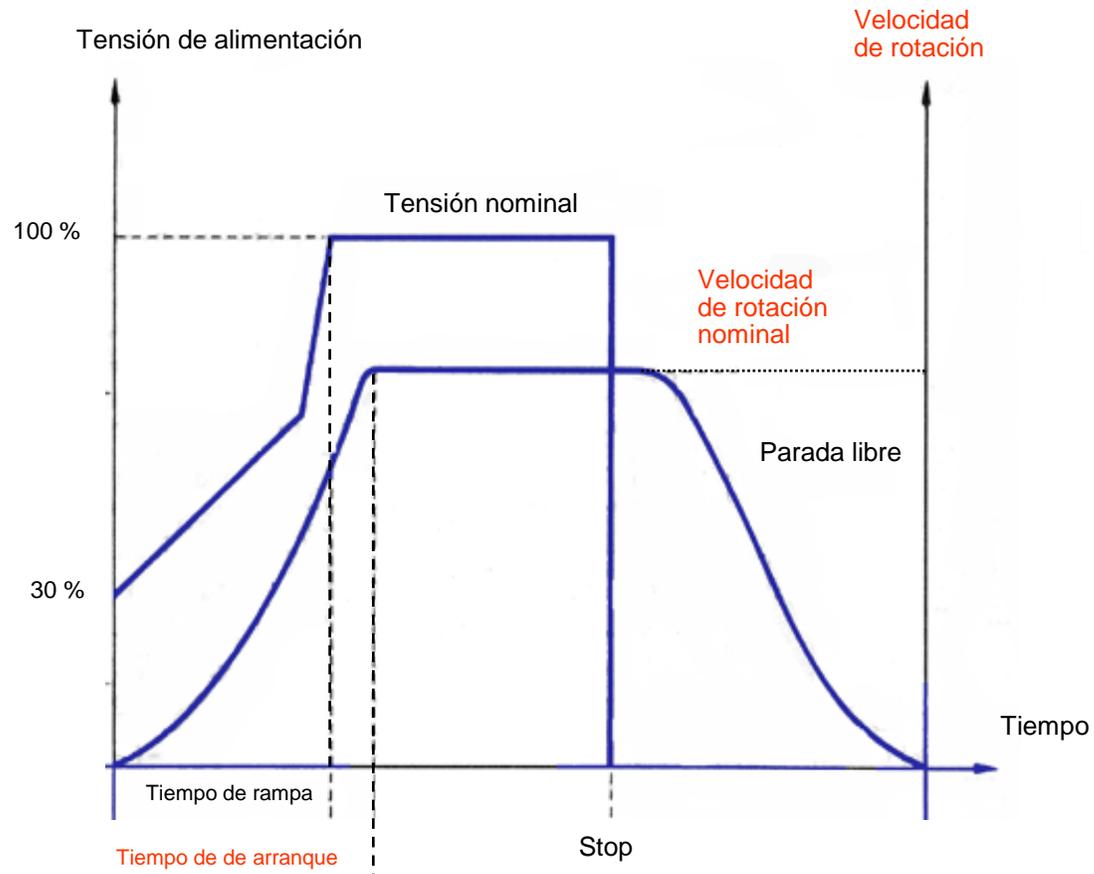
- ✓ La tensión aplicada al motor aumenta mientras se reduce el ángulo de cebado α del tiristor, incrementando gradualmente la velocidad de rotación del motor.
- ✓ El tiempo de rampa es el período necesario para que el ángulo α pase a cero grados, llegando al 100 % la tensión aplicada en bornas del motor.



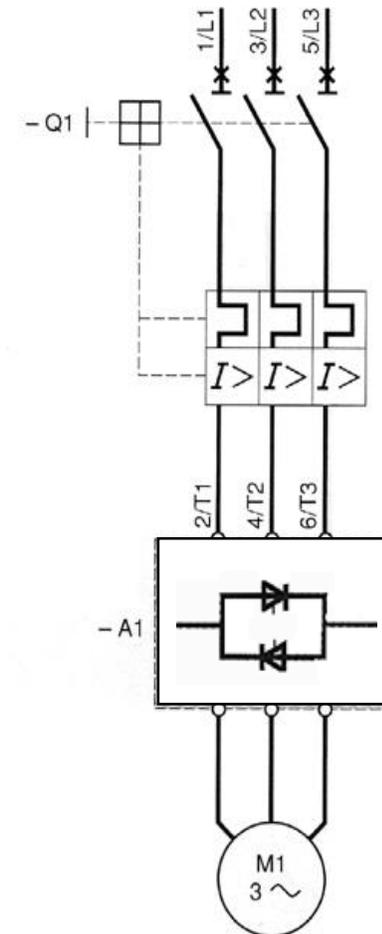
Variación de velocidad

Arranque electrónico progresivo

Curva de funcionamiento



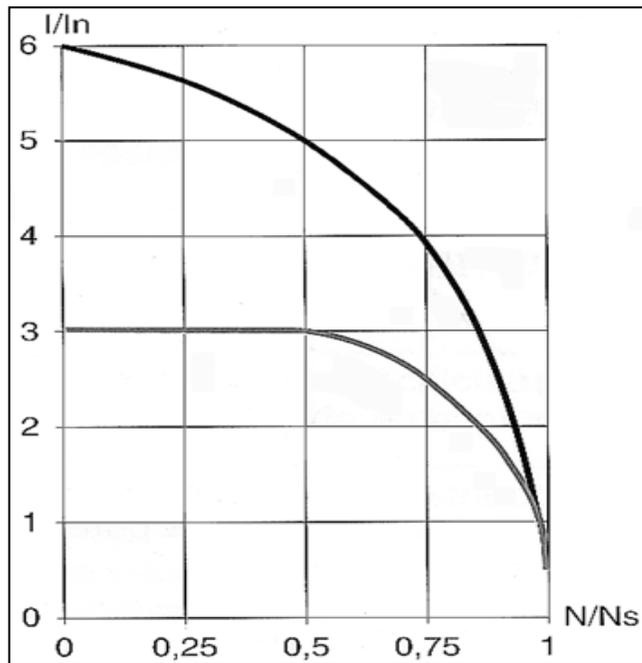
Circuito de potencia



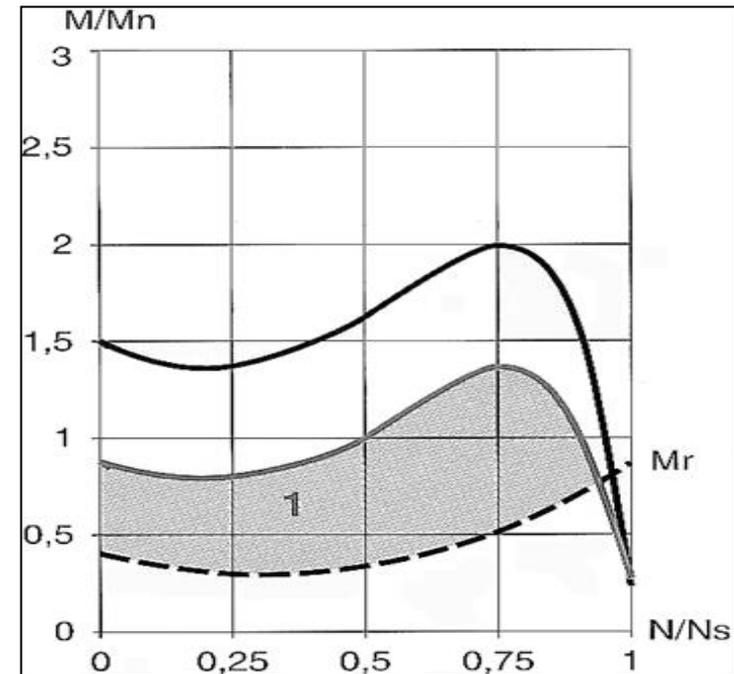
Variación de velocidad

Arrancador Progresivo: Curvas Par - Intensidad en función de la velocidad

Intensidad: ajustable de 3-5 I_n



Par: variable de 0,15 a 1 vez el M_n



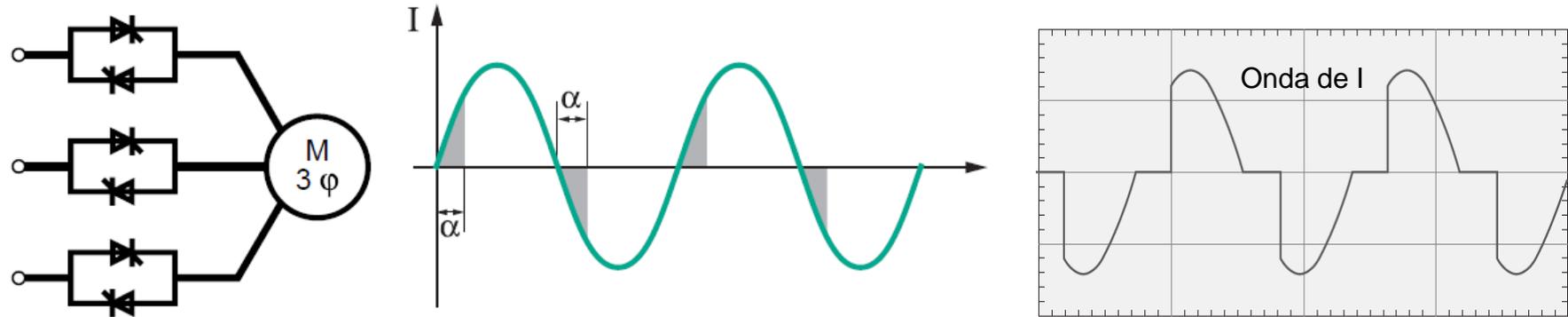
Normalmente basta con:

- Regular la corriente de limitación I_{lim}
- Ajustar el tiempo de rampa de aceleración acc
- Seleccionar el tipo de parada y su tiempo de deceleración dec

Variación de velocidad

Principio de funcionamiento: efectos

Esquema y forma de onda de Arrancador electrónico

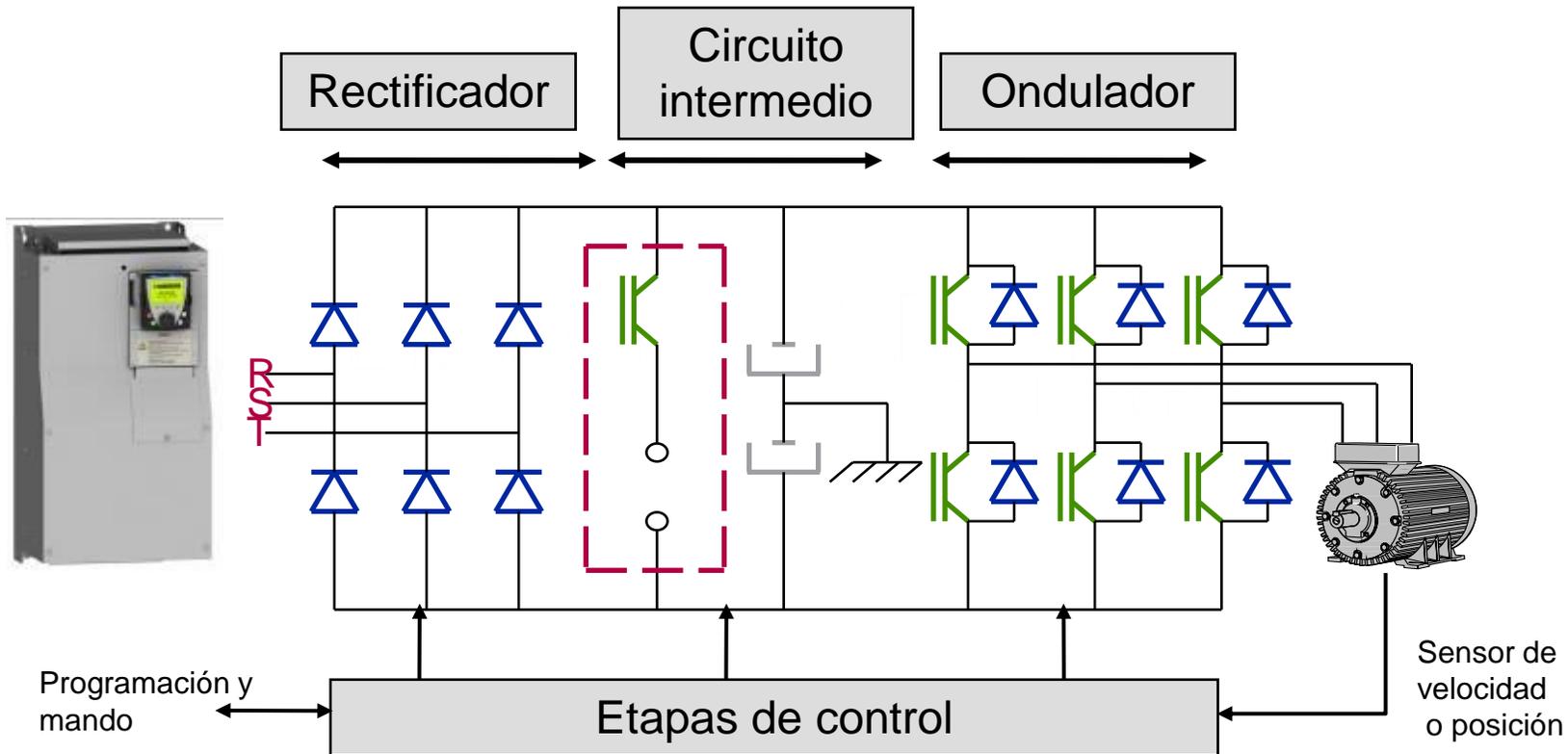


El efecto de la rectificación controlada es la generación de armónicos durante el arranque y la parada controlada (no rueda libre).

