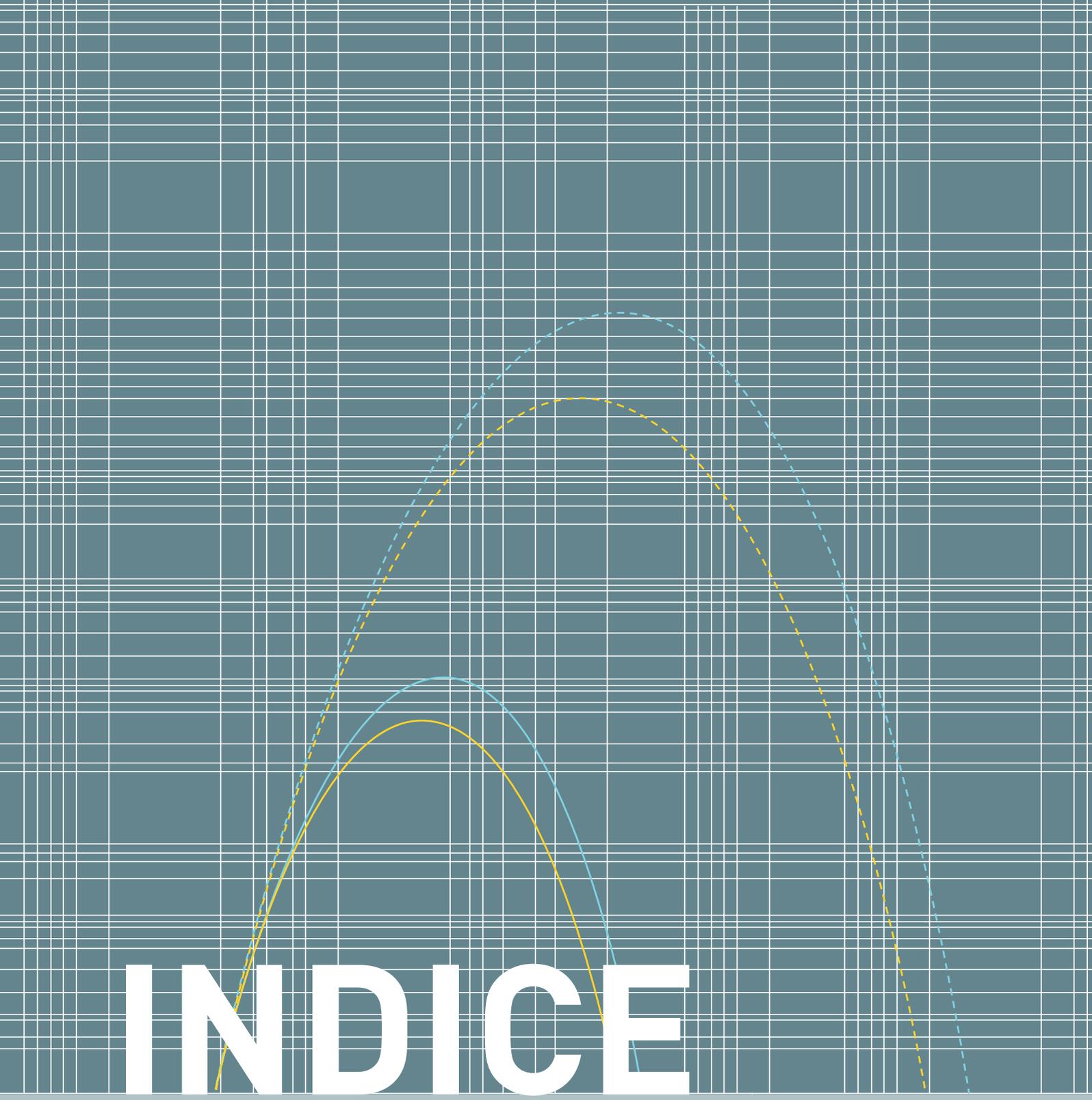


Esta Guía tiene por misión ayudar a la concepción y diseño de las redes de distribución eléctrica de baja tensión, la que simplificará la elección de los productos y también su instalación. No pretende reemplazar textos legales, normas, ni reglamentos, todos ellos esenciales en nuestra actividad. Este documento contiene muchas citas normativas y reglamentarias que invitamos a considerar.

Esta Guía recoge aspectos normativos y reglamentarios nacionales e internacionales, sin olvidar la teoría y ciertamente le propone ideas y soluciones prácticas.

Expresión de los conocimientos y experiencia de los profesionales del rubro, este documento considera además muchos aspectos de seguridad y aporta numerosos consejos que dan confianza, constituyéndose así en una herramienta referencial.

Ponemos a vuestra disposición esta herramienta que ilustra la voluntad de Legrand de estar cerca de sus clientes, para proponer la mejor oferta de productos y servicios: capacitación, asistencia en terreno y telefónica, servicios on line (www.legrand.cl) y con la más amplia red de Distribuidores en todo el país.

The image features a dark teal background with a white grid pattern. Overlaid on the grid are several overlapping arcs in light blue and yellow. Some arcs are solid lines, while others are dashed. The arcs are arranged in a way that they appear to be part of a larger, partially visible shape or structure. The word 'INDICE' is written in large, white, bold, sans-serif capital letters across the bottom of the grid area.

INDICE

■ I - EL PROYECTO	4
■ I.A - La alimentación eléctrica	6
■ I.B - Consideraciones de los riesgos	42
■ I.C - Los principios de la protección	84
■ I.D - Esquemas de conexión a tierra	180
■ II - ELECCIONES	202
■ II.A - Dimensionamiento de conductores y protecciones	204
■ II.B - Elección de los equipos de protección	250
■ II.C - Las funciones de explotación	306
■ II.D - La repartición	354
■ II.E - Elección de las envolventes	400
■ III - LA REALIZACIÓN	458
■ III.A - Instalación de las envolventes	460
■ III.B - El montaje de los juegos de barra	498
■ III.C - Instalación de los aparatos	522
■ III.D - Montaje de los dispositivos de distribución XL-Part	546
■ III.E - Cableado y conexiones	564
■ III.F - Manipulación e instalación en obra de los tableros	614
■ III.G - Certificación de los tableros	626
■ IV - LOS PRODUCTOS	654
■ V - INDICE POR PALABRA	690



EL PROYECTO

■ I. A - LA ALIMENTACION ELECTRICA	6
■ I.A.1 - La distribución de la energía	8
■ I.A.2 - Alimentaciones	28
■ I.A.3 - Fuentes de alimentación	32
■ I. B - CONSIDERACIONES DE LOS RIESGOS	42
■ I.B.1 - Seguridad de las personas	44
■ I.B.2 - Seguridad de los bienes	48
■ I. C - LOS PRINCIPIOS DE LA PROTECCIÓN	84
■ I.C.1 - Protecciones contra los contactos eléctricos	86
■ I.C.2 - Protección contra perturbaciones electromagnéticas	90
■ I.C.3 - Protección contra la corrosión	98
■ I.C.4 - Protección contra el rayo	112
■ I.C.5 - Reglas de construcción	132
■ I. D - ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA	180
■ I.D.1 - Los diferentes regímenes de neutro	182
■ I.D.2 - Regímenes de neutro de grupos electrógenos	190
■ I.D.3 - Elección de régimen de neutro	192
■ I.D.4 - La estructura de la red de protección	198

LA ALIMENTACIÓN ELECTRICA

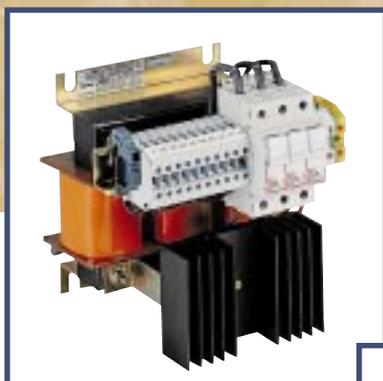
Crear la conexión entre la empresa concesionaria de servicio público de distribución con las instalaciones interiores de los clientes finales, incluyendo las fuentes auxiliares de alimentación consideradas, es el primer objetivo de la interfaz que constituye el denominado “punto de suministro, una frontera neurológica en la que convergen principalmente: la cantidad de potencia, las condiciones de suministro, la arquitectura de las redes de alimentación y las fuentes que las constituyen.

Un buen análisis de proyectos eléctricos, exige ante todo una reflexión correcta en la fase preliminar. Es indispensable realizar, a lo menos, estudios tales como:

- evaluación de las condiciones de uso de las cargas asociadas a la red.
- estimación global de las demandas máximas previstas integrando la totalidad de las cargas relacionadas.

- estudio topológico de la arquitectura (dimensiones, vías de tendido eléctrico).
- criterios de explotación (continuidad y calidad del suministro).
- estudio de las normas y reglamentos.

Un trabajo que no se puede improvisar y que requiere la intervención de profesionales calificados.



Aparte de los criterios insoslayables de seguridad que deben poseer las instalaciones eléctricas, tanto para ellas mismas como para sus usuarios, surgen exigencias complementarias: tipo de suministro, alternativa tarifaria, calidad de la energía, continuidad del servicio; que son algunos de los elementos cruciales que han de tenerse en cuenta desde el inicio de un proyecto.

La distribución de energía

La electricidad es una de las energías de mayor y variado uso en la actualidad. Nos permite realizar prácticamente el total de nuestras actividades diarias, sin ella, nuestro mundo tecnológico no existiría. Su producción es relativamente simple, pero los grandes generadores se encuentran muy alejados de los puntos de consumo de los clientes; es por esto, que existen las concesiones de servicio público de distribución, las que toman la energía generada por los productores (canalizada por los transmisores), y las llevan por sus propias redes a los consumidores finales.

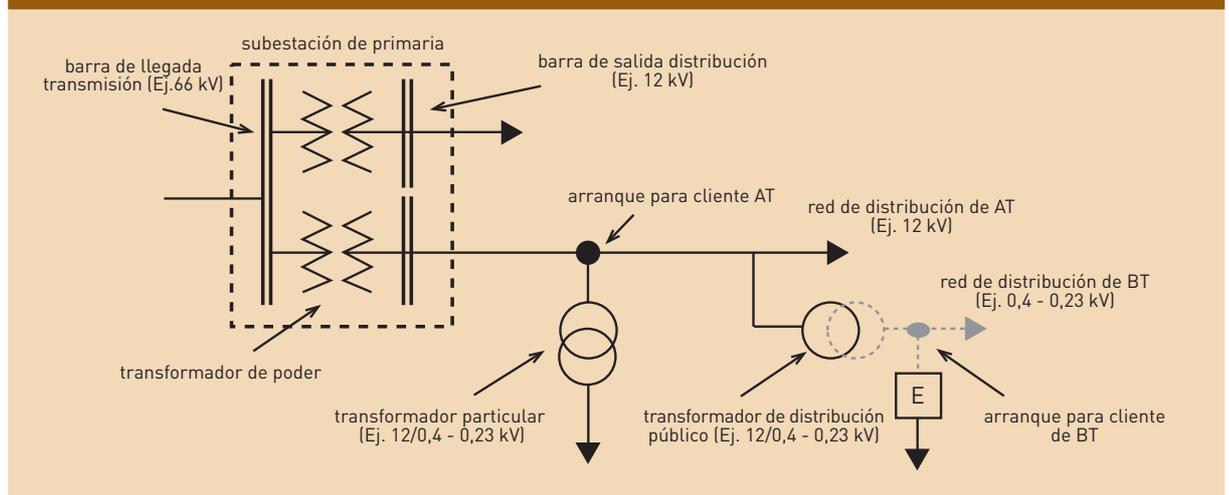
Según el Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos (Decreto Supremo N° 327), las concesiones de servicio público de distribución son aquellas que habilitan a su titular para establecer, operar y explotar instalaciones de distribución de electricidad dentro de una zona determinada (llamada comúnmente zona de concesión), y efectuar suministro de energía eléctrica a usuarios finales ubicados dentro de dicha zona y a los que, ubicados fuera de ella, se conecten a sus instalaciones mediante líneas propias o de terceros. Este suministro puede ser de dos niveles: alta tensión o baja tensión.