En casos de necesidad se puede montar inductancia de línea (idem VV)

Variación de velocidad

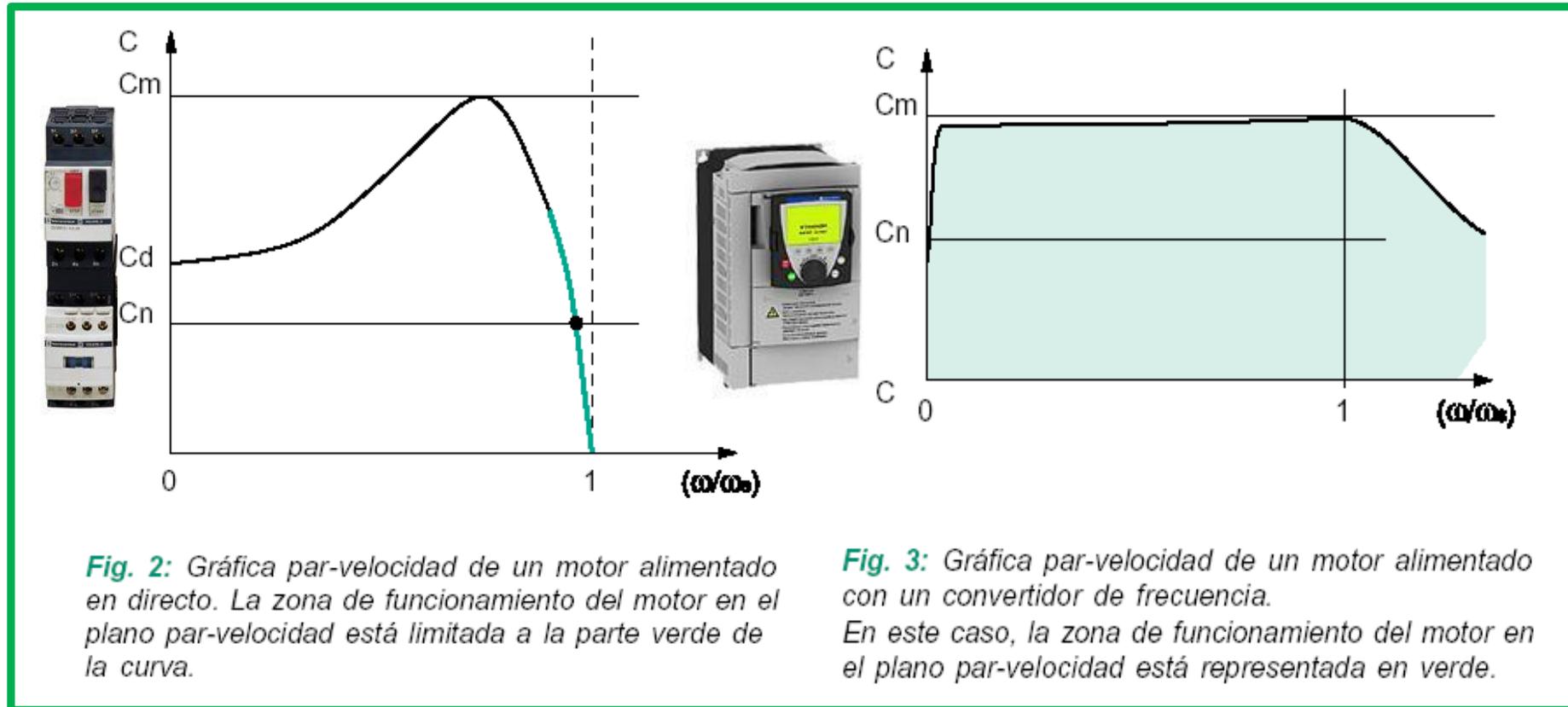
El Variador de Velocidad



El **OBJETIVO** es convertir energía eléctrica de tensión y frecuencia constantes en energía eléctrica de tensión y frecuencia variables

Variación de velocidad

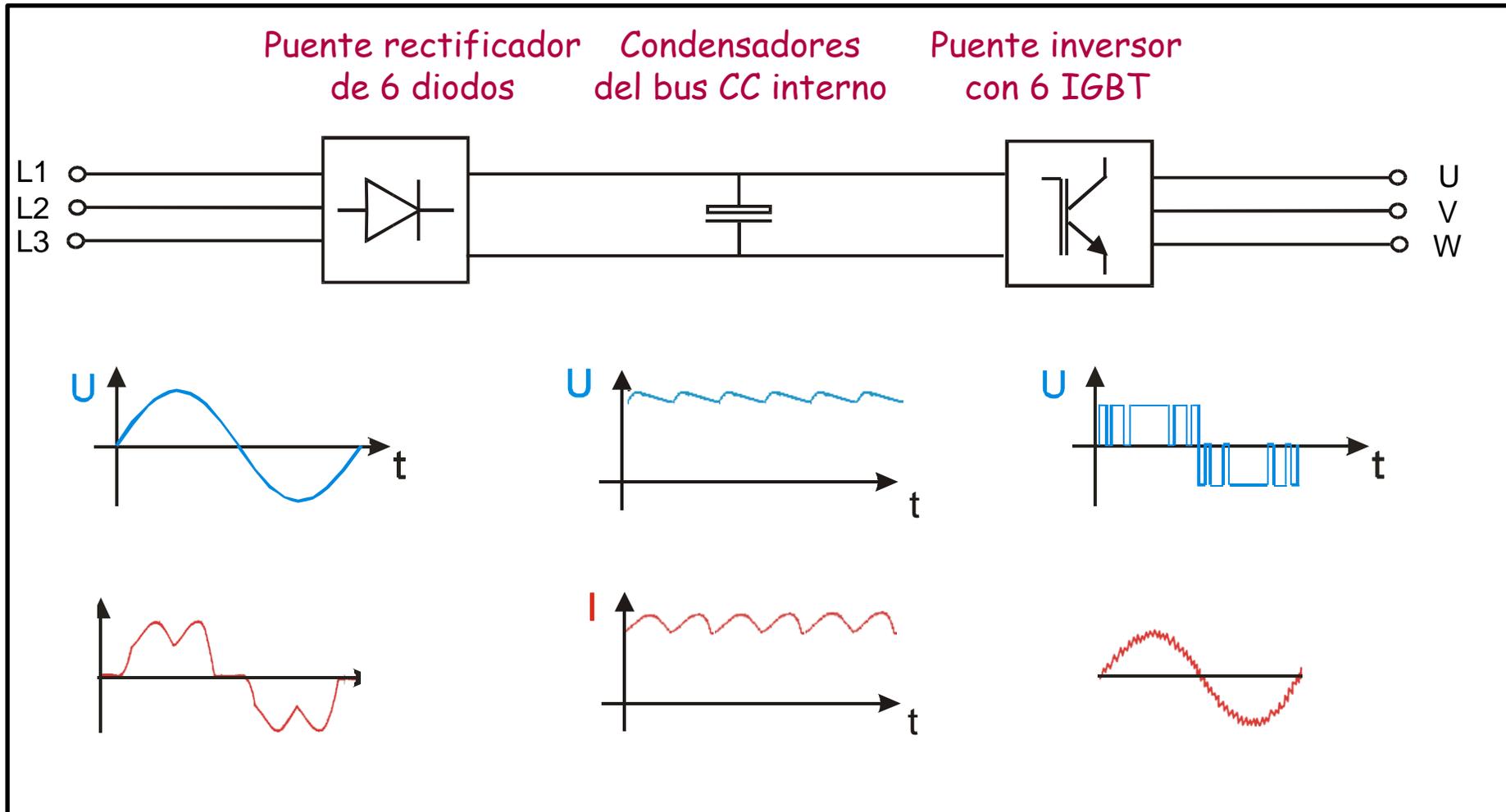
Curva Par motor – Velocidad



Arranque tradicional vs VV

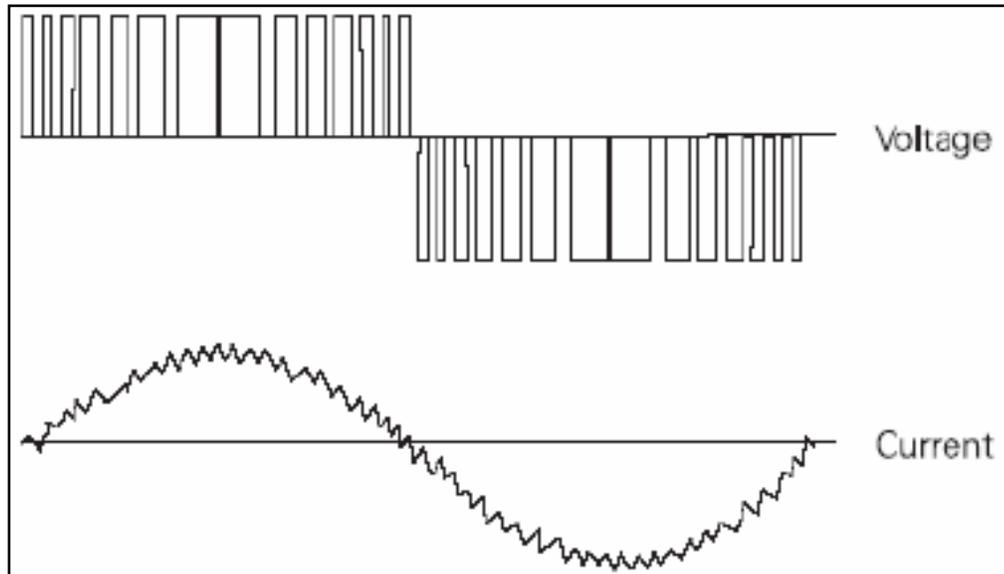
Variación de velocidad

Formas de onda del Variador



Variación de velocidad

PWM: Pulse Wide Modulation

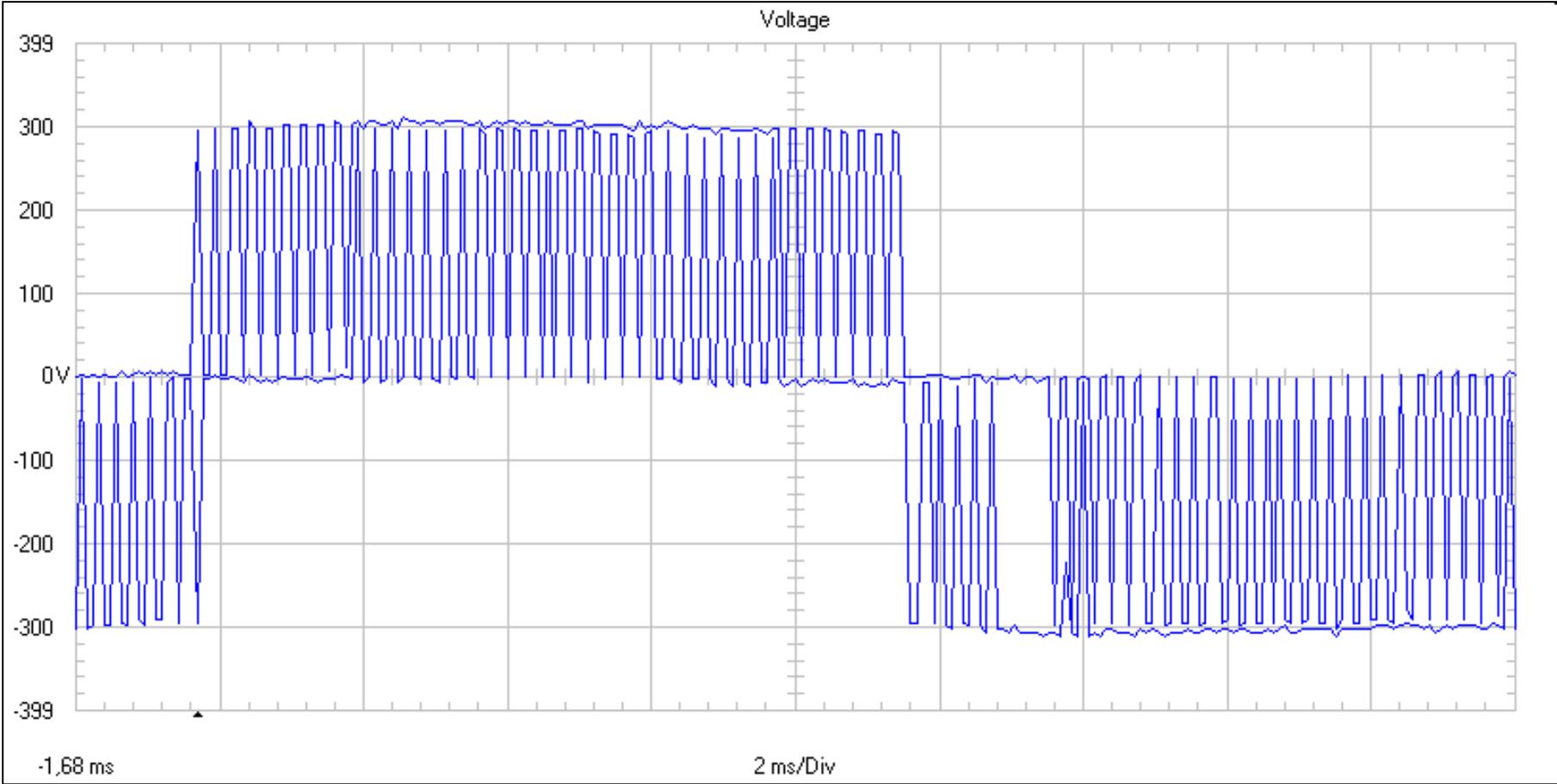


PWM

- El inversor cambia la amplitud y la frecuencia de la tensión de salida
- La tensión de salida se controla aplicando la tensión del bus al motor durante periodos más o menos largos
- La frecuencia de salida se controla con la duración del periodo durante el cual se aplican impulsos positivos o negativos

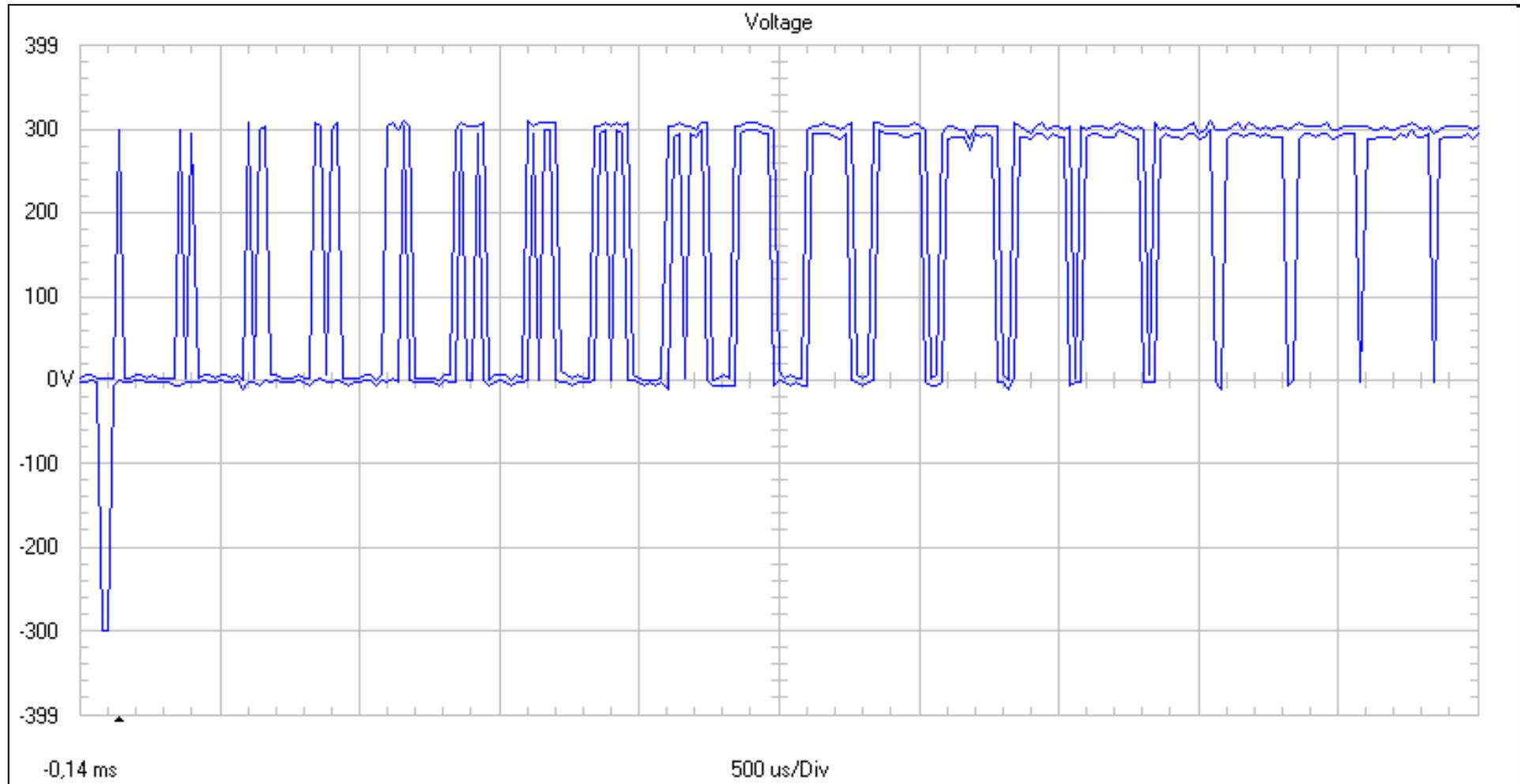
Variación de velocidad

Tensión salida PWM



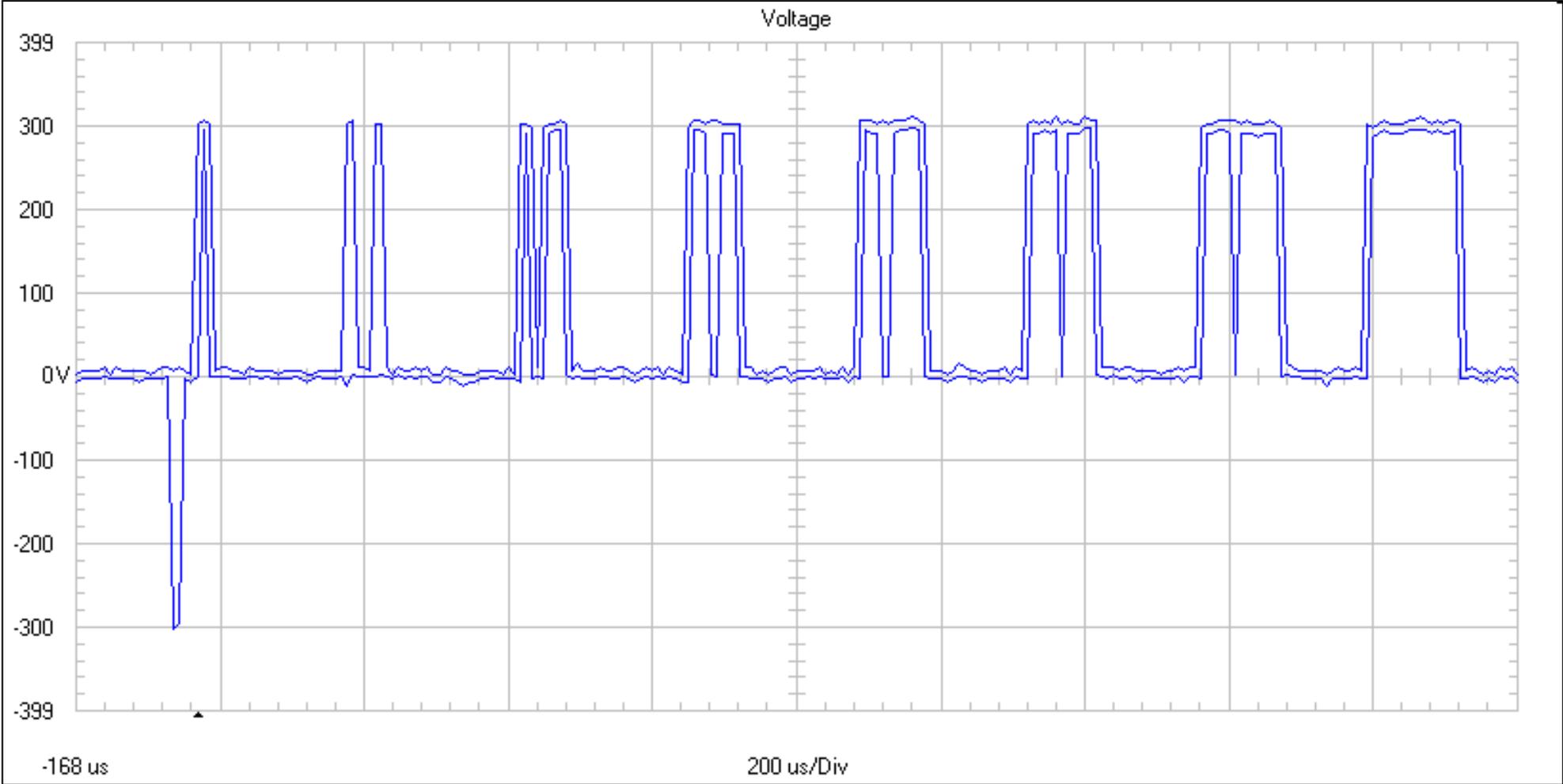
Variación de velocidad

Tensión salida PWM (zoom 1)



Variación de velocidad

Tensión salida PWM (zoom 2)



Variación de velocidad

Perturbaciones: Corrientes armónicas

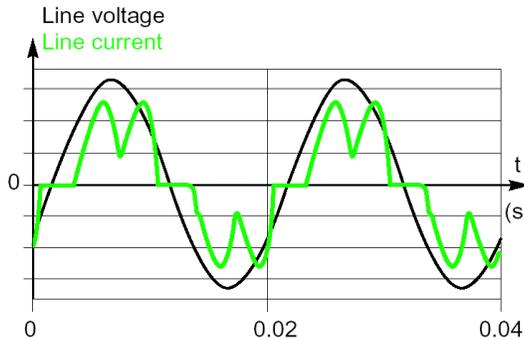


Fig. 6 : current drawn and phase voltage of the line supply (3-phase supply).

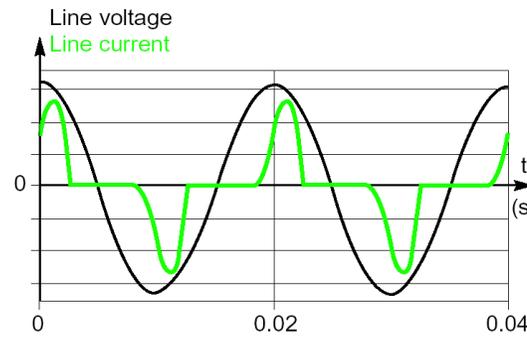
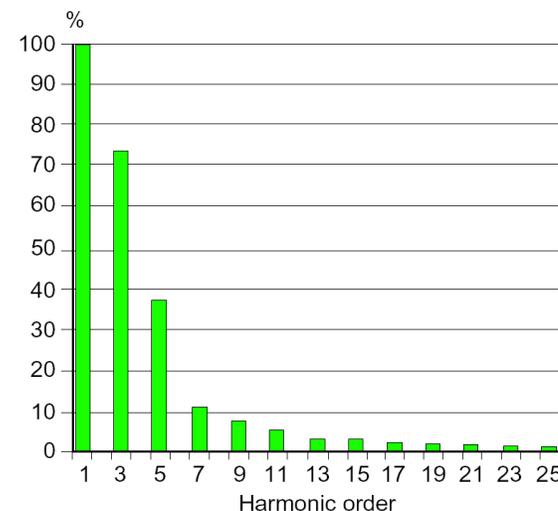
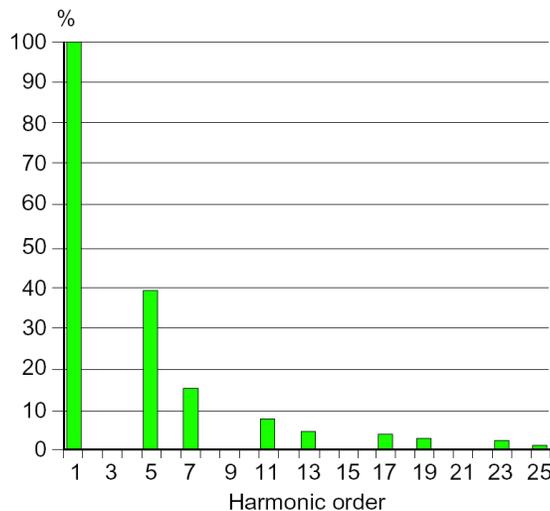


Fig. 8 : current drawn and phase voltage of the line supply (single-phase power supply).

La corriente de entrada de un variador de velocidad no es sinusoidal.

Genera armónicos conducidos de baja frecuencia en la red eléctrica

El rango y nivel de los armónicos depende tanto de la tecnología de los variadores como de la alimentación

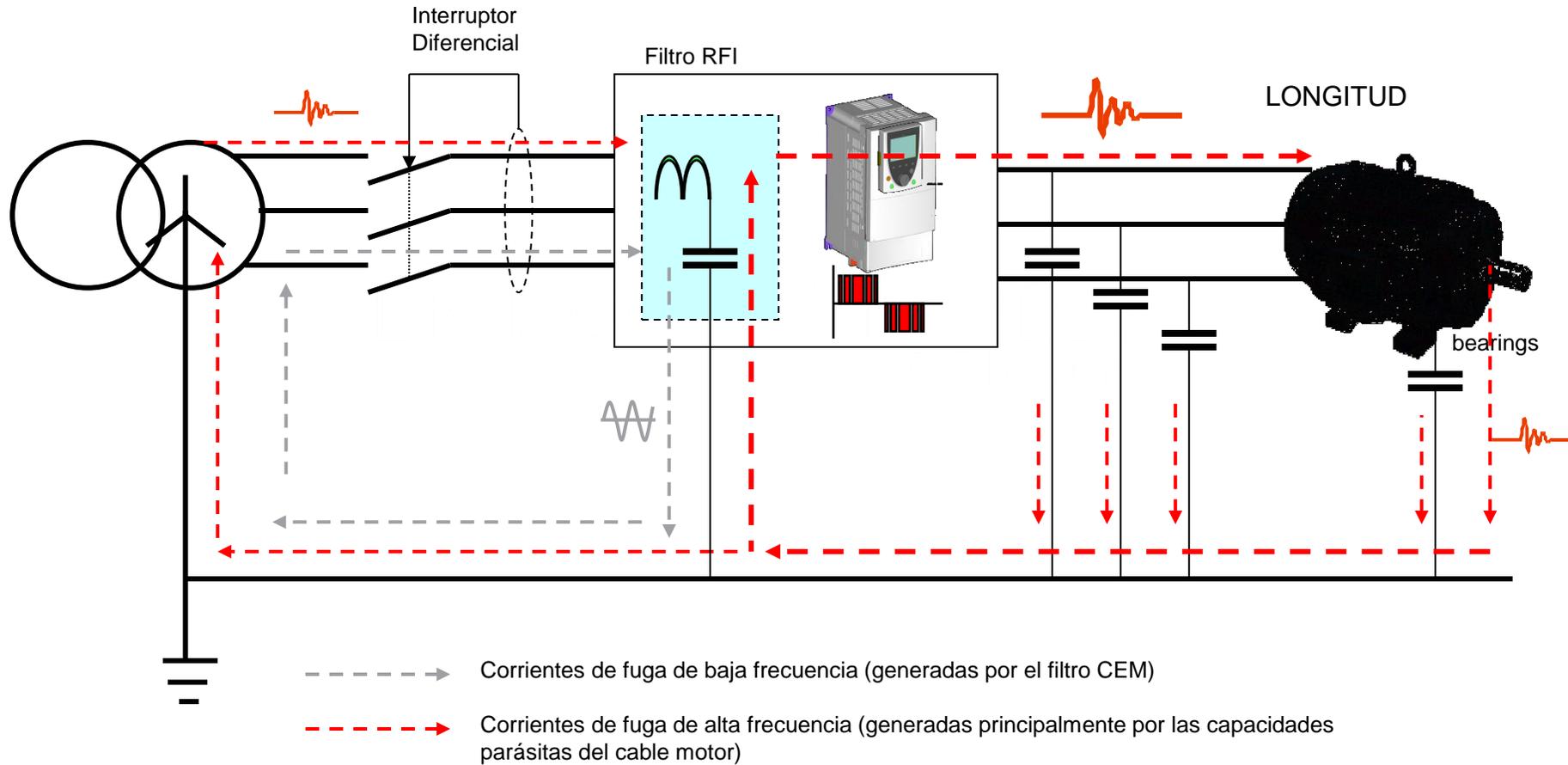


Efectos:

- Sobrecarga en conductores, transformadores y condensadores.
- Disparo de protecciones
- Sobrecarga del Neutro