Las redes de las empresas eléctricas concesionarias tienen como punto de partida las denominadas subestaciones de distribución primaria, cuyo objetivo es el de reducir el voltaje desde el nivel de transporte al de alta tensión de distribución. Las redes de alta tensión de distribución de las empresas eléctricas son llamadas comúnmente en esta parte de los sistemas como: "alimentadores", las que pueden ser tanto aéreas como subterráneas, y que a la vez, pueden alimentar directamente a clientes de grandes potencias que cuentan con transformadores propios (llamados clientes de AT), o bien, a sub redes por medio de transformadores públicos que

poseen potenciales de salida con niveles de baja tensión de distribución, a las que se conectan clientes que poseen requisitos de potencia bajos y medianos. A estas redes de baja tensión normalmente se les llama: circuitos.

Tensiones normales para sistemas e instalaciones NSEG 8.E.n.75		
Nivel de tensión	Campos	Tensión nominal "V" en (kV)
Alta tensión	Tensión extra alta	$V > 220$
	Tensión alta	$60 < V \leq 220$
	Tensión Media	$1 < V \leq 60$
Baja tensión	Tensión Baja	$0,1 < V \leq 1$
	Tensión Reducida	$V \leq 0,1$

Esquema representativo de las redes de distribución de las empresas concesionarias de servicio público



1 ESQUEMAS DE DISTRIBUCION PUBLICOS

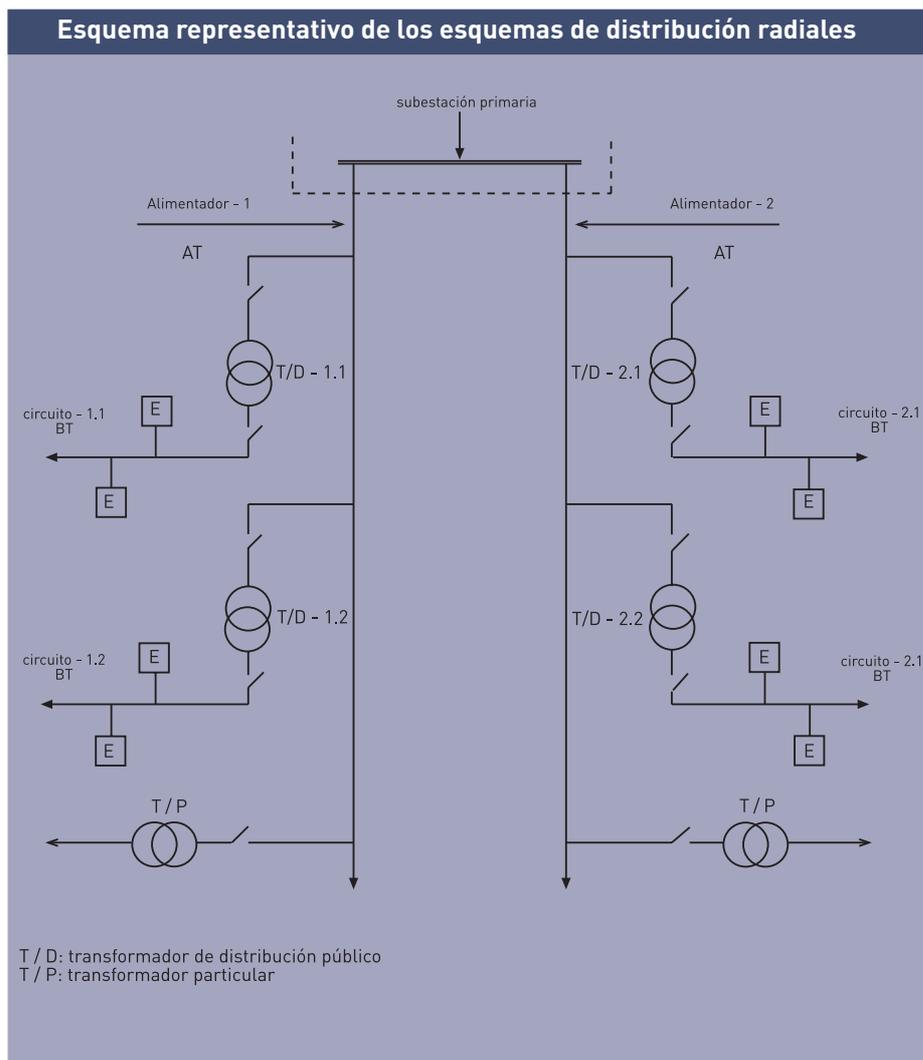
Las redes de distribución eléctrica de las empresas concesionarias en Chile, presentan principalmente dos esquemas de alimentación: los sistemas radiales y los anillados.

Los sistemas radiales son los de uso principal a lo largo de Chile. Consisten en poseer un conjunto de alimentadores de alta tensión, que suministren potencia en forma individual, a un grupo de transformadores sean estos públicos o particulares.

Cuando una red radial alimenta a transformadores públicos, se genera por el secundario de ellos, las redes de distribución de baja tensión, normalmente trifásicas de cuatro hilos, y siempre del tipo sólidamente aterrizadas.

Una desventaja de los sistemas radiales es que al fallar un transformador público, todos los clientes de baja tensión asociados quedan sin suministro. También, si falla el alimentador de alta tensión, quedan fuera de servicio tanto estos transformadores como los de uso particular de los clientes de alta tensión.

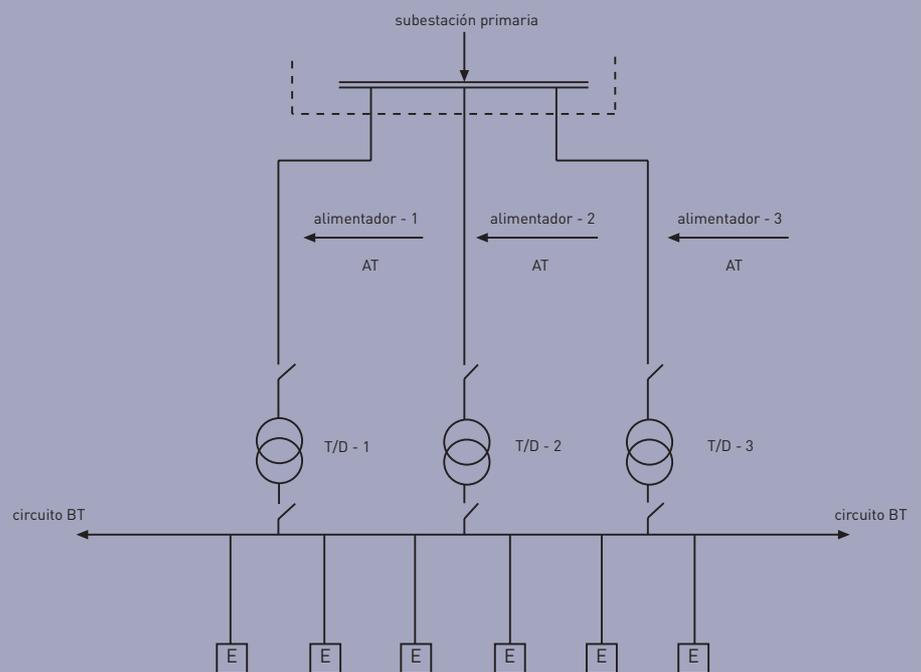
No son redes que aseguren una gran continuidad del servicio, pero son económicas.



Los sistemas anillados (existente solo en una parte del centro de Santiago de Chile), consisten en poseer un conjunto de transformadores alimentados en forma independiente por su lado primario por alimentadores de alta tensión dedicados, pero sus secundarios, se encuentran todos interconectados. En estos sistemas solo se entrega potencia en baja tensión, por lo que no existen los clientes denominados de AT.

Una gran ventaja de los sistemas anillados es la continuidad del servicio; en caso de falla de un transformador, los restantes pertenecientes al conjunto continúan alimentando la red de distribución de baja tensión.

Esquema representativo de los esquemas de distribución anillados



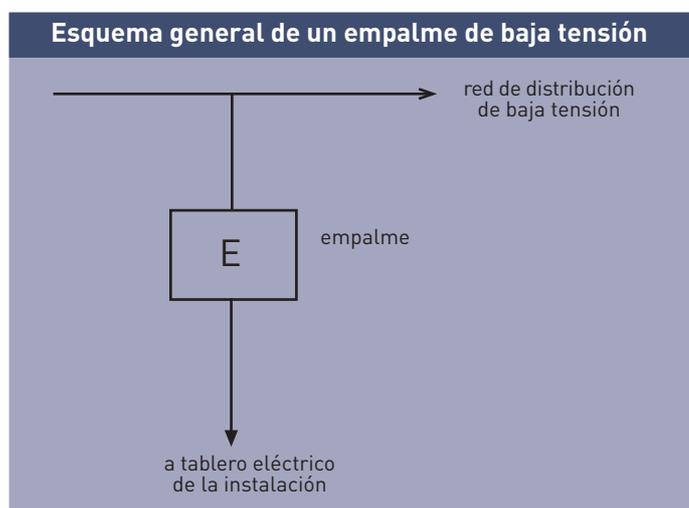
T/D: transformador de distribución público

2 EL PUNTO DE SUMINISTRO

La alimentación de las empresas distribuidoras hacia las instalaciones eléctricas de los clientes finales se realiza por medio del denominado empalme, el que según el DS N° 327, artículo 330, se entiende como: "conjunto de elementos y equipos eléctricos que conectan el medidor de la instalación o sistema del cliente, a la red de suministro de energía eléctrica".

Existen dos tipos de empalmes: los de baja tensión y los de alta tensión. Los primeros son utilizados en instalaciones de baja potencia (casas, pequeños locales comerciales e industriales), los segundos los usan las instalaciones de elevadas potencias (grandes edificios, centros comerciales, naves industriales).

Los empalmes de baja tensión pueden ser monofásicos o trifásicos, aéreos o subterráneos, y en general, se componen de la acometida, el equipo de medida y el dispositivo de protección.



La potencia de los empalmes de baja tensión está dada por la capacidad nominal de su dispositivo de protección, normalmente, un interruptor magnetotérmico.



Las condiciones a cumplir por los empalmes eléctricos para instalaciones interiores de baja tensión, aparecen en la norma NCH Elec. 4/84.

Empalmes monofásicos

Potencia nominal (kW)	Potencia máxima (kW)	Interruptor (A)	Tipo
2,20	2,5	10	C-6 / S-6
3,30	3,5	15	
4,40	5,0	20	
5,50	6,0	25	
6,60	7,5	30	C-9 / S-9
7,70	8,5	35	
8,80	10,0	40	

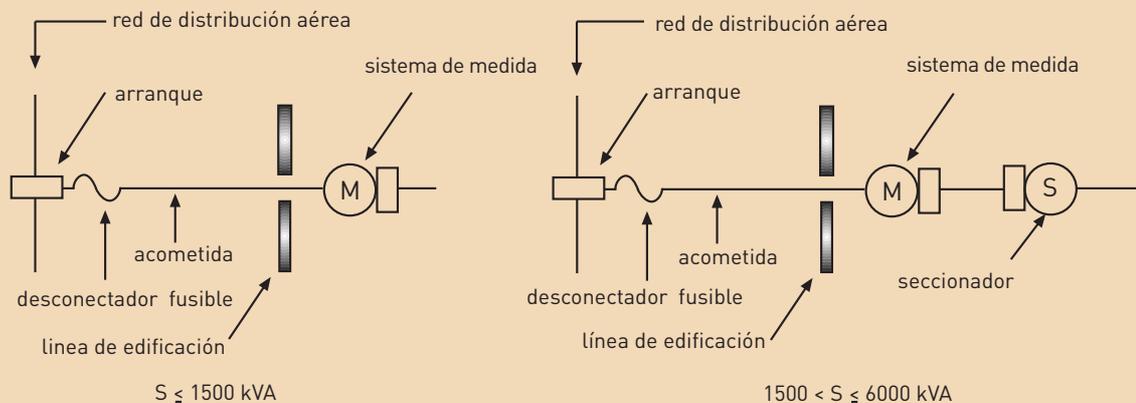
C: concéntrico [aéreo] / S: subterráneo

Empalmes trifásicos

Potencia nominal (kW)	Potencia máxima (kW)	Interruptor (A)	Tipo
6,58	7,5	10	A-18 / S-18 AR-18/SR-18
9,87	11,0	15	
13,16	15,0	20	
16,45	18,5	25	A-27 / S-27 AR-27/SR-27
19,75	22,5	30	
23,04	26,5	35	
26,33	30,0	40	AR-48/SR-48
29,62	34,0	45	
32,91	37,5	50	
39,49	45,0	60	AR-75/SR-75
46,07	52,5	70	
52,65	60,5	80	
59,24	68,0	90	AR-100/SR-100
65,82	75,5	100	
82,87	95,0	125	
98,73	113,5	150	AR-150/SR-150
105,31	121,0	160	
115,80	132,0	175	
131,64	151,0	200	AR-225/SR-225
148,09	170,0	225	
164,54	189,0	250	
197,45	227,0	300	AR-350/SR-350
230,36	264,5	350	
263,27	302,5	400	
296,18	340,5	450	

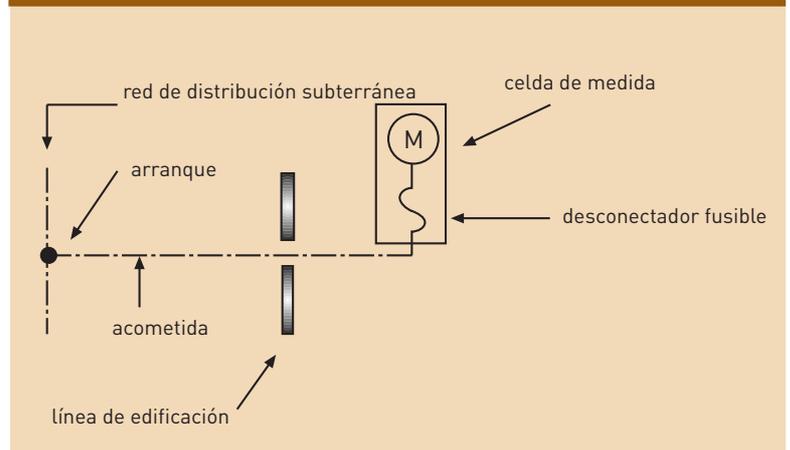
A: aéreo/ S: submarino/ AR: aéreo con medidor de reactivos/ SR: subterráneo con medidor de reactivos.

Esquema general de empalmes aéreos de alta tensión



Los empalmes de alta tensión son trifásicos, pudiendo ser aéreos o subterráneos. Dependiendo de la potencia de la instalación, existen dos diferentes configuraciones posibles de utilizar en el caso de los empalmes aéreos de alta tensión.

Esquema general de empalmes subterráneos de alta tensión



Los empalmes subterráneos de alta tensión son todos aquellos que dependen de una red exterior de distribución con configuración subterránea para su alimentación. Se componen en general del arranque, la acometida, y la celda de medida.

La celda de medida es un gabinete metálico que aloja en su interior al equipo compacto de medida, los medidores y las protecciones, compuestas por desconectores fusibles encapsulados de hasta 175 (A), en instalaciones cuya potencia conectada no sea superior a 4000 (kVA).

3 LA TARIFA

La forma de pago por concepto de suministro que utilizan los clientes finales, constituye la opción de tarifa eléctrica libremente convenida entre éste y la distribuidora. En Chile existen diferentes tarifas aplicadas tanto a clientes de alta como de baja tensión, luego en la etapa del proyecto, se debe determinar cual de ellas es la más conveniente dependiendo de la forma de utilización de la energía y la potencia por parte del cliente.

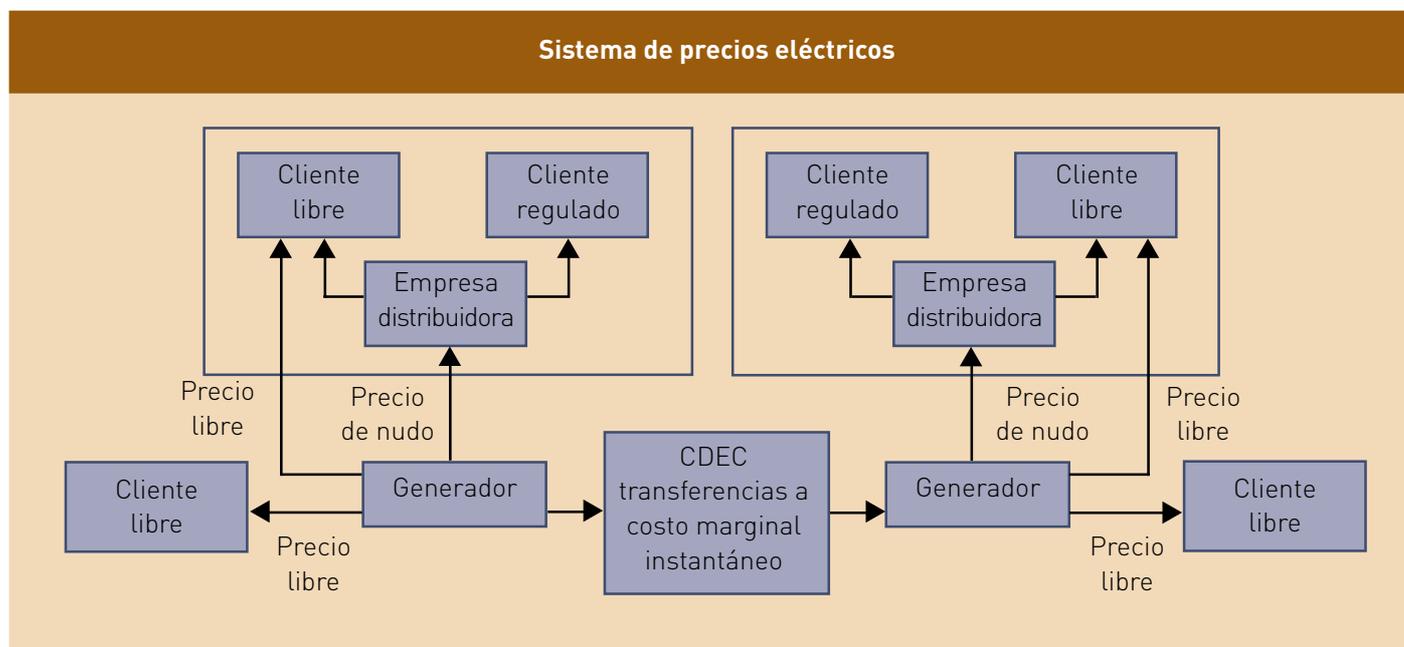
Al referirnos al tema tarifario es necesario aclarar previamente que existen dos diferentes mercados dentro del sistema eléctrico. Estos mercados son los cubiertos por las empresas distribuidoras que atienden a clientes domiciliarios, terciarios e industriales y los grandes proveedores (generadoras), que suministran directamente a las empresas distribuidoras de electricidad en sus zonas de concesión, y aquellos grandes clientes llamados "clientes libres" o no regulados.

En cuanto a los precios que afectan a los clientes finales, es necesario diferenciar entre dos tipos principales de precios.

! Los precios libremente convenidos entre los proveedores y sus clientes industriales o mineros que califican como clientes libres por poseer una potencia conectada superior a 2 MW.

! Las tarifas o precios máximos establecidos por la autoridad y fijados semestralmente por decreto del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, los que se aplican a los clientes regulados, que poseen una potencia conectada menor a 2MW.

Debe mencionarse, además, que existe una tercera categoría de precios los que, sin embargo, son aplicables sólo a nivel de empresas generadoras miembros de los Centros de despacho Económico de Carga (CDEC). Estos precios están basados en costos marginales de producción, los que son altamente variables en el tiempo y magnitud, ya que dependen de parámetros tales como precios de combustibles, demandas eléctricas, niveles del agua en los grandes embalses y las condiciones hidrológicas regionales, entre otros.



1 Opciones de tarifa eléctrica aplicada a los clientes regulados

Los clientes pueden elegir libremente cualquiera de las opciones de tarifa que se describen más adelante, con las limitaciones establecidas en cada caso y dentro del nivel de tensión que les corresponda. Las empresas concesionarias de servicio público de distribución, están obligadas a aceptar la opción que los clientes elijan.

Existen tarifas aplicadas a clientes denominados de baja tensión, las que se simbolizan por un BT-N°, donde N° representa el tipo de tarifa (1,2,...etc), y tarifas aplicadas a clientes de alta tensión, simbolizadas mediante la sigla AT-N°, donde N° representa el tipo de tarifa. Resulta importante destacar que las tarifas de baja tensión y las de alta son exactamente iguales en términos de los cargos que las componen y la forma de cálculo de los mismos, difiriendo solo en el costo de las variables de facturación. (en AT el costo es menor que en BT).

1.1 – Tarifa BT - 1

Opción de tarifa en baja tensión para clientes con medidor simple de energía destinada preferentemente al ámbito domiciliario. Para poder optar a esta tarifa, los clientes deben tener una potencia conectada no superior a 10 (kW), y aquellos clientes que instalen un limitador de potencia para cumplir esta condición.

En esta tarifa, existen tres modalidades de cobro del suministro eléctrico, el caso (a), el (b) y el (c).

• Caso (a)

Aplicable a los clientes abastecidos por empresas cuya demanda máxima anual de consumos en esta opción, se produce en meses en que se han definido horas de punta. Se compone de los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por energía base
- Cargo por energía adicional de invierno

• Caso (b)

Aplicable a los clientes abastecidos por empresas cuya demanda máxima anual de consumos en esta opción, se produce en meses en que no se han definido horas de punta. Se compone de los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual

- Cargo por energía
- Cargo por potencia base
- Cargo por potencia adicional de verano
- Cargo por potencia de invierno

• Caso (c)

Aplicable a los clientes abastecidos por empresas cuya demanda máxima anual de consumos en esta opción, se produce en meses en que no se han definido horas de punta. Se compone de los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por energía
- Cargo por potencia base
- Cargo por potencia de invierno

1.2 – Tarifa BT - 2 y AT - 2

Opción de tarifa en baja tensión ó alta tensión. En esta tarifa se separan los cobros por energía y potencia, la energía se mide con un medidor simple de energía y la potencia se contrata de acuerdo a sus necesidades, controlándose con un limitador de potencia. Se compone de los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por energía
- Cargo por potencia contratada

1.3 – Tarifa BT - 3 y AT - 3

Opción de tarifa en baja tensión ó alta tensión. En esta tarifa se separan los cobros por energía y potencia; ambas son medidas. Se compone de los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por energía
- Cargo por demanda máxima

1.4 – Tarifa BT - 4 y AT - 4

Para clientes con medidor simple de energía y demanda máxima contratada o leída en horas de punta, y demanda máxima contratada o leída en horas fuera de punta del sistema eléctrico. En esta opción existen tres tipos de alternativas, 4.1, 4.2 y 4.3. Sus cargos son:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por energía
- Cargo por demanda máxima en horas de punta [1]
- Cargo por demanda máxima [2]

[1]: Contratada en 4.1; Leída en 4.2 y 4.3

[2]: Contratada en 4.1 y 4.2; Leída en 4.3

2 Condiciones de aplicación de las tarifas

Cuando la facturación está formada por fracciones de dos meses calendario, se debe estimar el consumo de energía del mes calendario en función de los avos correspondientes. Asimismo, para la determinación de la demanda máxima leída a facturar, se considerará como correspondiente a un mes calendario la demanda imputada en la factura que tenga un mayor número de días perteneciente a dicho mes. Los montos de potencia contratada en las diferentes tarifas como asimismo las opciones tarifarias contratadas por los clientes, regirán por 12 meses, y se entenderá renovados por un período similar, salvo aviso del cliente con al menos 30 días de anticipación al vencimiento de dicho período. No obstante, el cliente podrá disminuir dichos montos o bien cambiar de opción tarifaria, comprometiéndose con la empresa el pago del remanente que tuviere por concepto de potencia contratada; de modo similar se procederá con las demandas máximas leídas de las diferentes opciones tarifarias.