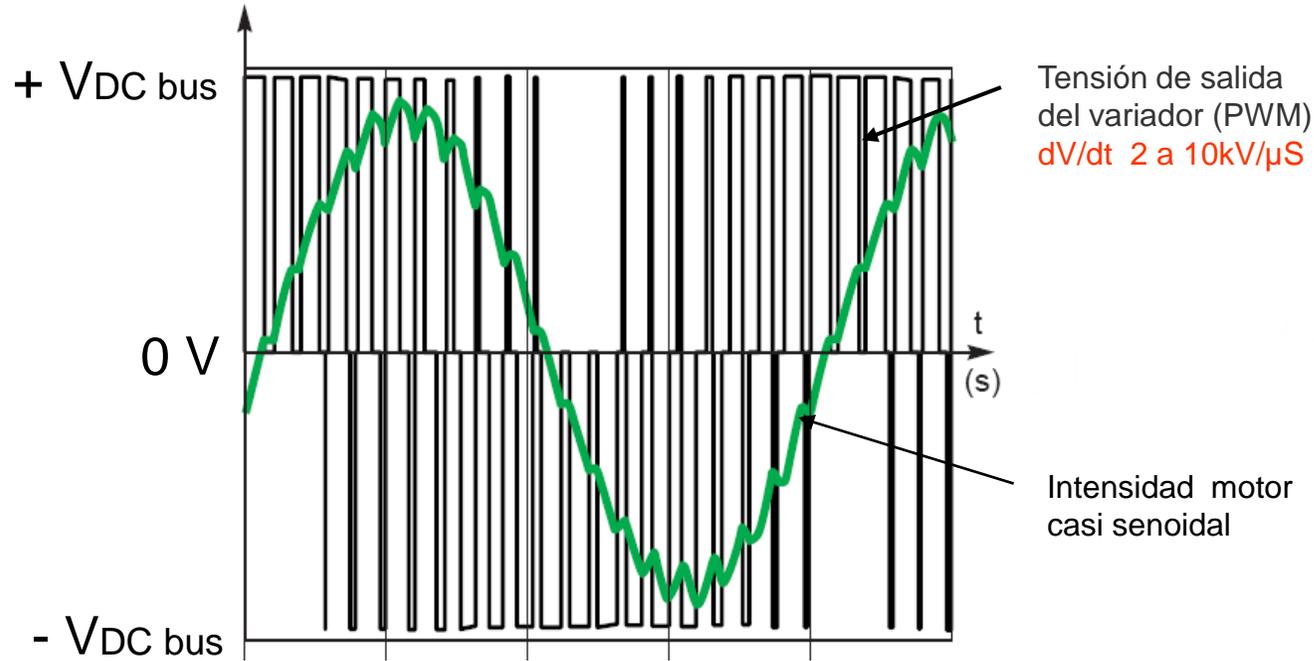
Variación de velocidad

Perturbaciones: Corrientes conducidas

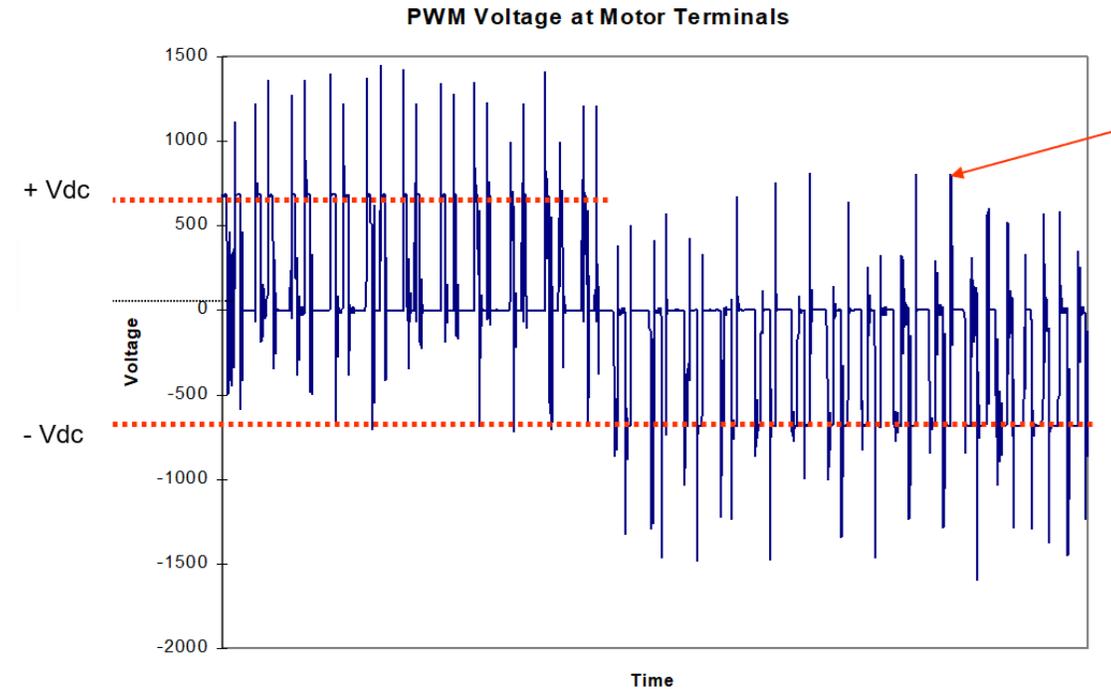


Variación de velocidad

Perturbaciones: Sobretensiones motor



El "chopeo" (de *chopper*) de la tensión de salida de un variador mediante IGBT's genera variaciones rápidas de tensión (dv/dt)





Calidad de la energía

Calidad de energía: Tipos de Perturbaciones

<u>Categorías</u>	<u>Duración Típica</u>	<u>Tipos</u>
Transitorios	Menor de 1 ciclo	Impulsional, Oscilatorio
Variaciones de amplitud de corta duración	1/2 ciclo a 1 minuto	Huecos – Picos (sag-swell) Interrupciones
Variaciones de amplitud de larga duración	Superior a 1 minuto	Subtensiones, sobretensiones, Cortes de tensión
Variaciones de simetría	Régimen permanente	Desequilibrios de fase /tensión
Variaciones de forma de onda	Régimen permanente	Armónicos e interarmónicos
Fluctuaciones de tensión	Intermitente	Flicker
Variaciones de frecuencia	Menos de 10 s	Sub/sobre frecuencia

Armónicos

Origen de los armónicos

Los elementos que producen armónicos se encuentran presentes en todos los sectores, Los armónicos se producen por **cargas no lineales** (es decir, cargas que, al ser alimentadas por una tensión senoidal, dan como respuesta una onda de intensidad deformada, no lineal).

Ejemplos de cargas no lineales:

- Equipo industrial (soldadoras, hornos de arco, hornos de inducción, rectificadores).
- Variadores de velocidad para motores CC o asíncronos.
- Equipos de alimentación ininterrumpida
- Equipos de oficina (ordenadores, fotocopiadoras, faxes, etc.).
- Electrodomésticos (televisores, hornos microondas, fluorescentes).

Armónicos

Principales fuentes de armónicos

- **Cargas industriales**

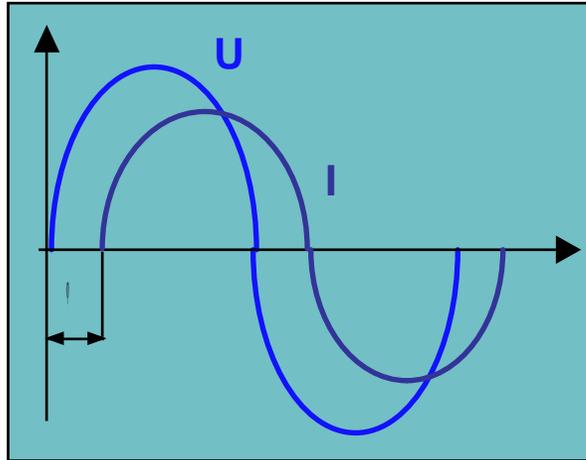
- Equipamientos de electrónica de potencia: variadores de velocidad, rectificadores, onduladores, puentes rectificadores ...
- Cargas que utilizan arco eléctrico: hornos de arco, máquinas de soldar, iluminación (lámparas fluorescentes...).
- Los arranques de motores con arrancadores electrónicos y los enganches de transformadores de potencia son también generadores de armónicos

- **Cargas domésticas**

- Televisores, hornos microondas, placas de inducción, ordenadores, impresoras, lámparas fluorescentes...

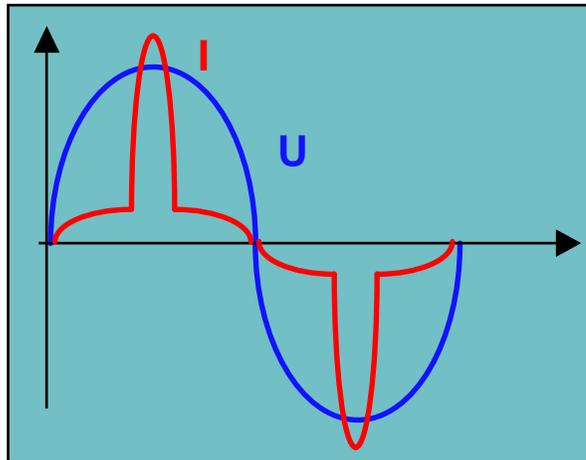
Armónicos

Las cargas lineales y no lineales



- **Carga lineal :**

- Una carga se dice "lineal" cuando la corriente que ella absorbe tiene la misma forma que la tensión que la alimenta. Esta corriente no tiene componentes armónicos.
- Ejemplo : resistencias de convectores, cargas inductivas en régimen establecido (motores, transformadores ...).



- **Carga no lineal o deformante :**

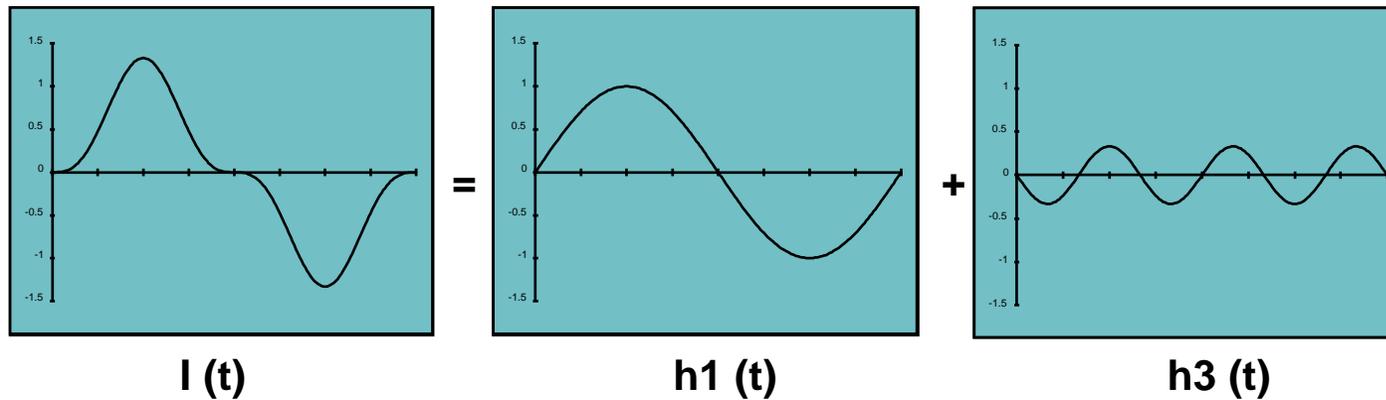
- Una carga se dice "no lineal" cuando la corriente que ella absorbe no es de la misma forma que la tensión que la alimenta. Esta corriente es rica en componentes armónicos donde su espectro será función de la naturaleza de la carga.
- Ejemplo : alimentaciones R C D, motores de arranque, entrehierro del transformador.

Armónicos

Toda señal periódica de frecuencia " F " o de cualquier forma puede ser representada bajo la forma de una suma compuesta :

- De un término sinusoidal a la frecuencia " F " : **EI FUNDAMENTAL (H1)** .
- Del término sinusoidal donde las frecuencias son múltiplos enteros de la fundamental H1 : **LOS ARMONICOS (Hn)**.
- De una eventual componente continua

Una tensión armónica es una tensión senoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación.



Se dice que una señal periódica contiene armónicos cuando la forma de onda de esa señal no es senoidal, esto es, cuando se encuentra deformada con respecto a lo que sería una señal senoidal.

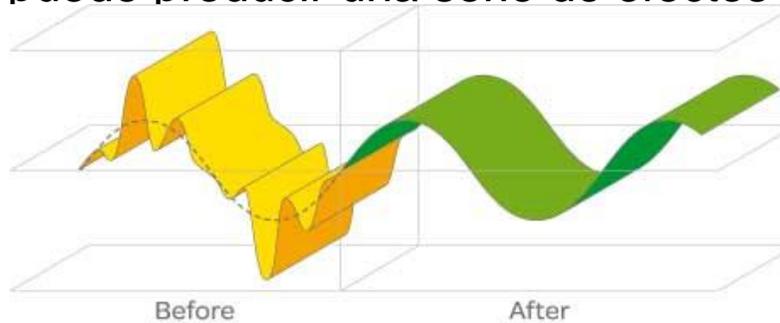
$$I(t) = h1(t) + h3(t) \quad \text{Des. Fourier: } y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \text{ sen}(n\omega t - \varphi_n)$$

Armónicos

¿Por qué es necesario detectar y eliminar los armónicos?

Los armónicos que circulan por las redes de distribución reducen la calidad de la alimentación eléctrica. Esto puede producir una serie de efectos negativos:

- Efectos a corto plazo.
- Efectos a largo plazo



Impactos económicos

- El envejecimiento prematuro (reducción del 5% hasta el 38% de la vida útil) del equipo hace que se tenga que sustituir con más frecuencia, a menos que se sobredimensione desde el principio.
- Las sobrecargas en la red de distribución pueden necesitar niveles de contratación de potencia superiores y aumentar las pérdidas.
- La distorsión de las ondas de corriente

Armónicos

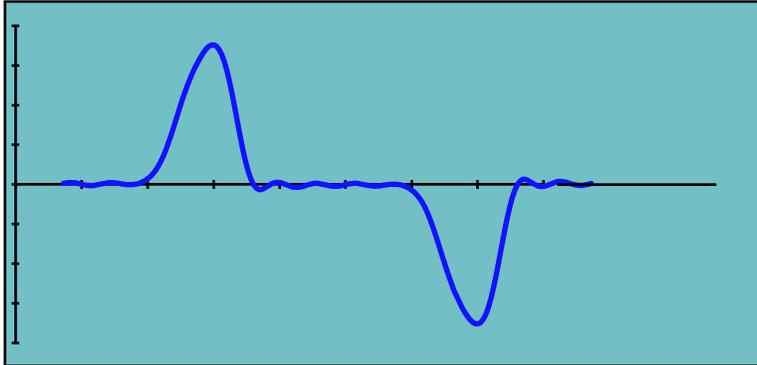
Efectos inmediatos

- Disparo intempestivo de las protecciones.
- Perturbaciones inducidas de los sistemas de corriente baja (telemando, telecomunicaciones).
- Vibraciones y ruidos anormales.
- Deterioro por sobrecarga térmica de condensadores o amplificación.
- Funcionamiento defectuoso de las cargas no lineales.

Efectos a largo plazo

- Calentamiento y degradación de los condensadores (pérdida de capacidad).
- Calentamiento debido a las pérdidas adicionales en los transformadores.
- Calentamiento de los embarrados, cables y equipos.
- Daños térmicos en motores y en generadores de inducción.

Armónicos



■ Rango :

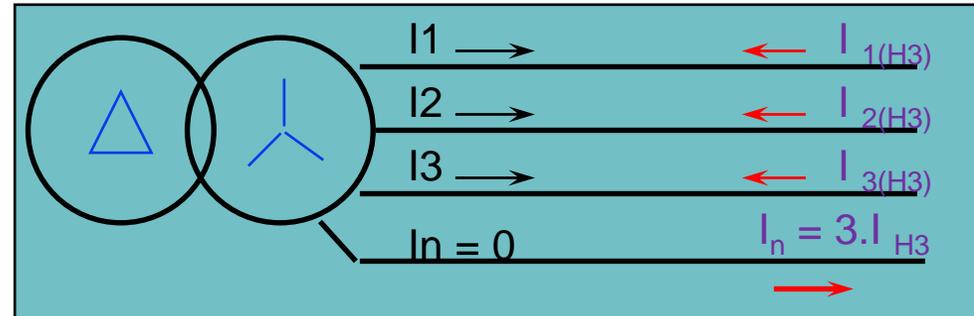
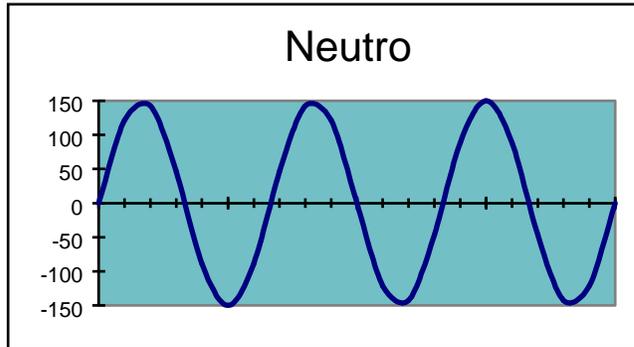
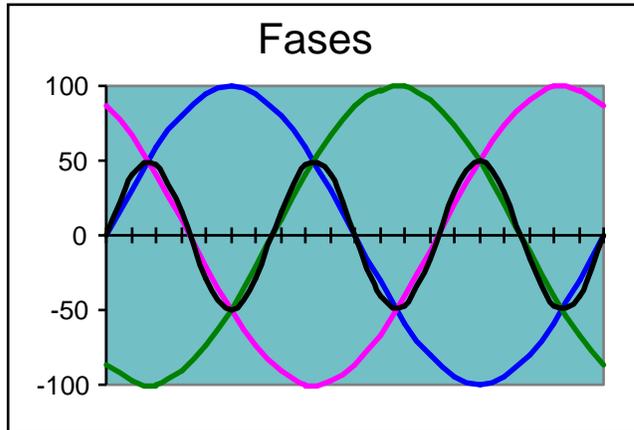
- El rango del armónico es el valor del entero que determina su frecuencia.
- Ejemplo: armónico de rango 5, frecuencia = 250 Hz (si F. fundamental = 50 Hz).