Las tarifas BT2 y AT2 de potencia contratada, como asimismo las tarifas BT3 y AT3 de demanda leída, serán aplicadas, en lo que se refiere al cargo por potencia, según el grado de utilización de la potencia en horas de punta, de acuerdo al siguiente criterio:

- Caso (a)

Cuando la potencia contratada o leída está siendo usada manifiestamente durante las horas de punta del sistema eléctrico, independientemente de si dicha potencia es o no utilizada en el resto de las horas del año, el consumo será calificado como "presente en punta" y se le aplicará el precio unitario correspondiente.

Se entenderá que la potencia contratada o leída está siendo usada manifiestamente durante las horas de punta, cuando el cociente entre la demanda media del cliente en horas de punta y su potencia contratada, en el caso de las opciones BT2 y AT2, o su demanda máxima leída, en el caso de las opciones BT3 y AT3, es mayor o igual a 0,5. Por demanda media en horas de punta se entenderá al consumo de energía durante dichas horas dividido por el número de horas de punta.

- Caso (b)

Cuando la potencia contratada o demanda leída está siendo usada parcialmente durante las horas de punta del sistema eléctrico, independientemente de si dicha potencia es o no utilizada en el resto de las horas del año, el consumo será calificado como "parcialmente presente en punta", y se le aplicará el precio unitario correspondiente.

Se entenderá que la potencia está siendo usada parcialmente durante las horas de punta, cuando el cociente entre la demanda media del cliente en dichas horas y su potencia contratada, en el caso de las opciones BT2 y AT2, o su demanda máxima leída, en el caso de las opciones BT3 y AT3, es inferior a 0,5.

No obstante lo anterior, si en períodos de 60 minutos consecutivos en las horas de punta, el cociente entre la potencia media utilizada por el cliente y su potencia contratada, en el caso de las opciones BT2 y AT2, o su demanda máxima leída, en el caso de las opciones BT3 y AT3, supera 0,85 y este hecho se produce frecuentemente, el consumo será clasificado como "presente en punta". Se entenderá como frecuente la ocurrencia del suceso durante por lo menos 5 días hábiles del mes.

3 Recargos tarifarios

Dentro del sistema tarifario existen diferentes descuentos y recargos que se agregan a la facturación mensual del cliente, los que dependen principalmente del nivel de tensión de suministro, ubicación del punto de medida y comportamiento eléctrico de las cargas asociadas.

Los consumos correspondientes a clientes de alta tensión podrán ser medidos tanto en alta como en baja tensión (primario o secundario del transformador). En este último caso, se considerara un recargo por pérdidas de transformación equivalente a un 3,5%, tanto en sus cargos de energía como de potencia.

La facturación por consumos efectuados en instalaciones, ya sea de alta o baja tensión, cuyo factor de potencia medio sea inferior a 0,93 se recargara en un 1% tanto en sus cargos de energía como de potencia, por cada 0,01 valor en que dicho factor baje de 0,93. Cuando no haya medidores permanentemente instalados que permitan determinar el factor de potencia, la empresa lo determinara.



Las características totales de aplicación de las opciones de tarifa eléctrica en Chile están dadas en el decreto N° 632 del 13 de noviembre de 2000 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

4 Las normas

Las instalaciones y productos eléctricos, son reglamentadas por nuestro Marco Regulatorio. Entre los textos normativos podemos citar, por ejemplo, los siguientes:

- DFL N°1 de 1982
Ley General de Servicios Eléctricos, en Materia de Energía Eléctrica.
- DS N°327
Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos.
- NSEG 3.E.n. 71
Normas Técnicas Sobre Medidores.
- NSEG 5. E.n. 71
Electricidad. Instalaciones de Corrientes Fuertes.
- NSEG 6. E.n. 71
Electricidad. Cruces y Paralelismos de Líneas Eléctricas.
- NSEG 9. E.n. 71
Alumbrado Público en Sectores Urbanos.
- NSEG 8. E.n. 75
Electricidad. Tensiones Normales para Sistemas e Instalaciones.
- NSEGTEL 14. E.n. 76
Electricidad. Empalmes Aéreos Trifásicos 1ª parte.
- NSEG 13. E.n. 78
Electricidad. Recubrimientos a Base de Pinturas para Cajas Metálicas para Empalmes Eléctricos y Similares.
- NSEG 15. E.n. 78
Electricidad. Especificaciones para luminarias y de Calles y Carreteras.
- NSEG 20. E.n. 78
Electricidad. Subestaciones Transformadoras Interiores.
- NSEG 21. E.n. 78
Alumbrado Público en Sectores Residenciales.
- NCH Elec. 2/84
Electricidad. Elaboración y Presentación de Proyectos.
- NCH Elec. 4/84
Electricidad. Instalaciones Interiores de Baja Tensión.
- NCH Elec. 10/84
Electricidad. Trámite para la Puesta en Servicio de una Instalación Interior.
- NCH Elec. 12/87
Electricidad. Empalmes Aéreos Monofásicos.

Varias de las normas señaladas, en la actualidad están en proceso de modificación, para mayor información y revisión de otros textos legales, se sugiere consultar el sitio de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (www.sec.cl).

Otra fuente de información respecto a la totalidad de normas existentes en Chile, referidas a las instalaciones y aparatos eléctricos, pueden ser consultadas en el sitio del Instituto Nacional de Normalización (www.inn.cl).

5 LA CALIDAD Y LAS PERTURBACIONES DE LA ALIMENTACION

La energía eléctrica que se suministra al cliente puede verse perturbada; las características fundamentales (tensión, frecuencia), pueden sobrepasar los márgenes de tolerancia, fenómenos de distorsión pueden afectar la calidad de la señal y fenómenos transitorios pueden provocar funcionamiento incorrecto o daños en los componentes (maniobras, rayos.....). En algunos casos estas perturbaciones son propias de la red, mientras que en otros, son consecuencia de las características de las cargas conectadas (no lineales).

El desarrollo actual de productos que generan perturbaciones en la señal, es debida a la tecnología utilizada en su construcción, pero sucede que estos, son también sensibles a esas mismas perturbaciones (electrónica, informática).

1 Frecuencia de la señal

Debe ser de 50 Hz en condiciones normales de operación. Su valor promedio medido en intervalos de tiempo de 10 segundos durante todo período de siete días corridos, deberá encontrarse en el rango siguiente:

- (a)
Sistemas con capacidad instalada en generación superior a 100 MW, en los cuales el aporte de energía de centrales hidroeléctricas durante dicha semana supere el 60% del consumo total:
-sobre 49,8 Hz y bajo 50,2 Hz durante al menos el 99% del período.
-entre 49,3 Hz y 49,8 Hz durante no más de un 0,5% del período.
-entre 50,2 y 50,7 Hz durante no más de un 0,5% del período.

- (b)
Sistemas con capacidad instalada en generación superior a 100 MW, en los cuales el aporte de energía de centrales hidroeléctricas durante dicha semana no supere el 60% del consumo total:
-sobre 49,8 Hz y bajo 50,2 Hz durante al menos el 97% del período.
-entre 49,3 Hz y 49,8 Hz durante a lo más un 1,5% del período.
-entre 50,2 y 50,7 Hz durante a lo más un 1,5% del período.



El suministro de electricidad está sujeto, entre otras, al Decreto N° 327, que establece los límites admisibles de magnitudes y fenómenos que caracterizan o afectan a la señal sinusoidal de 50 Hz. Basada en un enfoque estadístico, el citado decreto, está destinado a garantizar un determinado nivel de calidad en una explotación normal.

• (c)

Sistemas con capacidad instalada en generación entre 1,5 MW y 100 MW, en los cuales el aporte de energía de centrales hidroeléctricas durante dicha semana supere el 60% del consumo total:

- sobre 49,8 Hz y bajo 50,2 Hz durante al menos el 98% del período.
- entre 49,3 Hz y 49,8 Hz durante a lo más un 1,5% del período.
- entre 50,2 y 50,7 Hz durante a lo más un 1,5% del período.
- sobre 49,0 Hz y bajo 49,3 Hz durante a lo más el 0,5% del período.
- sobre 50,7 Hz y bajo 51,0 Hz durante a lo más el 0,5% del período.

• (d)

Sistemas con capacidad instalada en generación entre 1,5 MW y 100 MW, en los cuales el aporte de energía de centrales hidroeléctricas durante dicha semana no supere el 60% del consumo total:

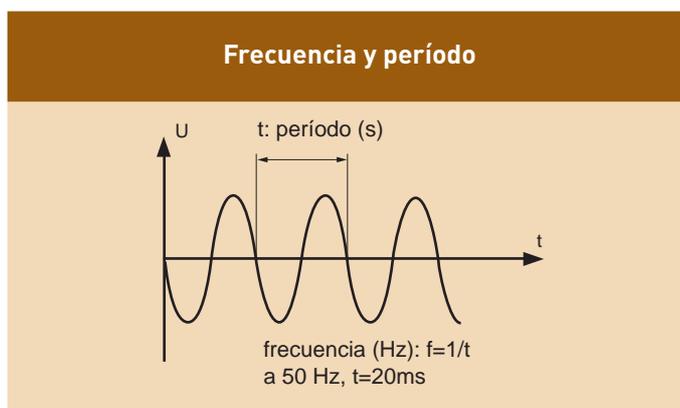
- sobre 49,8 Hz y bajo 50,2 Hz durante al menos el 96% del período.
- entre 49,3 Hz y 49,8 Hz durante a lo más un 3,0% del período.
- entre 50,2 y 50,7 Hz durante a lo más un 3,0% del período.
- sobre 49,0 Hz y bajo 49,3 Hz durante a lo más el 1,0% del período.
- sobre 50,7 Hz y bajo 51,0 Hz durante a lo más el 1,0% del período.

2 Amplitud y variaciones de la tensión

La tensión nominal de los suministros en baja tensión de distribución son de 220 (V) fase-neutro para el caso monofásico y 380 (V) entre fase-fase para el caso trifásico. En los suministros de alta tensión de distribución, las tensiones son superiores a 400 (V) e inferiores o iguales a 23.000 (V), trifásico, entre fases.

Nota: si bien es cierto se habla de "suministros de alta tensión de distribución", el voltaje utilizado corresponde al rango de tensión media.

Las variaciones u holguras permitidas de la tensión nominal en el punto de conexión, son las siguientes:



• (e)

Sistemas con capacidad instalada en generación menor que 1,5 MW:

- sobre 49,8 Hz y bajo 50,2 Hz durante al menos el 94% del período.
- entre 49,3 Hz y 49,8 Hz durante a lo más un 4,0% del período.
- entre 50,2 y 50,7 Hz durante a lo más un 4,0% del período.
- sobre 49,0 Hz y bajo 49,3 Hz durante a lo más el 2,0% del período.
- sobre 50,7 Hz y bajo 51,0 Hz durante a lo más el 2,0% del período.

• (a)

En Baja Tensión (BT): Excluyendo períodos con interrupciones de suministro, el valor estadístico de la tensión medido de acuerdo con la norma técnica correspondiente, deberá estar dentro del rango de $\pm 7,5\%$ durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.