■ Espectro :

- El espectro de una señal es el gráfico que representa las amplitudes de los armónicos en función de su frecuencia.

Armónicos

Armónicos: particularidades rango 3



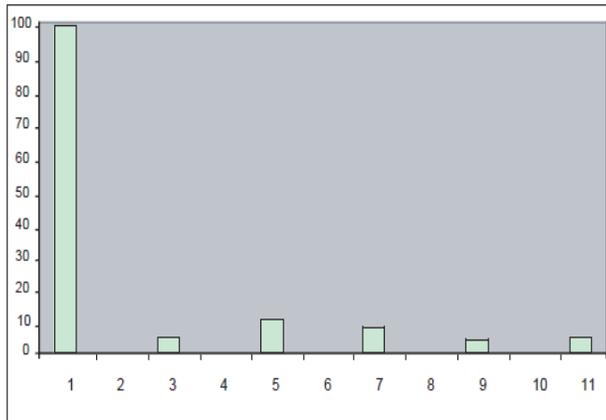
- I_{H3} es generado por todas las **cargas no lineales monofásicas** (alumbrado, micro/mini informática, ...).
- El conductor de neutro transmite **$3 \cdot I_{H3}$** y las corrientes del desequilibrio de la instalación.
- la sección del conductor de neutro debe ser adaptado (1,7 veces la sección de las fases para las alimentaciones del tipo R C D).
- El régimen de neutro deberá ser preferentemente TNS mejor que TNC (Conductor de neutro independiente del de protección).

Armónicos

Armónicos: valor eficaz RMS

- El valor eficaz de una señal periódica no sinusoidal es igual a :

Gráfico tipo del espectro de frecuencia



$$\begin{aligned} \text{Valor eficaz} &= \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2} \\ \text{Valor eficaz armónico} &= \sqrt{H_2^2 + \dots + H_n^2} \end{aligned}$$

H1 = componente fundamental.

H2, ..., Hn = componentes armónicos

El valor eficaz es también llamado valor **RMS (Root Mean Square)**

Ejemplo de calculo :

Cálculo de la corriente eficaz absorbida por una carga monofásica tipo informática:

I fundamental = 56,2A - IH₃ = 27,2A - IH₅ = 2,7A - IH₇ = 9,2A - IH₉ = 7,8A.

$$I \text{ eficaz} = \sqrt{56,2^2 + 27,2^2 + 2,7^2 + 9,2^2 + 7,8^2} = 63,6 \text{ A}$$

$$I \text{ eficaz armónica} = \sqrt{27,2^2 + 2,7^2 + 9,2^2 + 7,8^2} = 29,9 \text{ A} .$$

Armónicos

Armónicos: tasa de distorsión THD

- **Tasa de distorsión armónica :**

Es el resultado del valor eficaz de las armónicas respecto al valor eficaz de la fundamental (definición CIGRE)

$$THDF\% = 100 \times \frac{\sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}}{H_1}$$
$$THDR\% = 100 \times \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}}{\text{Valor eficaz}}$$

CEI 61000-2-2
+ usada

- **Tasa individual de armónicos :**

Es el resultado del valor eficaz de un armónico de rango "n" respecto al valor eficaz de la fundamental

$$THDF_n \% = \frac{H_n}{H_1}$$

$$THDR_n \% = \frac{H_n}{\text{Valor eficaz}}$$

Armónicos

Armónicos: Factor de cresta

- El factor de cresta :

Es el resultado del valor de cresta de una señal respecto a su valor eficaz

$$F_c = \frac{\text{Valor cresta}}{\text{Valor eficaz}}$$

Algunos ejemplos de factores de cresta :

- carga lineal $F_c = 1,414 = \sqrt{2}$
- carga informática $F_c = 2$ a $2,5$
- carga micro-informática $F_c = 2,2$ a $3,5$

Armónicos

Armónicos: Factor de potencia PF

■ El factor de potencia PF (λ)

Es el resultado de la potencia activa P respecto a la potencia aparente S

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

con P en W y S en VA.

El factor de potencia no debe ser confundido con el factor de desfasaje o

COS ϕ (Relativo a las fundamentales)

■ Ejemplo de cálculo :

Factor de potencia para una carga de tipo informática absorbiendo una potencia activa de 12 KW y una corriente eficaz de 74 A. a 220V.

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{12 \times 10^3}{74 \times 220} = 0.74$$

Armónicos

Armónicos: Factor de desfasaje DPF

- **El factor de desfasaje $\cos \varphi$**

Representa el coseno del ángulo de desfasaje entre las fundamentales de la tensión y de la corriente (50Hz).

$$\cos \varphi = \frac{P1}{S1}$$

P1 = potencia activa de la componente fundamental.

S1 = potencia aparente de la componente fundamental

- El $\cos \varphi$ es igualmente llamado DPF (Displacement Power Factor)
- En el caso donde las tensiones y corrientes son perfectamente sinusoidales el $\cos \varphi$ es igual al factor λ .
- Ej: Para una carga de tipo informática, el $\cos \varphi$ está próximo a 1 y el factor de potencia λ próximo a 0.74.

Armónicos

Armónicos de tensión

- **Si $THDu > 8\%$:** Contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso: se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- **Si $5\% < THDu < 8\%$:** Contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- **Si $THDu < 5\%$:** Se considera una situación normal (de 3 a 5% precaución).

Armónicos de corriente

- **Si $THDi > 50\%$:** Contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso: se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- **Si $10\% < THDi < 50\%$:** Contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- **Si $THDi < 10\%$:** Situación normal.

Compensación de reactiva

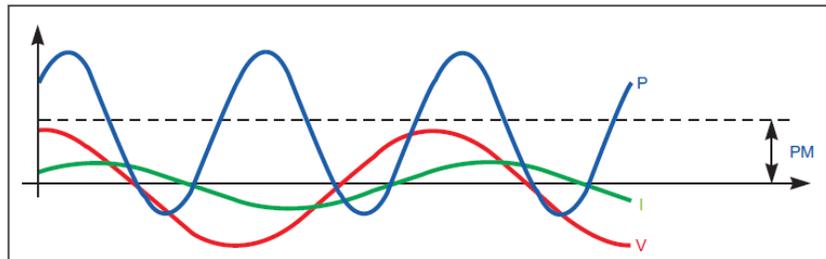
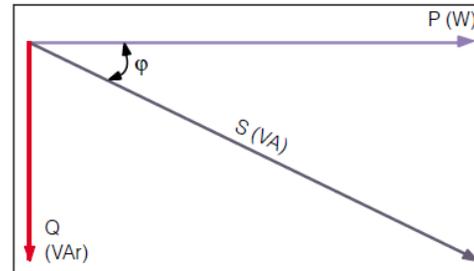
El factor de potencia

El factor de potencia (F) es la proporción de potencia activa en la potencia aparente. Coincide con el $\cos \phi$ si no hay armónicos.

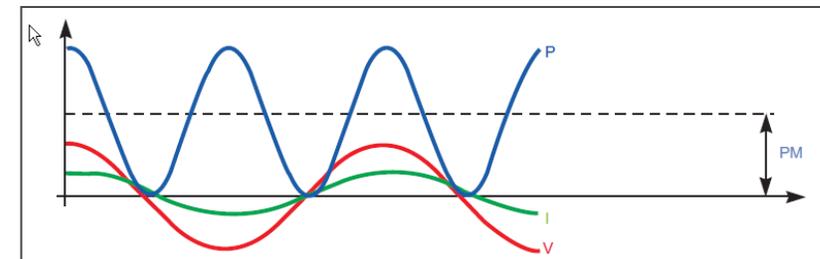
Es tanto mejor cuando se acerca al valor de 1 (de 0 a 1).

$$F = P \text{ (kW)} / S \text{ (kVA)} = \cos \phi$$

- P = potencia activa (W)
- S = potencia aparente (VA)
- F = factor de potencia ($\cos \phi$)



CosPhi = 0,78



CosPhi = 0,98

Compensación de reactiva

Beneficios Técnicos de la Compensación de Reactiva

- Aumento de la potencia disponible en la instalación (Transformadores)
- Reducción de la sección de los conductores a nivel de proyecto, ya que la intensidad de una instalación compensada es menor
- Disminución de las pérdidas por efecto Joule en conductores y transformadores (menos kWh)
- Reducción de las caídas de tensión, aguas arriba desde donde se conectan los condensadores

Compensación de reactiva

¿Cómo se compensa la instalación?

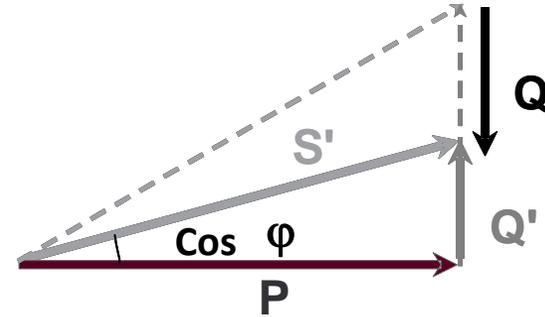
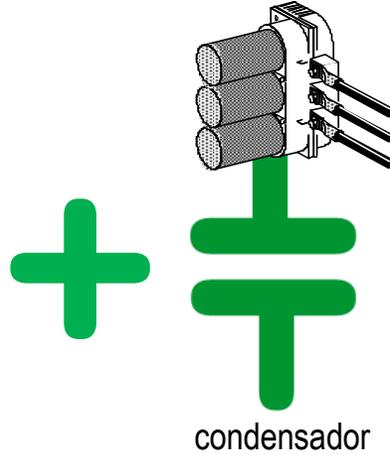
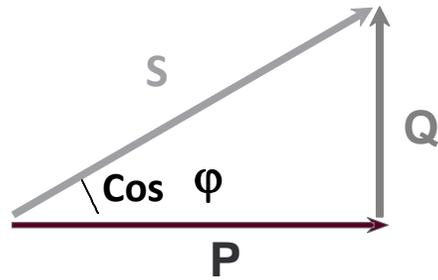
Añadiendo condensadores (o excepcionalmente con CAA)

- El condensador de potencia puede aportar energía reactiva a la instalación y contrarrestar la demanda de reactiva por determinados receptores.
- Un compensador activo de armónicos también puede compensar con su potencia no usada para compensar armónicos.



Compensación de reactiva

Triángulo de potencias



S = Potencia aparente
P = potencia activa
Q = potencia reactiva demandada

S' = Potencia aparente tras la compensación
P = potencia activa
Q' = Potencia reactiva tras la compensación
Q = Potencia reactiva compensada

cos φ

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$



Referido a componente fundamental

Factor de potencia

$$\lambda = \frac{P_{eff}}{S_{eff}}$$



Referido a valores RMS

Compensación de reactiva

Potencias y armónicos

Cos φ y Factor de Potencia PF

En una instalación con presencia de armónicos el PF **siempre** será menor a 1, aunque el $\cos \varphi = 1$.



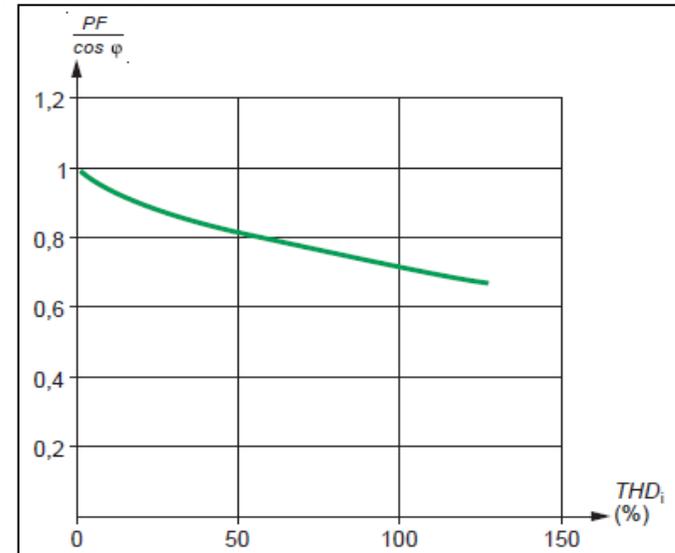
Se justifica la necesidad de colocar condensadores y eliminar (reducir) los armónicos para mejorar el rendimiento y eficiencia de la instalación

$\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

Factor de potencia PF

$$\lambda = \frac{P_{eff}}{S_{eff}}$$

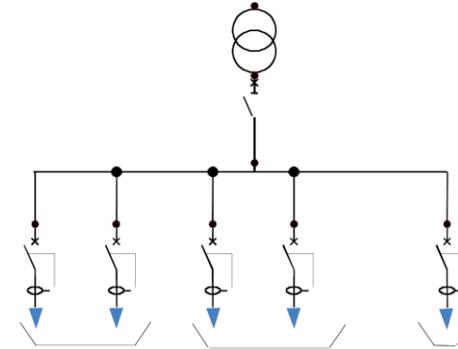


Compensación de reactiva

Soluciones para la atenuación de armónicos

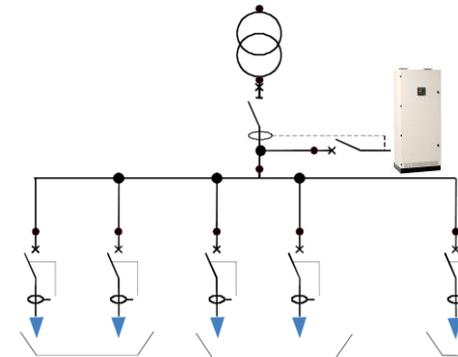
RED en AUSENCIA de CONDENSADORES

La polución es proporcional a las corrientes de las fuentes perturbadoras.