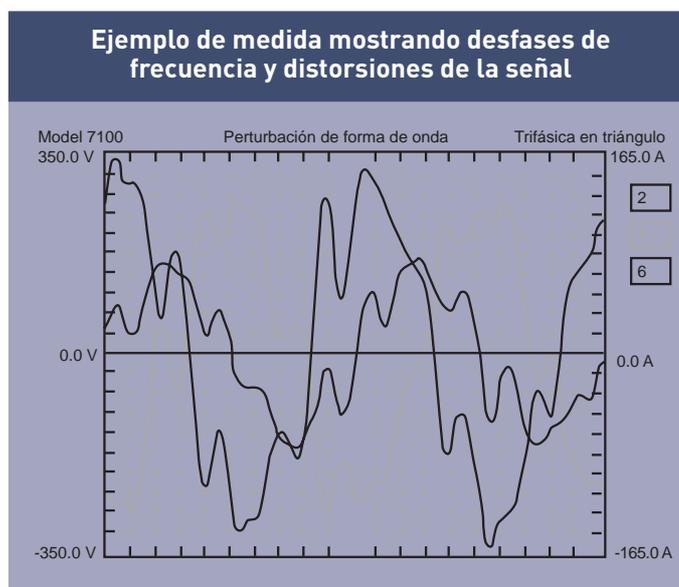
• (b)

En Media Tensión (MT): Excluyendo períodos con interrupciones de suministro, el valor estadístico de la tensión medido de acuerdo con la norma técnica correspondiente, deberá estar dentro del rango de $\pm 6,0\%$ durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.

• (c) En Alta Tensión (AT):

c.1) Tensión nominal de 154 kV. y superiores: Excluyendo períodos con interrupciones de suministro, el valor estadístico de la tensión medido de acuerdo con la norma técnica correspondiente, deberá estar dentro del rango de $\pm 5\%$ durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.

c.2) Tensión nominal inferior a 154 kV.: Excluyendo períodos con interrupciones de suministro, el valor estadístico de la tensión medido de acuerdo con la norma técnica correspondiente, deberá estar dentro del rango de $\pm 6\%$ durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.



3 Fluctuaciones de voltaje

Son modificaciones en la amplitud de la señal de la alimentación, en términos de aumento o disminución, respecto del valor nominal de la tensión de la red de suministro. Se caracterizan fundamentalmente por su tiempo de existencia, clasificándolas en las de corta o larga duración.

Las fluctuaciones de corta duración pueden ser instantáneas, momentáneas o temporales. Las primeras, tienen un tiempo "t" de desarrollo entre 0,01 y 0,6 segundos, con amplitudes comprendidas para el caso del aumento (Dv +), entre 107,5% y 180% de la tensión nominal, y para el caso de la disminución (Dv -), entre un 10% y 92,5% respecto al valor del voltaje.

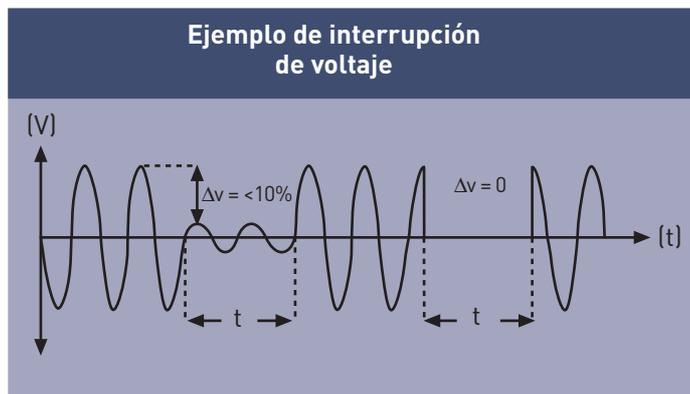
En las fluctuaciones de corta duración momentáneas, el tiempo "t" de desarrollo está comprendido entre 0,6 y 3 segundos, con amplitudes para el caso de aumento (Dv +), entre 107,5% y 140%, y para el caso de disminución (Dv -), entre un 10% y 92,5% respecto al valor nominal de la tensión.

Las fluctuaciones temporales de corta duración, tienen un tiempo "t" de desarrollo entre 3 segundos y 1 minuto, con amplitudes comprendidas para el caso del aumento (Dv +), entre 107,5% y 120% de la tensión nominal, y para el caso de la disminución (Dv -), entre un 10% y 92,5% respecto al valor del voltaje.

Las fluctuaciones de larga duración pueden ser del tipo caídas o subidas de voltaje. Las primeras tienen una duración "t" mayor a 1 minuto y con magnitud (Dv -), entre un 80% y 92,5% de la tensión nominal. Las segundas tienen una duración típica "t" superior a 1 minuto y de magnitud comprendida (Dv +), entre 107,5% y 120%.

4 Interrupción de voltaje

Se consideran como interrupciones de voltaje, a las disminuciones de tensión de magnitud típica bajo el 10% hasta incluso el 0% del valor nominal.



Las interrupciones se clasifican, conforme al tiempo y la magnitud, en momentáneas, temporales y sostenidas. En las momentáneas, el tiempo "t" se considera entre 0,01 y 3 segundos y un "Dv" mayor que cero pero inferior al 10% de la tensión nominal. Las segundas son aquellas que tienen un tiempo "t" entre 3 segundos y 1 minuto, y el mismo "Dv" anterior. Las terceras son todas aquellas que perduran por más de 1 minuto y poseen una magnitud nula.

5 Severidad del parpadeo

Esta sensación también llamada "flicker", se caracteriza, como su nombre lo indica, por variaciones de la luz que pueden resultar molestas a partir de cierto nivel. Una fórmula basada en la relación de las duraciones de los diferentes niveles de iluminación, permite cuantificar el nivel de flicker. Este fenómeno, molesto sobretudo en las iluminaciones de incandescencia e incluso en las pantallas de ciertos aparatos, puede estar provocado por cargas cíclicas.

En Chile, el índice de severidad de parpadeo durante un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año, o de siete días consecutivos, no debe exceder en el sistema eléctrico, el valor de 1 para tensiones iguales o inferiores a 110 (kV), ni exceder 0,8 para tensiones superiores a 110 (kV). Si este índice es evaluado estadísticamente en intervalos consecutivos de dos horas durante un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, no debe exceder de 0,8 para tensiones iguales o inferiores a 110 (kV) ni exceder 0,6 para tensiones superiores a 110 (kV).

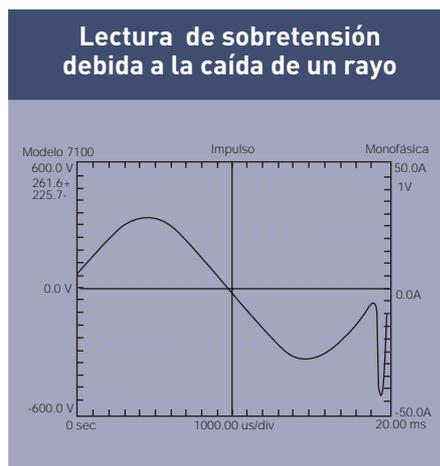
6 Sobretensiones temporales

Pueden producirse tanto en la red de distribución como en las instalaciones del cliente y su efecto puede ser devastador, ya que la tensión suministrada puede alcanzar

un valor peligroso para los equipos. El mayor riesgo estriba evidentemente en la aparición de una tensión compuesta fase-fase en lugar de una tensión fase-neutro, en las redes monofásicas, en caso de corte de la tierra de servicio, por ejemplo. Igualmente, fallas en la red de alta tensión (caída de una línea), pueden generar sobretensiones en la distribución de baja tensión.

7 Sobretensiones transitorias

Estos fenómenos son muy variables. Son debidos fundamentalmente a la caída de rayos y maniobras en la red. Su tiempo de subida desde unos pocos micro segundos hasta algunos milisegundos, por lo que su ámbito de frecuencia varía igualmente entre algunos kHz y varios centenares de kHz.



8 Desequilibrio de tensión

Los desequilibrios de tensión son provocados por las cargas monofásicas de alta potencia. Provocan componentes de corriente de secuencia negativa que pueden generar pares de frenado y calentamientos de máquinas giratorias. Por su puesto se aconseja distribuir lo mejor posible las cargas entre las fases y proteger las instalaciones mediante dispositivos adecuados.

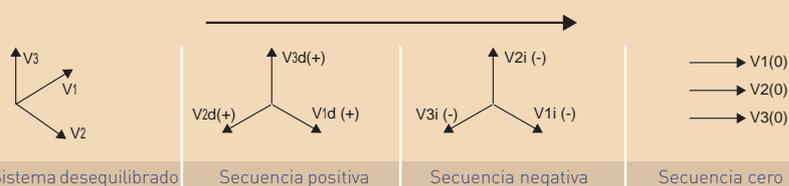
Para puntos de entrega a clientes en tensiones iguales o inferiores a media tensión, se debe cumplir que el 95 % de los valores estadísticos registrados en una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, de la componente de secuencia negativa del voltaje, no exceda el 2 % de la correspondiente componente de

secuencia positiva. El valor estadístico de la componente de secuencia negativa del voltaje, será obtenido en cada intervalo de 10 minutos, como resultado de procesar un conjunto de mediciones efectuadas en dicho intervalo y de acuerdo a lo establecido en la norma correspondiente. Para puntos de entrega en tensiones superiores a media tensión a clientes concesionarios de servicio público de distribución, que abastezcan usuarios sometidos a regulación de precios, se debe cumplir que el 95 % de los valores estadísticos registrados en una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, de la componente de secuencia negativa del voltaje, no excedan el 1,5 % de la correspondiente componente de secuencia positiva.



Utilización de componentes simétricos

- La red simétrica corresponde al conjunto de elementos (impedancias, fem, fcm, y cargas) supuestamente simétricos, es decir idénticos en cada fase. No se debe confundir con el equilibrado, que se refiere a la igualdad de corrientes y tensiones.
- Un sistema trifásico simétrico desequilibrado puede representarse como tres sistemas trifásicos equilibrados (representación de Fortescue). Esta descomposición se efectúa de tres maneras: secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero. En caso de falla, sobretensión o corto circuito que afecte únicamente a una de las fases (caso más frecuente), la red se hace asimétrica y sólo puede describirse como un sistema real, con V e I separados por cada fase, que represente la parte afectada.



9 Armónicos

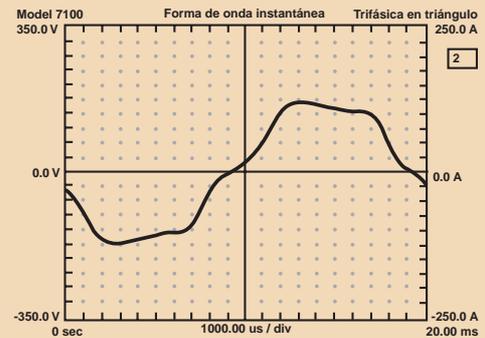
Los armónicos designan una deformación de la señal sinusoidal debido a la absorción no lineal de la corriente. Dicho de otro modo, las cargas que generan armónicos no absorben una corriente que es la imagen exacta de la tensión, tal como lo haría una resistencia. Ello provoca que la señal eléctrica se deforme y que su valor real difiera de su valor teórico. En este caso, la dificultad está en calcular el verdadero valor de dicha señal y sus posibles consecuencias. Aparte de los fenómenos destructivos, aunque afortunadamente escasos, como la rotura del conductor neutro o la perforación de los condensadores, los efectos instantáneos suelen ser muy limitados en los aparatos modernos.

No obstante, podemos citar deformaciones de imágenes, distorsiones de sonido, desfases de relojes a 50 Hz, mediciones erróneas con aparatos basados en referencia de tensión...

A largo plazo, se aprecian sobretodo calentamientos añadidos de los conductores y los circuitos magnéticos (motores, transformadores...).

Si bien a escala global los efectos son difíciles de evaluar, hay que ser prudentes sobretodo en lo que se refiere a la reducción del conductor neutro, que puede sobrecargarse con armónicos de rango 3, muy frecuentes y que se suman en dicho conductor.

Tensiones armónicas



Distorsión : THD = 11,53 %

Impares = 11,52 %

Pares = 0,46 %

Armónicos :		
1 = 100,00 %	19 = 0,23 %	37 = 0,02 %
3 = 2,80 %	21 = 0,04 %	39 = 0,13 %
5 = 10,48 %	23 = 0,13 %	41 = 0,03 %
7 = 3,12 %	25 = 0,03 %	43 = 0,05 %
9 = 1,92 %	27 = 0,03 %	45 = 0,00 %
11 = 1,08 %	29 = 0,04 %	47 = 0,09 %
13 = 0,43 %	31 = 0,06 %	49 = 0,02 %
15 = 0,12 %	33 = 0,02 %	
17 = 0,39 %	35 = 0,04 %	

La observación con el osciloscopio revela claramente una señal deformada que, en ciertos casos, apenas se parece a una senoide.



Para cuantificar y representar estos fenómenos, se utiliza un artificio matemático llamado “descomposición en serie de Fourier”, que permite representar cualquier señal periódica como la suma de una onda fundamental y de ondas adicionales, los armónicos, cuya frecuencia es múltiplo de fundamental.

Hablamos por lo tanto frecuentemente de armónicos de:

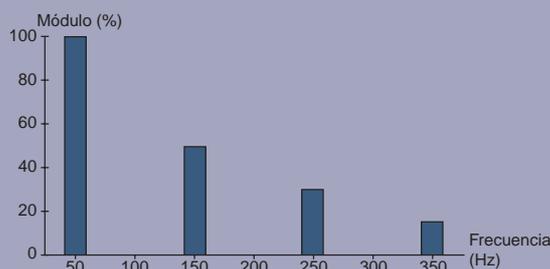
rango 1: 50 Hz (fundamental)

rango 2: 100 Hz

rango 3: 150 Hz

rango 5: 250 Hz

rango 7: 2.500 Hz que, generalmente, es el límite considerado.



Los armónicos pueden expresarse rango a rango, en tensión o en corriente, en porcentaje del valor de la frecuencia fundamental, o en valor real.

Se habla también del TDH (nivel de distorsión armónica), que es el nivel de distorsión armónica calculado a partir de la suma de todos los rangos. Esta cifra única permite realizar comparaciones o evaluar el impacto directo sobre los receptores.

! Las principales fuentes de armónicos son las siguientes:

- Todos los aparatos con alimentación rectificada monofásica seguida de un corte (rango 3,5 y 7): televisión, computador, fax, lámpara con balats electrónico;
- Reguladores monofásicos que utilizan la variación del ángulo de fase (rangos 3,5,7): variadores, reguladores, motores de arranque,...;
- Equipos de arco (rangos 3,5): hornos, soldadores,...;
- Rectificadores de potencia, tiristorizados (por rangos 5,7), alimentación de motores, de velocidad variable, hornos, onduladores,...;
- Máquinas de circuito magnético, si éste se halla saturado (rango 3): transformadores, motores;
- Aparatos de iluminación de arco controlado (rango 3): lámparas con balats electromagnético, lámparas de vapor de alta presión, tubos fluorescentes...

Hasta ahora predomina el rango de armónico 3, pero es detenido por los transformadores de AT / BT y por lo tanto no pasa a la red de distribución. Ese ya no es el caso con los rangos superiores 5 y 7, que actualmente está, aumentando.

El Decreto 327 establece los índices de distorsión total de armónicos de corriente y tensión para el sistema eléctrico.

En condiciones normales de operación, se debe cumplir para un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos que: el 95% de los valores estadísticos de las corrientes armónicas y de su índice de distorsión total, cumplen con lo indicado en la tabla siguiente.

El valor estadístico de las corrientes armónicas y de su índice de distorsión será obtenido para cada intervalo de diez minutos, como resultado de evaluar estadísticamente un conjunto de mediciones efectuadas en dicho intervalo, de acuerdo a lo establecido en la norma técnica correspondiente.

Máxima distorsión armónica de corriente en el sistema eléctrico expresada como el % del valor de corriente máxima de carga a frecuencia fundamental

I_{sc}/IL	Orden de la armónica (armónicas impares)					índice DI
	< 11	$11 \leq H < 17$	$17 \leq H < 23$	$23 \leq H < 35$	$35 < H$	
$\leq 20^*$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
≥ 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Las armónicas pares están limitadas al 25% de los límites establecidos para las armónicas impares

***Todos los equipos de generación de potencia están limitados a los valores indicados de distorsión armónica de corriente, independiente de la razón I_{sc}/IL .**

Donde:

I_{sc} = Máxima corriente de cortocircuito en el Punto Común de Conexión (PCC). PCC es el nudo más cercano de la red donde dos o más usuarios obtienen energía eléctrica.

IL = Máxima corriente de carga (valor efectivo) de frecuencia fundamental en el PCC. Se calcula como el promedio de los doce valores previos de las máximas demandas mensuales.

Para el caso de clientes en puntos comunes de conexión comprendido entre 69kV y 154 kV, los límites son el 50% de los límites establecidos en la tabla.

Para el caso de clientes en PCC superiores a 154 kV se aplicarán los límites de 110 kV en tanto el ministerio a proposición de la comisión no fije la norma respectiva.

Si la fuente productora de armónicas es un convertidor con un número de pulsos "q" mayor que seis, los límites indicados en la tabla deberán ser aumentados por un factor igual a la raíz cuadrada de un sexto de "q".

En todo sistema eléctrico, en condiciones normales de operación, se deberá cumplir para un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, que el 95% de los valores estadísticos de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión total, cumplen con lo indicado en la tabla siguiente.

El valor estadístico de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión es obtenido para cada intervalo de diez minutos, como resultado de evaluar estadísticamente un conjunto de mediciones efectuadas en dicho intervalo, de acuerdo a lo establecido en la norma correspondiente.

Máxima distorsión armónica de voltaje en el sistema eléctrico expresada como el % del valor de voltaje máximo de carga a frecuencia fundamental

Armónicas impares no múltiplo de 3			Armónicas impares múltiplo de 3			Pares		
Orden	Armónica voltaje (%)		Orden	Armónica voltaje (%)		Orden	Armónica voltaje (%)	
	<= 110 kV	> 110 kV		<= 110 kV	>110 kV		<= 110 kV	> 110 kV
5	6	2	3	5	2	2	2	1.5
7	5	2	9	1.5	1	4	1	1
11	3.5	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	3	1.5	21	0.2	0.2	8	0.5	0.4
17	2	1	>21	0.2	0.2	10	0.5	0.4
19	1.5	1				12	0.2	0.2
23	1.5	0.7				>12	0.2	0.2
25	1.5	0.7						
>25	0.2+1.3x25/h	0.2+0.5x25/h						



Entre todas las perturbaciones, los armónicos tienen la particularidad de no manifestar influencia local directa tal como ocurre con las otras perturbaciones, como son las transitorias, las sobretensiones, los microcortes..., cuyos efectos directos o recíprocos entre aparatos son al mismo tiempo visibles e identificables. Los armónicos designan un fenómeno global en el que cada usuario aporta solamente una pequeña fracción de perturbaciones que degradan la red, pero en donde los efectos acumulados son cada vez menos despreciables.

10 Tensiones interarmónicas

Este fenómeno consiste en componentes de frecuencia situados entre los armónicos los cuales son debidos a convertidores de frecuencia, onduladores, máquinas giratorias, aparatos de arco...

Su interacción puede provocar fenómenos de flicker, pero la necesidad de identificarlos y controlarlos tiene que ver sobre todo con las señales de información transmitidas por la red.

11 Señales de información transmitidas por la red

El distribuidor utiliza la red para la transmisión de órdenes o de mediciones. Las frecuencias de dichas señales varían desde algunas decenas de Hz hasta varios kHz.

12 LA COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

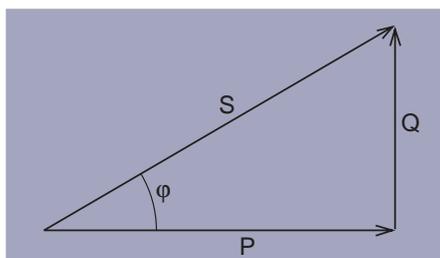
El consumo de energía reactiva conduce a sobre dimensionar las fuentes de energía y los conductos de alimentación.

Es facturada por el distribuidor de energía.

La presencia de cargas inductivas (motrices, soldadoras, alumbrados...) causa una degradación del $\cos \varphi$.

La potencia activa P (en W), devuelta en forma de trabajo o de calor entonces es inferior a la potencia aparente S (VA).

1 Diagrama de potencias



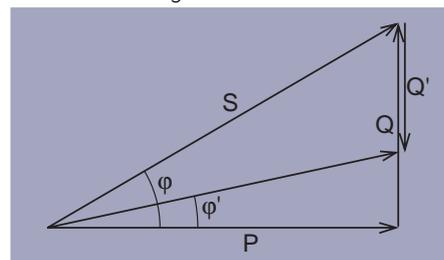
Hay que señalar que en términos de potencia, se utiliza no el coseno del ángulo sino más a menudo su tangente:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La potencia reactiva Q se expresa en Var (volt amperes reactivos).

Los condensadores utilizados para la compensación son designados también

por su potencia reactiva en VAR, aunque su valor Q' sea de origen capacitivo y en consecuencia en sentido inverso al valor Q, de origen inductivo.



$\tan \varphi$ para Q antes de la corrección
 $\tan \varphi'$ para $Q-Q'$ después de corrección

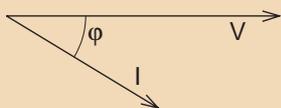
$$Q' = CwV^2$$

$$w = 2\pi f$$

C: capacidad en faradios



El factor de potencia designa el coseno φ de la apertura angular o desfase, entre los vectores representando la tensión y la corriente.

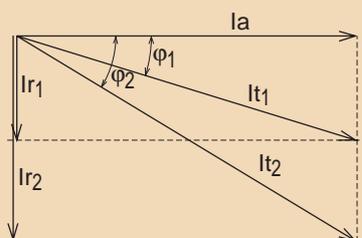


$\varphi = 0^\circ$ para una carga puramente resistiva (V e I en fase)

$\varphi = +90^\circ$ para una carga puramente inductiva (I en retraso sobre V)

$\varphi = -90^\circ$ para una carga puramente capacitiva (I en adelanto sobre V)

El coseno φ varía de 1 ($\varphi = 0^\circ$) a 0 ($\varphi = +90^\circ$ o $\varphi = -90^\circ$)



Inconvenientes de un mal coseno φ :

En el ejemplo:

$$\varphi_1 = 30^\circ \Rightarrow \cos \varphi_1 = 0,86$$

$$\varphi_2 = 60^\circ \Rightarrow \cos \varphi_2 = 0,5$$

Para una misma corriente activa I_a absorbida por un receptor, la corriente total en la línea será superior (It_2) con un $\cos \varphi$ de 0,5 al que sería (It_1) con un $\cos \varphi$ de 0,86.

La fórmula en trifásico pone de manifiesto que para una misma

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi}$$

potencia, la corriente es proporcional a la degradación del $\cos \varphi$. I es por ejemplo duplicada si φ pasa de 1 a 0,5.



Batería de condensadores en armario, con regulación automática del $\cos \varphi$



La mejora del $\cos \varphi$ permite disminuir las pérdidas en las instalaciones lo que permite evitar las multas por mal factor de potencia de energía reactiva por el distribuidor.

Un $\cos \varphi$ correcto permite disponer mejor de la energía disponible. Por ejemplo un transformador de 1000 kVA no puede entregar sino 500 kW con un $\cos \varphi$ de 0,5.

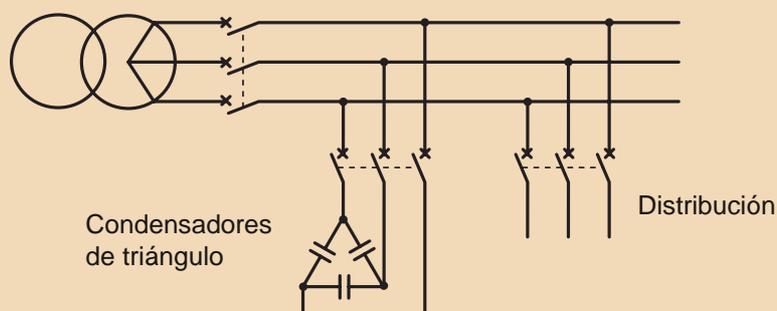
La instalación de condensadores puede hacerse cerca del receptor que tiene un mal $\cos \varphi$, en el origen de la instalación o en grupos de circuitos.