RED en PRESENCIA de CONDENSADORES

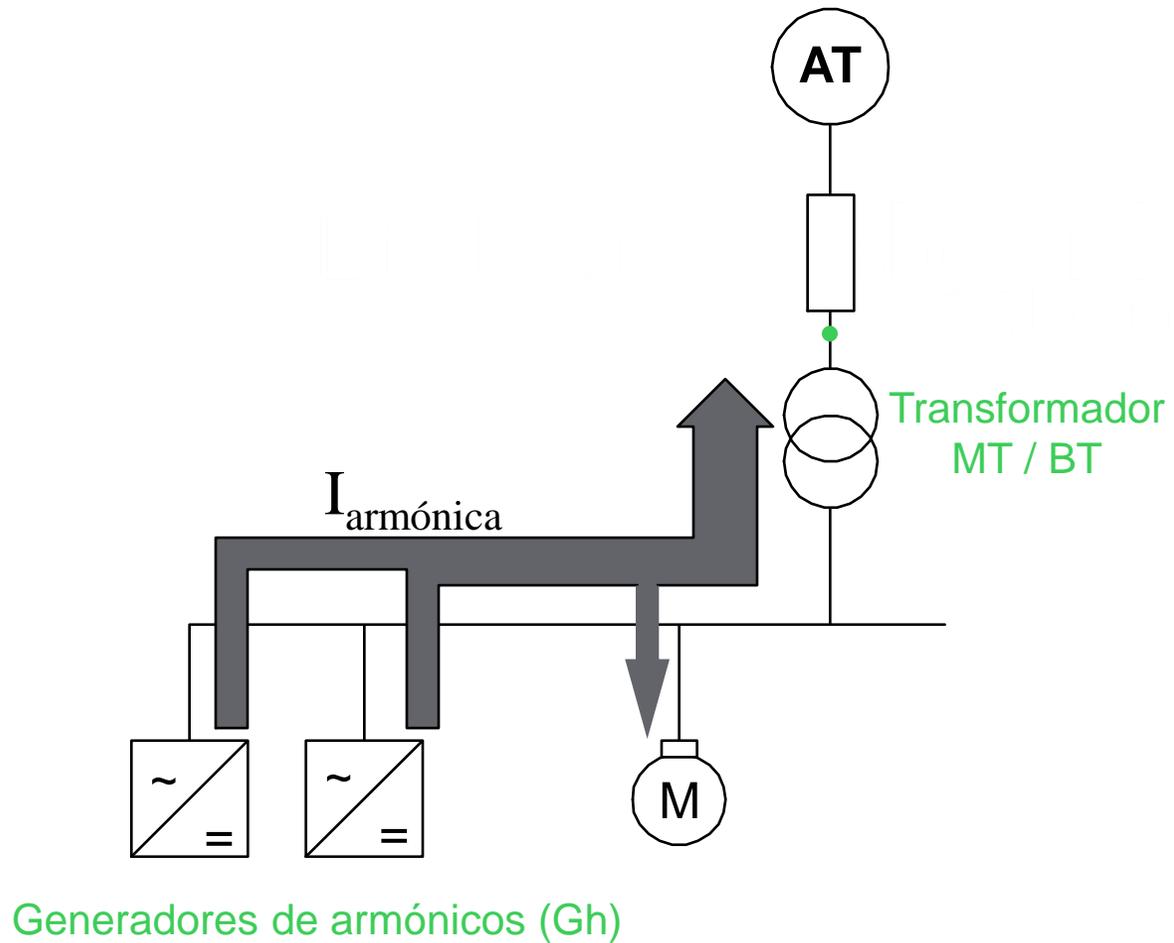
Las magnitudes armónicas (corrientes y tensiones) pueden ser peligrosamente amplificadas por el efecto RESONANCIA.



Compensación de reactiva

Armónicos

Red en ausencia de condensadores



Compensación de reactiva

Armónicos

Red en presencia de condensadores

Frecuencia de Resonancia paralelo h_{rp}

$$h_{rp} = \sqrt{\frac{P_{cc}}{Q}}$$

donde:

h_{rp} = rango de la frecuencia de resonancia paralelo.

P_{cc} = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de la batería.

Q = potencia de la batería de condensadores.

Factor de amplificación FA

$$FA = \frac{\sqrt{Q \times P_{cc}}}{P}$$

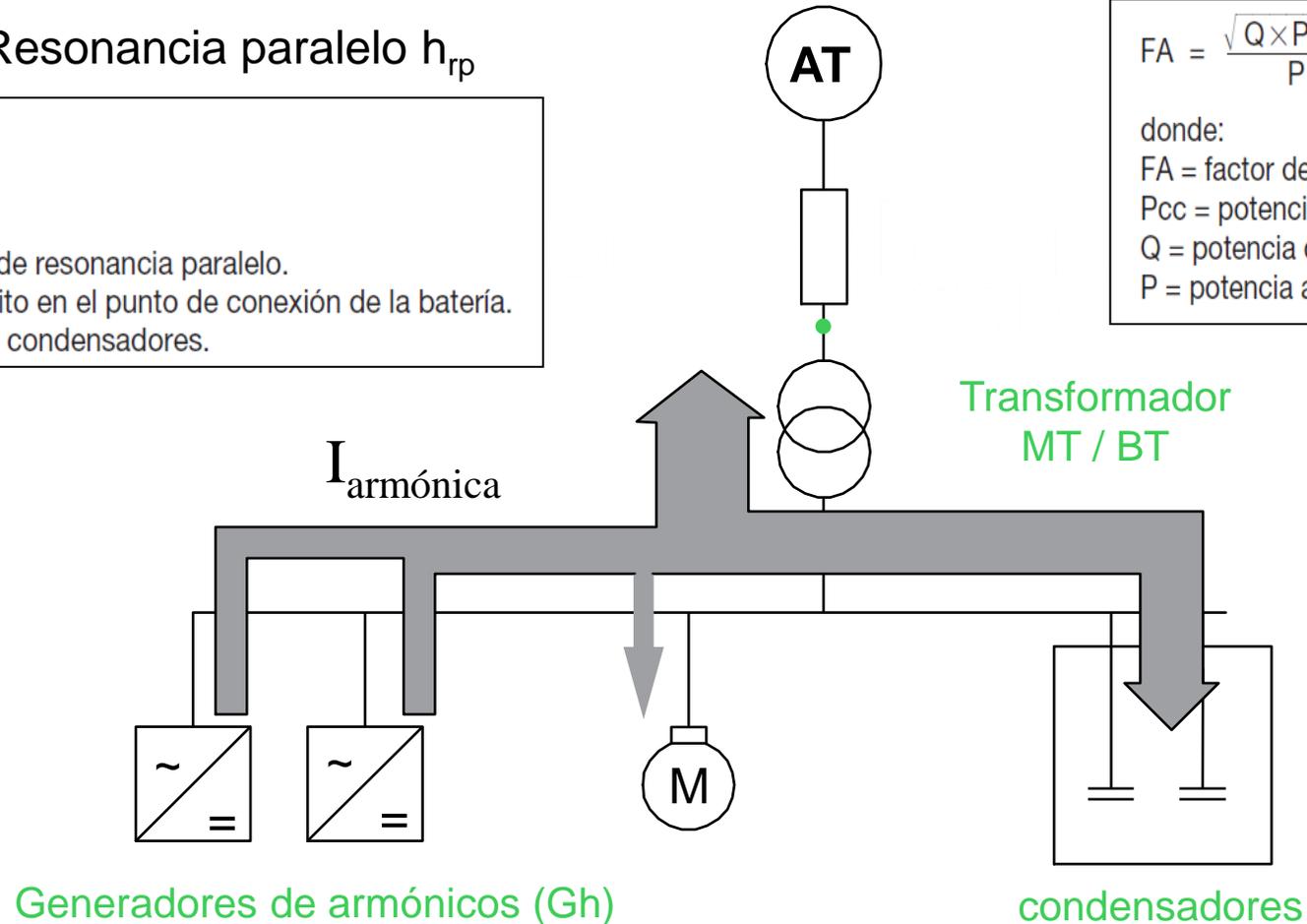
donde:

FA = factor de amplificación.

P_{cc} = potencia de cortocircuito en el punto de conexión de la batería.

Q = potencia de la batería de condensadores (kVAr).

P = potencia activa de la instalación (kW).

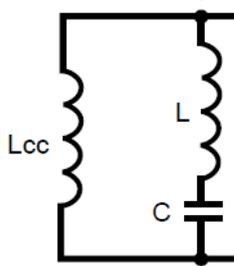


Compensación de reactiva

Condensadores y resonancia

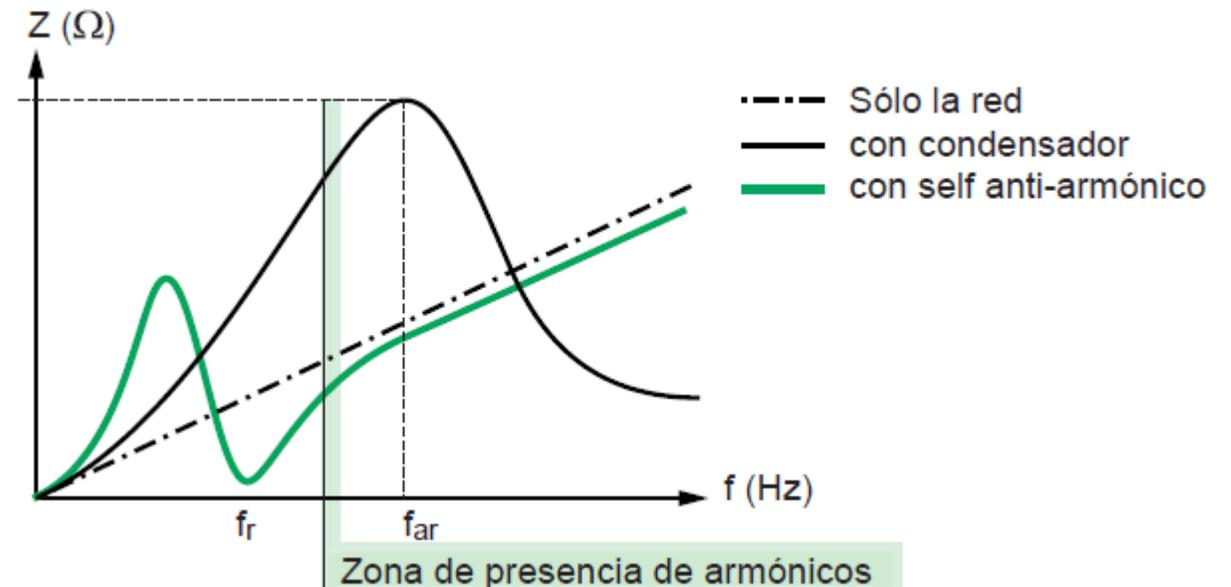
- Para evitar los problemas de resonancia --> mantener la frecuencia de resonancia tan lejos como sea posible de las frecuencias armónicas que tengan amplitudes considerables
- Solución más corriente: **conectar una reactancia en serie con el condensador (batería con filtro)**
 - Sintonizados a una frecuencia de resonancia serie inferior a la frecuencia más baja de las tensiones y corrientes armónicas presentes en la red.
 - Impedancia del conjunto L-C, es capacitiva por debajo de la Frec. Resonancia
 - Impedancia del conjunto L-C, es inductiva por encima de la Frec. Resonancia

Uso de inductancia antiarmónica



$f_{ar} : C-L_{cc}$ (red)

Si f_r (resonancia serie LC) queda por debajo del espectro del armónico los condensadores están bien protegidos



Compensación de reactiva

Condensadores y resonancia

Elección frecuencia de sintonización

La utilización de filtros desintonizados (equipos clase SAH), evita el riesgo de sobrecarga en los condensadores, ayuda a disminuir la distorsión armónica en la red al no producirse amplificación armónica.

La frecuencia de sintonía se puede expresar :

- por la impedancia relativa de la inductancia (en %)
- por el rango de sintonización o directamente en la frecuencia (Hz).

Los valores más comunes de la impedancia relativa son 5.7, 7 y 14%. (14% se utiliza con un alto nivel de tensiones armónicas del armónico 3^o).

Impedancia relativa %	Rango de sintonización	Frecuencia de sintonización (50 Hz)
5.7	4.2	210
7	3.8	190
14	2.7	135

Compensación de reactiva

Soluciones para la Compensación Energía Reactiva ante armónicos

Redes no contaminadas por armónicos: THD U < 1,5%



- Equipos con tensión nominal de los condensadores igual a la tensión de red.

Redes contaminadas por armónicos: THD U > 1,5% y <6%



- Equipos SAH (baterías con filtros de rechazo, sintonizados a 215 Hz). Si el THD U es >1,5% y <6% es necesario utilizar equipos SAH reforzados.

Redes muy contaminadas por armónicos: THD U > 6%



- Filtros pasivos de rechazo (filtros sintonizados) que pueden ir acompañados de filtros activos (C.A.A.).

Compensación de reactiva

Capacidad y Tensión

¿400V ó 440V como tensión nominal de la batería de condensadores?

A la hora de escoger un condensador o una batería de condensadores, hemos de atender a la **tensión asignada**.

La tensión normalizada, **en España, es 400 V entre fases**, para las redes trifásicas de 4 conductores y a una frecuencia de 50Hz .

No es lo mismo un equipo de 100 kvar / 400V que un equipo de 100 kvar /440V; en el primer caso tendremos realmente 100 kvar a 400V y en el segundo caso tendremos 82,6 kvar; es decir casi un 18% menos de potencia.

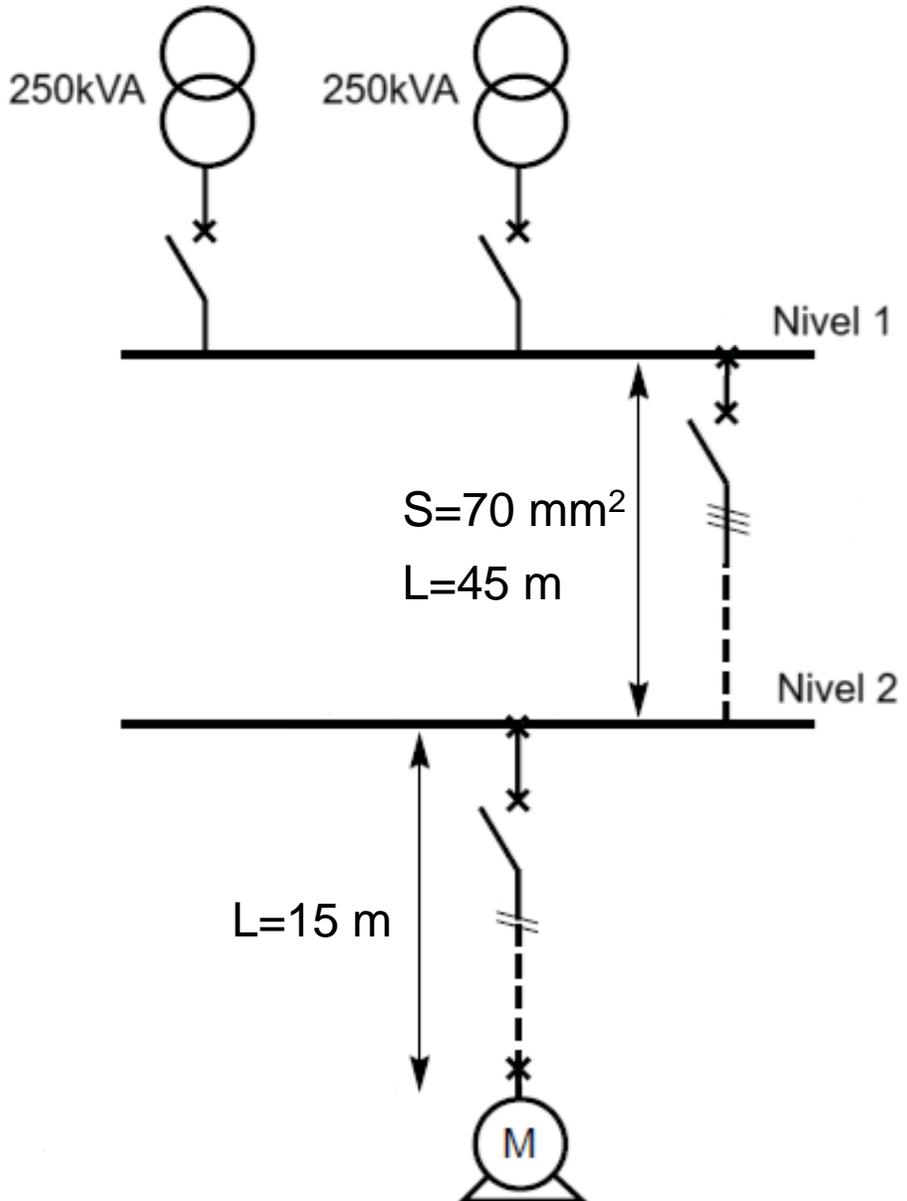
$$Q' = Q \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{400^2}{440^2} 100 = 82,6 \text{ kvar}$$

Escoger la tensión no es lo realmente complicado, lo difícil es saber si la potencia nominal del equipo es la que necesitamos o no.