En el primer caso, la batería de condensadores se adapta al receptor que se controla. Su funcionamiento puede ser no permanente. (Atención, una compensación demasiado importante puede generar sobre tensiones). Se utiliza para los receptores de fuerte consumo o para los que la compensación se incorpora (tubos fluorescentes).

El segundo caso, más general, consiste en una compensación media sobre el origen de la instalación.

Por último, la conexión por grupo o por puesto de distribución permite tener en cuenta la simultaneidad de los receptores y utilizar lo mejor posible la potencia instalada. Esta instalación puede ser automatizada por un relé que acopla los condensadores en función de las variaciones de carga.

Compensación media sobre el origen de la instalación



La instalación de condensadores de compensación requiere algunas precauciones:

- resistencias de descarga deben estar previstas
- los condensadores deben cortarse si la carga es demasiado débil
- los aparatos de comando y de protección deben ser sobre dimensionados
- las inductancias de choque pueden ser previstas en serie con los condensadores.

2 Determinación de la potencia reactiva de los bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia

Para el cálculo de la potencia reactiva Q' en kVAR de un banco de condensadores, se necesita conocer:

- La potencia activa en kW del punto en donde será instalado.
- El factor de potencia del punto de ubicación del banco.
- El factor de potencia a lograr.

En el caso de compensación individual (directamente a la carga), la potencia activa es la del propio equipo (dato de placa), y su factor de potencia se puede obtener por mediciones, o bien, es también entregado por el fabricante.

Para la compensación por grupos, la potencia a utilizar, será la suma de las potencias individuales de cada carga asociada al punto que posean un coseno ϕ menor a 0,93; y el factor de potencia se obtiene por mediciones, o bien, puede ser el más bajo que exista entre todas ellas cuando se conozca el dato por el fabricante.

Al realizar una compensación general (origen de la instalación), la potencia activa a utilizar será la demanda máxima que posea el sistema, respecto a las partes que posean un bajo factor de potencia. El coseno ϕ se obtiene por mediciones, usando el más bajo del conjunto de cargas, o bien, se extrae de la cuenta eléctrica emitida por la empresa distribuidora (multa por mal factor de potencia).

El factor de potencia a lograr en todos los casos de compensación (individual, grupal, general), debe ser a lo menos, el mínimo permitido, que para nuestro caso es de 0,93. Se recomienda, que el valor elegido sea 0,95.

La fórmula que permite determinar la potencia reactiva capacitiva del banco en todos los casos es:

$$Q' = P \times (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

Q' : potencia reactiva necesaria del banco de condensadores (kVAR)

P : potencia activa o demanda máxima del punto de conexión (kW)

$\tan\phi_1$: tangente del ángulo de inicio

$\tan\phi_2$: tangente del ángulo final

Los ángulos de inicio y final asociados a las tangentes se obtienen con:

$$\phi_1 = \cos^{-1} \phi_1$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} \phi_2$$

Por ejemplo, supongamos que la potencia activa del punto de conexión del banco es de 100 kW, que la multa por mal factor de potencia es del 5% (dato de la cuenta eléctrica), y que se pretende corregirlo a 0,95.

Según lo anterior:

-como el dato del factor de potencia existente está dado en porcentaje, debido a que se extrajo de la cuenta, el factor de potencia inicial sería:

$$\cos \phi_1 = 0,93 - \frac{5}{100} = 0,88$$

-el factor de potencia final a lograr es:

$$\cos \phi_2 = 0,95$$

-luego:

$$\phi_1 = \cos^{-1} 0,88 = 28,4^\circ$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2^\circ$$

-finalmente:

$$Q' = 100 \times (\tan 28,4^\circ - \tan 18,2^\circ)$$

$$Q' = 21,2 \text{ kVAR}$$

La potencia comercial del banco debe ser la inmediatamente superior al valor calculado que exista en el comercio.

Otra forma de determinar la potencia reactiva del banco de condensadores, especialmente para el caso de compensación grupal, es calculando el valor necesario por cada equipo como en el caso de la compensación individual, y luego sumando las potencias reactivas obtenidas.

Alimentaciones

Con el término general **alimentación** se designa el suministro de energía.

La **alimentación** o, más generalmente, las **alimentaciones**, se llevan a cabo por medio de **fuentes** (red, baterías, grupos...).

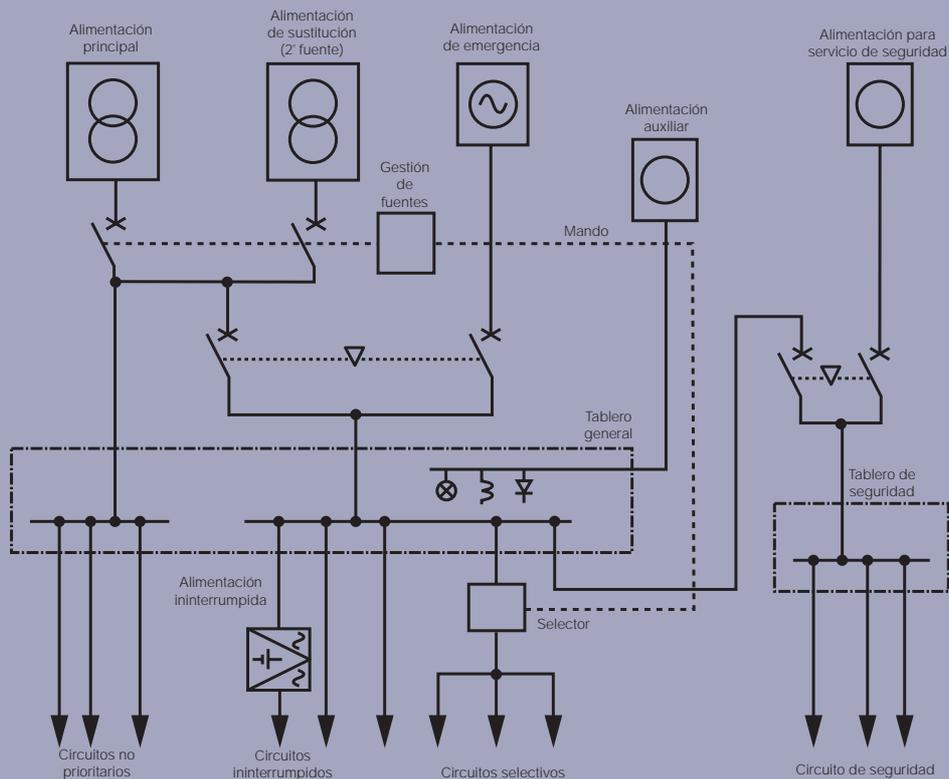
La **conexión** de estas fuentes, ahora múltiples, exige verdaderos automatismos, lo que **incrementa la complejidad del esquema de la instalación**.

Las alimentaciones necesarias podrán determinarse a partir de los criterios de definición de la instalación (receptores, potencia, localización,...) y de las condiciones de funcionamiento (seguridad, evacuación del público, continuidad,...)

Se distinguen los siguientes tipos:

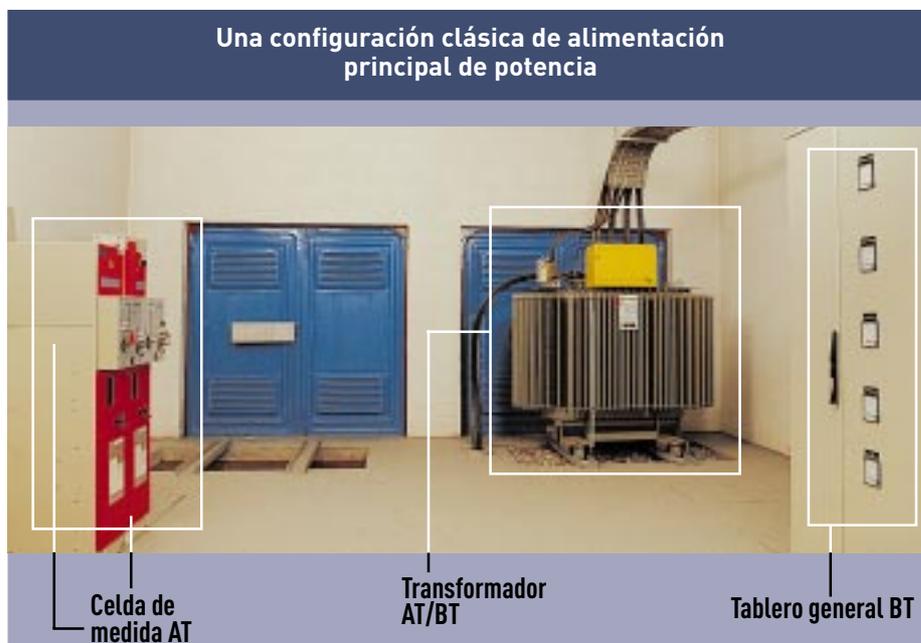
- alimentación principal
- alimentación de emergencia
- alimentación para servicio de seguridad
- alimentación auxiliar

Esquema tipo



1 ALIMENTACIÓN PRINCIPAL

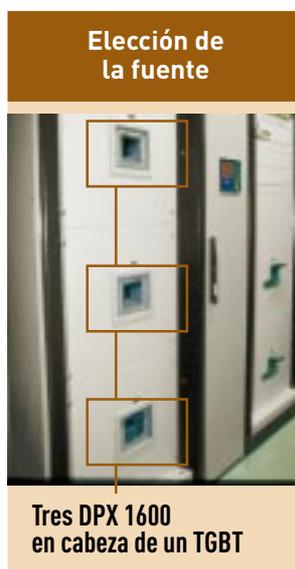
Destinada a la alimentación permanente de la instalación, generalmente procede de la red de distribución pública. La elección entre alta y baja tensión se realiza en función de la potencia necesaria.



2 ALIMENTACION DE EMERGENCIA

Está destinada a sustituir a la alimentación principal, y se utiliza:

- en casos de corte del suministro (emergencia), para mantener el funcionamiento (hospitales, informática, proceso industrial, industria agroalimenticia, aplicaciones militares, grandes superficies de distribución...)
- con fines económicos, sustituyendo total o parcialmente a la alimentación principal (bioenergía, energías renovables...).



La necesidad de seguridad en el suministro de energía es cada vez mayor (concepto: Alta Disponibilidad, Alta Calidad). Nuevas tecnologías (microturbinas, pilas de combustible, generadores eólicos, células fotovoltaicas...) permiten o permitirán a corto plazo producir energía como complemento de la red principal de distribución. Nuevos conceptos arquitectónicos permitirán aprovechar al máximo las diferentes fuentes sectorizando las aplicaciones según criterios tales como Alimentación de emergencia, seguridad, alimentación interrumpible, prioridad, alta calidad...

3 ALIMENTACIÓN PARA SERVICIO DE SEGURIDAD

Destinada a mantener la alimentación, suministra la energía necesaria para garantizar la seguridad de las instalaciones en caso de falla de la alimentación de emergencia.

El mantenimiento de la alimentación es necesaria para:

-las instalaciones de seguridad que deben funcionar en caso de incendio (alumbrado mínimo, señalización, alarma y socorro de incendio, extracción de humo...)

-las demás instalaciones de seguridad, tales como telemandos, telecomunicaciones, equipos relacionados con la seguridad de las personas (ascensor, balizado, quirófano...).

Se caracterizan por su puesta en funcionamiento (automática o manual) y su autonomía.

Alimentación estabilizadas asistidas Cajas de energía Relergy (a pedido)



Alimentaciones estabilizadas asistidas a 12, 24 ó 48 V (a pedido)



Las cajas de energía Relergy garantizan la alimentación eléctrica de seguridad (AES) de los sistemas de seguridad anti-incendios. (a pedido)

4 ALIMENTACIÓN AUXILIAR

Destinada al funcionamiento de los elementos "auxiliares" (circuitos y aparatos de mando y de señalización), es suministrada por una fuente distinta, procedente o no de la alimentación principal. Su independencia aporta cierta seguridad de funcionamiento de la instalación. Suele tener distinta tensión o naturaleza que la alimentación principal (ejemplo: MBT, es decir muy baja tensión, alterna o continua). Cuando es asistida y cumple ciertos criterios (potencia, autonomía, etc.) es asimilable a una alimentación para servicio de seguridad.