Caso práctico

Caso práctico



Calcular la protección y la sección del cable a instalar desde un cuadro secundario del nivel 2 hasta una máquina de climatización de 12 kW, con alimentación monofásica a 230 V y cuyo factor de potencia es 0,8.

La línea tiene 15 m de longitud, con conductores de cobre multipolares, aislados con PVC e instalados bajo conducto empotrado en obra a una temperatura ambiente de 45°C.

El CGBT del nivel 1 está alimentado por 2 transformadores de aceite de 250 kVA en paralelo ($U_{cc}=4\%$).

El cable que une el CGBT con el cuadro secundario del nivel 2 tiene 45 m de longitud y una sección de 70 mm².

Para no superar el límite máximo del 5% desde el origen de la instalación interior, la caída de tensión que se puede admitir en la línea será del 1%.

Caso práctico

Cálculo del cable

Criterio 1: Intensidad admisible

$$F \cdot I_Z > I_B$$

Intensidad de carga máxima:

$$I_B = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} = \frac{12.000}{230 \cdot 0,8} = 65,2 \text{ A}$$

Conductores multipolares, aislados con PVC e instalados bajo conducto empotrado en obra



Método de instalación B2

Buscar en la fila del método de instalación el número conductores y tipo de aislamiento.
 Bajar hasta encontrar una Iz superior a la nominal calculada y seleccionar la sección.

A1		Conductores unipolares aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes		3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR													
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes	3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR															
B1		Conductores unipolares en tubos empotrados en obra o en montaje superficial			3x PVC	2x PVC					3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR											
B2		Cables multiconductores en tubos empotrados en obra o en montaje superficial			3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR												
C		Cables unipolares o multiconductores directamente sobre la pared o sobre bandejas no perforadas					3x PVC			2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR									
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3D o sobre bandejas perforadas, de rejilla o de escalera							3x PVC		2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D. Mismos sistemas que el tipo E, para S superior a 25 mm²								3x PVC				2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
			S (mm²)		2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
			INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES Iz (A)																				
Cobre			1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	20	21	23	-	
			2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	-	-	-
			4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	-	-	-
			6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	-	-	-
			10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	-	-	-
			16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	-	-	-
			25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146	-	-
			35	-	-	-	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182	-	-
			50	-	-	-	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220	-	-
			70	-	-	-	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282	-	-
			95	-	-	-	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	-	-
			120	-	-	-	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	-	-
			150	-	-	-	-	-	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	-	-
185	-	-	-	-	-	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	-	-			
240	-	-	-	-	-	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	-	-			

$S = 25\text{mm}^2$
 $Iz = 77\text{ A}$

Corrección por temperatura ambiente (50 °C):

Aislamiento	Temperatura ambiente del aire (°C)										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tipo PVC (termoplástico)	1,14	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78

Corrección por agrupamiento:

Punto	Disposición	Número de circuitos o de cables multipolares									
		1	2	3	4	6	9	12	16	20	
1	Agrupados en el aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente	1,00	0,80	0,70	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	
2	Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-	
3	Capa única fijada directamente al techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-	
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-	
5	Capa única sobre bandeja de escalera, soportes o bridas de amarre, etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-	

$$F \cdot I_Z > I_B \quad \Rightarrow \quad 0,91 \cdot 1 \cdot 77 = 70,1 > 65,2 \quad \Rightarrow \quad S_{ph} = 25\text{mm}^2$$

Criterio 2: Verificación de la caída de tensión

$$\frac{100 \cdot \Delta U}{U_n}$$

Caída de tensión admisible:

$$\Delta U < 1\% \cdot 230 = 2,3 \text{ V}$$

Sección en mm ²		Circuito monofásico			Circuito trifásico equilibrado		
		Potencia del motor		Iluminación	Potencia del motor		Iluminación
		Funcion. normal	Arranque		Funcion. normal	Arranque	
Cu	Al	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

$$S = 25 \text{ mm}^2$$

$$K = 1,5$$

Caída de tensión:

$$\Delta U = K \cdot I_B \cdot L = 1,5 \cdot 65,2 \cdot 0,015 = 1,47 \text{ V}$$

$$\Delta U < 1\%$$



$$S_{ph} = 25 \text{ mm}^2$$

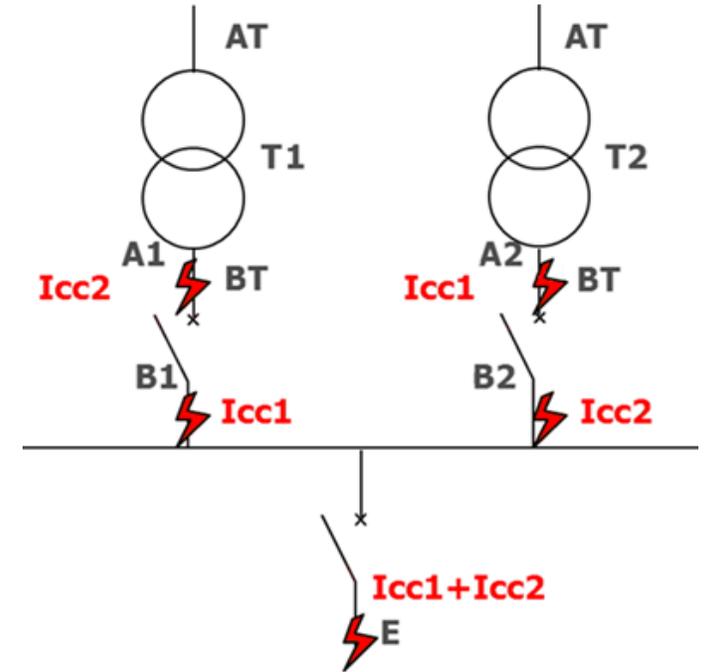
Criterio 3: Verificación de la corriente de cortocircuito

Resistencia térmica en cortocircuito:

$$I^2t = K^2S^2$$

Intensidad de cortocircuito en el nivel 1:

Transformadores				Pdc min. origen (kA)	Interruptor automático de origen	Pdc min. salida	Interruptor automático de salida				
P (kVA)	In (A)	Ucc (%)	Icc (kA)				≤ 100	160	250	400	630
1 transformador											
50	70	4	2	2	NS100N TM-D/STR22SE	2	NS100N				
100	141	4	4	4	NS160N TM-D/STR22SE	4	NS100N	NS160N			
160	225	4	6	6	NS250N TM-D/STR22SE	6	NS100N	NS160N	NS250N		
250	352	4	9	9	NS400N STR23SE/53UE	9	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
400	563	4	14	14	NS630N STR23SE/53UE	14	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
630	887	4	22	22	NS1000N NT10H1 NW10N1 Micrologic	22	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
800	1.127	6	19	19	NS1250N NT12H1 NW12N1 Micrologic	19	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
1.000	1.408	6	23	23	NS1600N NT16H1 NW16N1 Micrologic	23	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
1.250	1.760	6	29	29	NW20N1 Micrologic	29	NS100H	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
1.600	2.253	6	38	38	NW25H1 Micrologic	38	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	NS630N
2.000	2.816	6	47	47	NW32H1 Micrologic	47	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	NS630H
2.500	3.521	6	59	59	NW40H1 Micrologic	59	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	NS630H
2 transformadores											
50	70	4	2	2	NS100N TM-D/STR22SE	4	NS100N	NS160N			
100	141	4	4	4	NS160N TM-D/STR22SE	7	NS100N	NS160N	NS250N		
160	225	4	6	6	NS250N TM-D/STR22SE	11	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	
250	352	4	9	9	NS400N STR23SE/53UE	18	NS100N	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
400	563	4	14	14	NS630N STR23SE/53UE	28	NS100H	NS160N	NS250N	NS400N	NS630N
630	887	4	22	22	NS1000N NT10H1 NW10N1 Micrologic	44	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	NS630N
800	1.127	6	19	19	NS1250N NT12H1 NW12N1 Micrologic	38	NS100H	NS160H	NS250H	NS400N	NS630N
1.000	1.408	6	23	23	NS1600N NT16H1 NW16N1 Micrologic	47	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	NS630H
1.250	1.760	6	29	29	NW20N1 Micrologic	59	NS100H	NS160H	NS250H	NS400H	NS630H
1.600	2.253	6	38	38	NW25H1 Micrologic	75	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	NS630L
2.000	2.816	6	47	47	NW32H1 Micrologic	94	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	NS630L
2.500	3.521	6	59	59	NW40H1 Micrologic	117	NS100L	NS160L	NS250L	NS400L	NS630L



$$I_{CC1} = 18 \text{ kA}$$

Intensidad de cortocircuito en el nivel 2:

Cobre 230 V / 400 V																																							
sección de conduct. fase (mm ²)	Longitud del circuito (en metros)																																						
1,5																		1,3	1,8	2,6	3,6	5,2	7,3	10,3	14,6	21													
2,5																		1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17,2	24	34											
4																		1,2	1,7	2,4	3,4	4,9	6,9	9,7	13,7	19,4	27	39	55										
6																		1,8	2,6	3,6	5,2	7,3	10,3	14,6	21	29	41	58	82										
10																		2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12,2	17,2	24	34	49	69	97	137									
16																		1,7	2,4	3,4	4,9	6,9	9,7	13,8	19,4	27	39	55	78	110	155	220							
25																		1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,8	15,2	21	30	43	61	86	121	172	243	343					
35																		1,9	2,7	3,8	5,3	7,5	10,6	15,1	21	30	43	60	85	120	170	240	340	480					
47,5																		1,8	2,6	3,6	5,1	7,2	10,2	14,4	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461					
70																		2,7	3,8	5,3	7,5	10,7	15,1	21	30	43	60	85	120	170	240	340							
95																		2,6	3,6	5,1	7,2	10,2	14,5	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461						
120																		1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18,3	26	37	52	73	103	146	206	291	412					
150																		1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	9,9	14,0	19,8	28	40	56	79	112	159	224	317	448				
185																		1,5	2,1	2,9	4,2	5,9	8,3	11,7	16,6	23	33	47	66	94	133	187	265	374	529				
240																		1,8	2,6	3,7	5,2	7,3	10,3	14,6	21	29	41	58	83	117	165	233	330	466	659				
300																		2,2	3,1	4,4	6,2	8,8	12,4	17,6	25	35	50	70	99	140	198	280	396	561					
2 x 120																		2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18,3	26	37	52	73	103	146	206	292	412	583					
2 x 150																		2,5	3,5	5,0	7,0	9,9	14,0	20	28	40	56	79	112	159	224	317	448	634					
2 x 185																		2,9	4,2	5,9	8,3	11,7	16,6	23	33	47	66	94	133	187	265	375	530	749					
553 x 120																		3,4	4,9	6,9	9,7	13,7	19,4	27	39	55	77	110	155	219	309	438	619						
3 x 150																		3,7	5,3	7,5	10,5	14,9	21	30	42	60	84	119	168	238	336	476	672						
3 x 185																		4,4	6,2	8,8	12,5	17,6	25	35	50	70	100	141	199	281	398	562							
I_{cc} aguas arriba (en kA)	I_{cc} aguas abajo (en kA)																																						
100	93	90	87	82	77	70	62	54	45	37	29	22	17,0	12,6	9,3	6,7	4,9	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9																	
90	84	82	79	75	71	65	58	51	43	35	28	22	16,7	12,5	9,2	6,7	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9																	
80	75	74	71	68	64	59	54	47	40	34	27	21	16,3	12,2	9,1	6,6	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9																	
70	66	65	63	61	58	54	49	44	38	32	26	20	15,8	12,0	8,9	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8	1,3	0,9																	
60	57	56	55	53	51	48	44	39	35	29	24	20	15,2	11,6	8,7	6,5	4,7	3,4	2,5	1,8	1,3	0,9																	
50	48	47	46	45	43	41	38	35	31	27	22	18,3	14,5	11,2	8,5	6,3	4,6	3,4	2,4	1,7	1,2	0,9																	
40	39	38	38	37	36	34	32	30	27	24	20	16,8	13,5	10,6	8,1	6,1	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9																	
35	34	34	33	33	32	30	29	27	24	22	18,8	15,8	12,9	10,2	7,9	6,0	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9																	
30	29	29	29	28	27	27	25	24	22	20	17,3	14,7	12,2	9,8	7,6	5,8	4,4	3,2	2,4	1,7	1,2	0,9																	
25	25	24	24	24	23	23	22	21	19,1	17,4	15,5	13,4	11,2	9,2	7,3	5,6	4,2	3,2	2,3	1,7	1,2	0,9																	
20	20	20	19,4	19,2	18,8	18,4	17,8	17,0	16,1	14,9	13,4	11,8	10,1	8,4	6,8	5,3	4,1	3,1	2,3	1,7	1,2	0,9																	
15	14,8	14,8	14,7	14,5	14,3	14,1	13,7	13,3	12,7	11,9	11,0	9,9	8,7	7,4	6,1	4,9	3,8	2,9	2,2	1,6	1,2	0,9																	
10	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,6	9,4	9,2	8,9	8,5	8,0	7,4	6,7	5,9	5,1	4,2	3,4	2,7	2,0	1,5	1,1	0,8																	
7	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,4	6,2	6,0	5,6	5,2	4,7	4,2	3,6	3,0	2,4	1,9	1,4	1,1	0,8																	
5	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,4	3,0	2,5	2,1	1,7	1,3	1,0	0,8																	
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,2	1,0	0,7																	
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7																	
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6																	
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5																	

Buscar en la fila de la sección la longitud del conductor igual a la del circuito en cuestión (o el valor más próximo por debajo).

$$I_{CC2} = 10,1 \text{ kA}$$

Criterio 3: Verificación de la corriente de cortocircuito

Sección mínima:

$$S = \frac{I_{CC} \cdot \sqrt{t}}{K}$$

Cálculo de la protección magnetotérmica

Intensidad de carga máxima:

$$I_B = 65,2 A$$

Intensidad de cortocircuito (valor eficaz):

$$I_{CC2} = 10,1 kA$$

Intensidad de pico del primer ciclo:

$$I_p = 2\sqrt{2} \cdot I_{CC2} = 2\sqrt{2} \cdot 10,1 = 28,6 kA$$

Poder de Corte:

$$I_{cu} > I_{CC2}$$

Poder asignado de cierre en cortocircuito:

$$I_{cm} > I_p$$

Intensidad regulada:

$$I_r > I_B$$

Poder de Corte:

$$I_{cu} > 10,1 \text{ kA}$$

Poder asignado de cierre en cortocircuito:

$$I_{cm} > 28,6 \text{ kA}$$



$$I_{cu} > 14,3 \text{ kA}$$

Intensidad regulada:

$$I_r > 65,2 \text{ A}$$

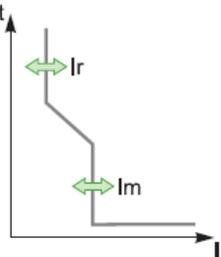
UNE-EN 60947-2

Tabla 2 - Relación n entre el poder de cierre en cortocircuito y el poder de corte en cortocircuito y el factor de potencia correspondiente (para interruptores automáticos de corriente alterna)

Poder de corte en cortocircuito I kA valor eficaz	Factor de potencia	Valor mínimo exigido de n $n = \frac{\text{poder de cierre en cortocircuito}}{\text{poder de corte en cortocircuito}}$
$I \leq 1,5$	0,95	1,41
$1,5 < I \leq 3$	0,9	1,42
$3 < I \leq 4,5$	0,8	1,47
$4,5 < I \leq 6$	0,7	1,53
$6 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Interrupedores automáticos			NSX100					
Tipo de poder de corte								
Características eléctricas según IEC 60947-2								
Corriente nominal (A)	In	40 °C	100					
Número de polos			2 ^(*) , 3, 4					
Poder de corte último (kA rms)								
	Icu	AC 50/60 Hz	220/240 V	85	90	100	120	150
			380/415 V	36	50	70	100	150
			440 V	35	50	65	90	130
			500 V	25	36	50	65	70
			525 V	22	35	35	40	50
			660/690 V	8	10	10	15	20
Poder de corte en servicio (kA rms)								
	Ics	AC 50/60 Hz	220/240 V	85	90	100	120	150
			380/415 V	36	50	70	100	150
			440 V	35	50	65	90	130
			500 V	12.5	36	50	65	70
			525 V	11	35	35	40	50
			660/690 V	4	10	10	15	20

Thermal-magnetic trip units TM16D to 250D



Ratings (A)	In at 40 °C ^[1]	16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Circuit breaker	Compact NSX100	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-
	Compact NSX160	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-
	Compact NSX250	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●

Thermal protection

Pick-up (A) tripping between 1.05 and 1.20 Ir

Ir = In x ... adjustable in amps from 0.7 to 1 x In

Time delay (s)

tr non-adjustable

tr at 1.5 x In 120 to 400

tr at 6 x Ir 15

Magnetic protection

Pick-up (A) accuracy ±20 %

Im fixed adjustable

Compact NSX100 190 300 400 500 500 500 640 800

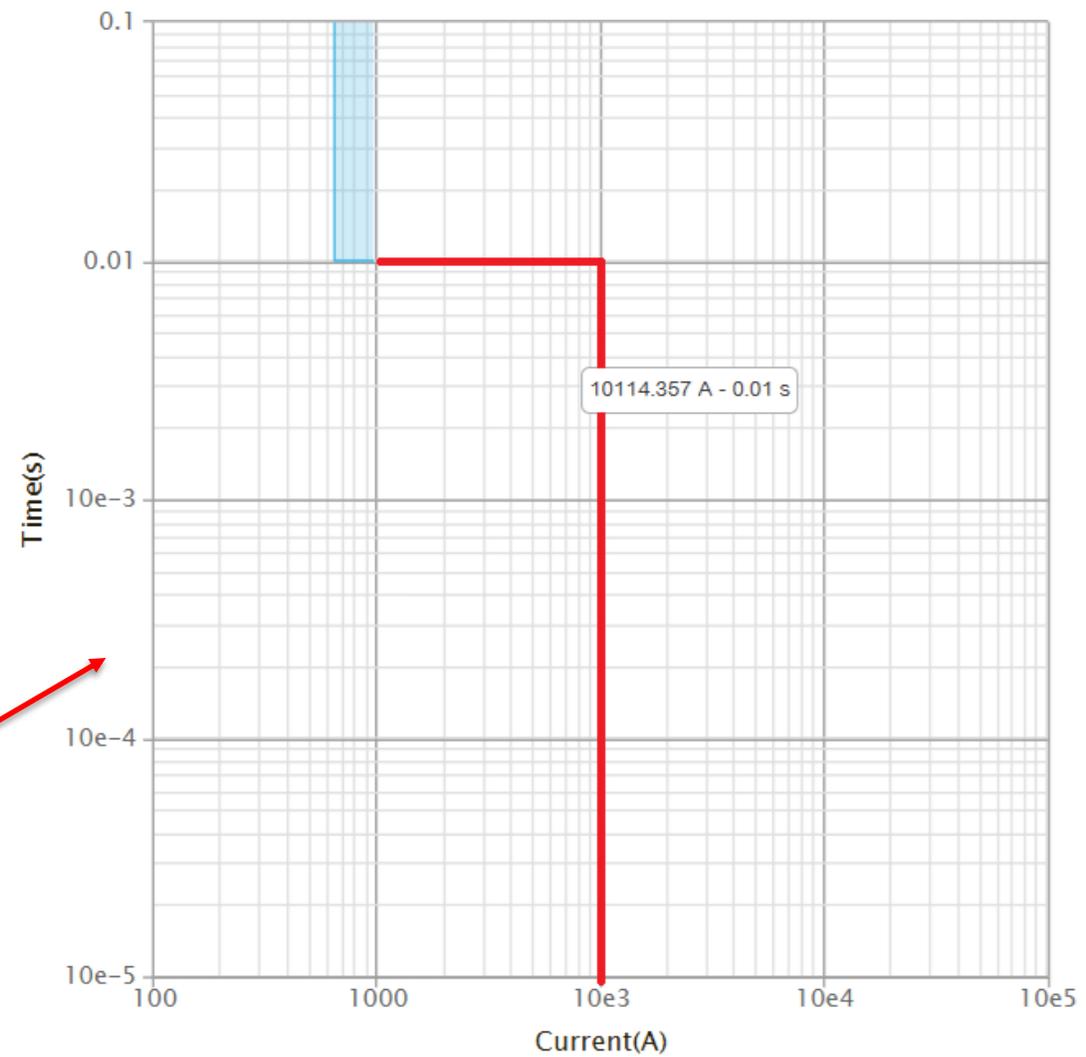
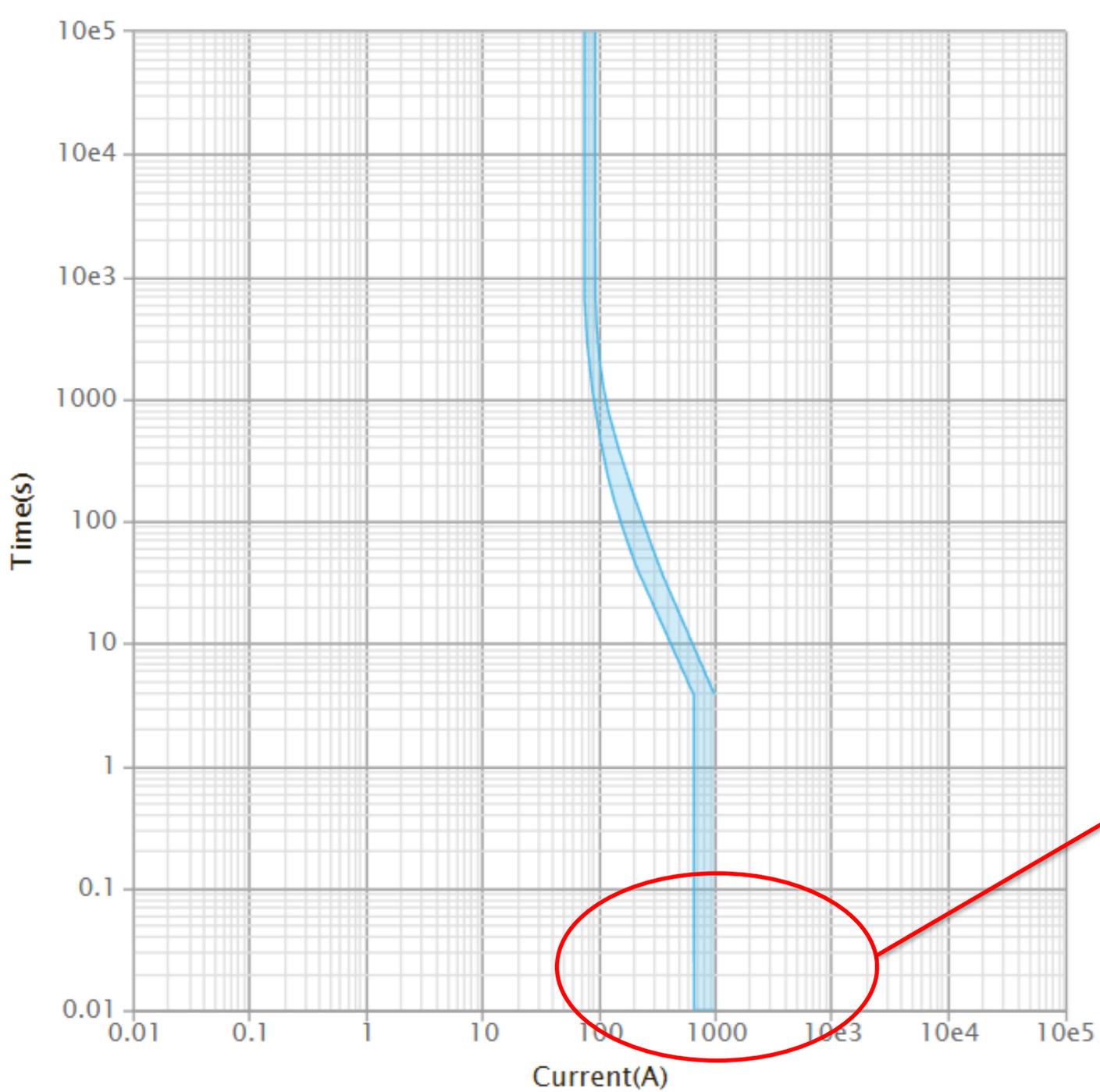
Compact NSX160/250 190 300 400 500 500 500 640 800 1250 1250 5 to 10xIn

Time delay **tm** fixed

Neutral protection

Unprotected neutral 4P 3D no detection

Fully protected neutral 4P 4D 1 x Ir



Criterio 3: Verificación de la corriente de cortocircuito

Sección mínima:
$$S = \frac{I_{CC} \cdot \sqrt{t}}{K} = \frac{10.100 \cdot \sqrt{0,01}}{115} = \frac{10.100 \cdot \sqrt{0,01}}{115} = 8,8 \text{ mm}^2$$

CONDUCTOR	AISLAMIENTO	K
COBRE	PVC	115
	XLPE-EPR	143
ALUMINIO	PVC	76
	XLPE-EPR	94

Sección mínima = 8,8 mm² → $S_{ph} = 25 \text{ mm}^2$

Circuitos monofásicos o aquellos con sección ≤ 16 mm² (cobre): $S_N = S_{ph}$ → $S_N = 25 \text{ mm}^2$

Sección de conductores de fase S_{ph} (mm ²)	Sección del conductor PE		Sección del conductor PEN
	Cu	Al	
Método simplificado	≤ 16	≤ 16	$S_{PE} = S_{ph}^{(1)}$
		25	$S_{PE} = 16$
	25, 35	35	
	> 35	> 35	$S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$

$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$

Cálculo de la protección diferencial

Intensidad nominal:

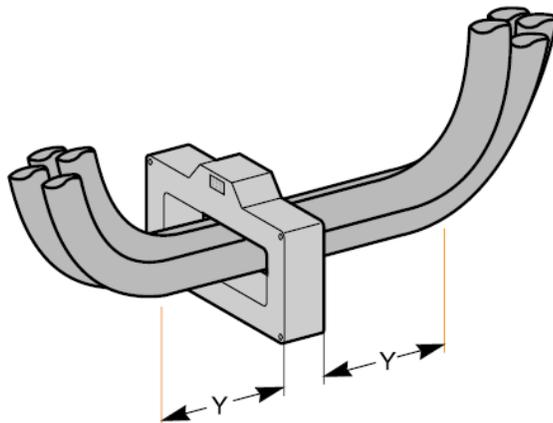
$$I = 70 A$$

Tipo de ID		Interruptor diferencial IDc 2P (230 V)		Interruptor diferencial ID									
		2P (230 V)					4P (400 V)						
Calibre (A)		25	40	25	40	63	80	100	25	40	63	80	100
Interruptor automático	iDPN	6	6	6	6				6	6			
	iDPN N	10	10	10	10				10	10			
multi 9	C60N	10	10	20	20	20			10	10	10		
	C60H	15	15	30	30	30			15	15	15		
	C60L	20	20	50	45	30			25	20	15		
	NC100H	6	6	5	5	10	10	10	7	7	7	5	5
	C120N/C120H			10	10	10	10	10	7	7	7	7	7
	NG125N	10	10	15	15	15	15	7	15	15	15	15	7
Compact	NS100			6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
	NS160				6	6	6	6		4	4	4	4



Interruptor diferencial no protegido por el magnetotérmico

Solución: Relé diferencial con toroidal separado (clase A 'si')



Elección de los toroidales en función del circuito de potencia (*)

Cables de cobre 3P + N

Corriente asignada de empleo (Ie)	Sección máx. por fase	Toroidales
65 A	25 mm ²	TA30
85 A	50 mm ²	PA50 o POA
160 A	95 mm ²	IA80
250 A	240 mm ²	MA120 o GOA
400 A	2 × 185 mm ²	SA200
630 A	2 × 240 mm ²	GA300
1.600 A	4 × 240 mm ²	280 × 115 mm

Resultado caso práctico:



Protección magnetotérmica:

- Interruptor Caja Moldeada: Compact NSX100F 2P 100A TMD
Poder de Corte a 230 V: $I_{cu} > 36 \text{ kA}$
Poder asignado de cierre en cortocircuito: $I_{cm} > 72 \text{ kA}$
Intensidad regulada: $I_r > 70 \text{ A}$



Protección diferencial:

- Relé diferencial con toroidal separado: Vigirex RH99 con PA50
Intensidad asignada: $I_n = 100 \text{ A}$
Sensibilidad: Regulable (30 mA – 30 A)
Clase: Clase A 'si'

Cable:

- Conductores de cobre multipolares aislados con PVC
Sección de fase: $S_{ph} = 25 \text{ mm}^2$
Sección de neutro: $S_N = 25 \text{ mm}^2$
Sección de cable de protección: $S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$





FUTURE



DIGITAL