Alimentación de elementos



Adecuada a las necesidades de tensión y potencia

Alimentaciones rectificadas filtradas estabilizadas, transformadores de mando



El catálogo Legrand contiene todas las respuestas a la necesidad de alimentación auxiliar



Aunque su uso casi siempre viene dado por la necesidad de garantizar la seguridad de las personas (Muy Baja Tensión de Seguridad) o disponer de tensiones diferentes, es importante recordar también que las alimentaciones Legrand equipadas con transformador representan una solución sencilla y eficaz para limitar la propagación de perturbaciones electromagnéticas y asegurar la alimentación de los aparatos sensibles.

FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Independientemente al uso a que se destinen las fuentes de alimentación se diferencian básicamente por su potencia, su autonomía, el origen de su energía y su costo de funcionamiento.

1 TRANSFORMADORES AT / BT

Los transformadores son generalmente reductores y permiten alimentar instalaciones de baja tensión. Hay dos tipos de transformadores que se diferencian por su forma constructiva: transformadores sumergidos y secos.

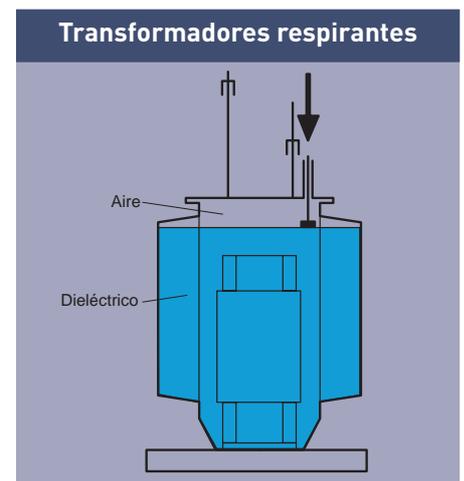
1 Transformadores sumergidos

El circuito magnético y los devanados están sumergidos en un dieléctrico líquido que garantiza el aislamiento y la evacuación de las pérdidas coloríficas del transformador. Este líquido se dilata en función de la carga y de la temperatura ambiente.

Existen cuatro tipos de transformadores sumergidos: respirantes, de colchón de gas, con conservador y de llenado integral, actualmente sólo se instalan los últimos.

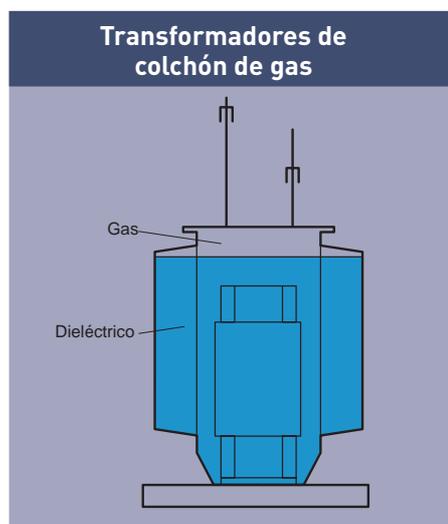
● Transformadores respirantes

Un volumen de aire entre la superficie del aceite y la tapa permite la dilatación del líquido sin riesgo de rebalse. El transformador "respira", pero la humedad del aire se mezcla con el aceite y la rigidez dieléctrica se degrada.



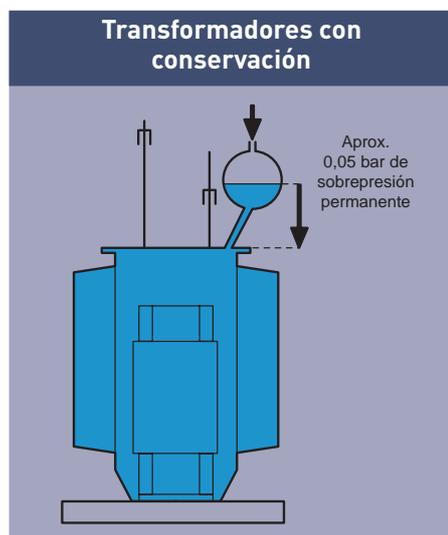
● **Transformadores de colchón de gas**

La cuba es estanca y la variación de volumen del dieléctrico se compensa con un colchón de gas neutro (riesgo de fuga)



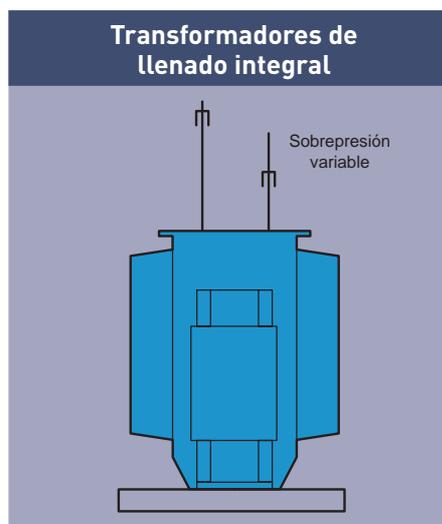
● **Transformadores con conservador**

Para reducir las anteriores inconvenientes, un depósito de expansión limita el contacto aire/aceite y absorbe la sobrepresión. No obstante, el dieléctrico sigue oxidándose y cargándose de agua. La adición de un desecador limita este fenómeno, pero exige un mantenimiento periódico.

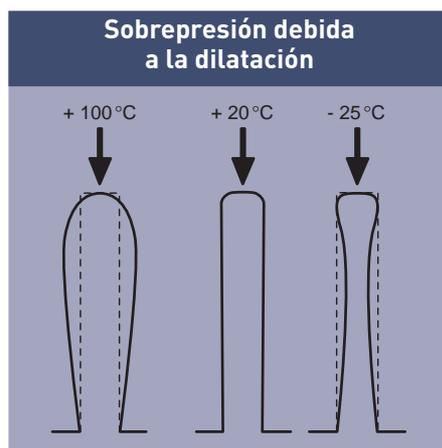


● **Transformadores de llenado integral**

La cuba está totalmente llena de líquido dieléctrico y herméticamente cerrada. No hay ningún riesgo de oxidación del aceite.

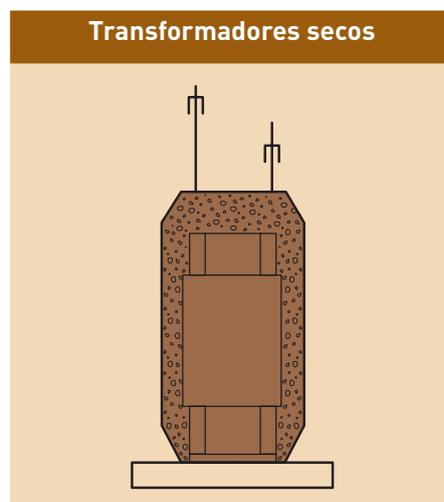


La sobrepresión debida a la dilatación del líquido es absorbido por los pliegues de la cuba.



2 Transformadores secos

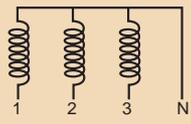
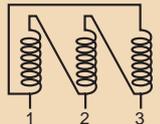
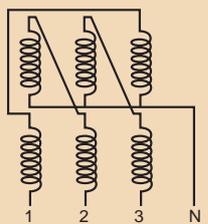
El circuito magnético está aislado (o recubierto) con un material aislante seco de varios componentes. La refrigeración se consigue por medio del aire ambiente, sin líquido intermedio. Este tipo de transformador tiene la ventaja de no presentar ningún riesgo de fuga o contaminación. En contrapartida requiere precauciones de instalación y mantenimiento (local ventilado, eliminación del polvo,...). Los devanados suelen ir provistos de sondas de detección que vigilan las temperaturas internas y permiten la desconexión de la carga y de la alimentación si surge un problema térmico.



! Designación simbólica de las conexiones

La conexión de los devanados trifásicos se designa con las letras Y, D y Z para los devanados de alta tensión e y, d y z para los de baja tensión.

Si el punto neutro de los devanados en estrella o en zigzag es accesible para su conexión, las designaciones se convierten en YN o ZN e yn o zn.

Conexión (o montaje)	Estrella	Triángulo	Zigzag
Esquema			
Símbolo			
Letra	Y o y	D o d	Z o z
Observaciones	Sencillo, robusto y adecuado a las tensiones muy altas	Más adecuado para corrientes fuertes	Utilizado en los secundarios de algunos transformadores de distribución. Mayor número de conexiones.



Configuraciones de conexión primario / secundario más utilizados

- Estrella / Estrella (Y,y): robusta, sencilla, neutra y accesible, pero inadecuada en régimen desequilibrado y con corrientes muy fuertes.
- Estrella / Triángulo (Y,d): buen comportamiento en régimen desequilibrado y ausencia de armónicos de tercer orden, pero no es posible la distribución BT con cuatro hilos (no hay neutro en el secundario).
- Triángulo / Estrella (D,y): sin neutro en el primario pero con posibilidad de neutro en el secundario (puesta a tierra y distribución con 4 hilos).
- Estrella / Zigzag (Y,z): primario adecuado para AT (alta tensión), posibilidad de punto neutro puesto a tierra, ausencia de armónicos de tercer orden, buen comportamiento en régimen desequilibrado, caídas de tensión interna pequeñas pero mayor costo y volumen, y realización más delicada.
- Triángulo Zigzag (D,z): misma calidad que la anterior, con mejor comportamiento en régimen desequilibrado pero sin neutro en el primario.

Índice horario

La designación de las conexiones (por medio de letras) se completa con una cifra que indica el desfase angular, por ejemplo Yy6, Yd11, Yyn0 (neutro de salida). En lugar de expresar el desfase angular entre los vectores de tensión primaria/secundaria (entre polos o entre fases) en grados (u otra unidad angular) en un círculo trigonométrico con centro en el punto neutro, se utiliza un medio más descriptivo: el índice horario. Se supone que el vector de tensión del lado primario está situado en la posición de las 12 en punto y el índice horario indica la posición de la hora en que está situado el vector correspondiente del lado secundario.

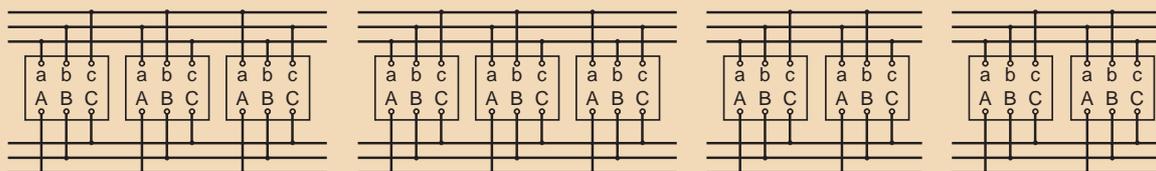
Conexiones usuales de los transformadores

Dd0		Yy0		Dz0	
Dy5		Yd5		Yz5	
Dd6		Yy6		Dz6	
Dy11		Yd11		Yz11	



Funcionamiento en paralelo de los transformadores

- Para que dos transformadores trifásicos puedan funcionar en paralelo, es necesario que tengan:
- una relación de potencia < 2
 - características de tensión iguales (relación de transformación)
 - características de cortocircuito iguales (% de tensión, corriente)
 - conexiones estrella-triángulo compatibles
 - índices horarios idénticos (conexiones entre bornes) o pertenecientes al mismo grupo de conexión si el régimen de utilización es equilibrado.



Indices horarios: 0 4 8 6 10 2 1 5 7 11

Se puede conseguir que funcionen en paralelo transformadores de grupos diferentes modificando conexiones, pero esto estará sujeto obligatoriamente a la aprobación de los fabricantes.

3 LOS GRUPOS ELECTROGENOS

Al satisfacer la necesidad de continuidad en el suministro de energía, los grupos electrógenos son objeto de una utilización cada vez mayor.

Según sus características, pueden constituir:

-alimentaciones de emergencia para reemplazar a la alimentación principal en caso de falla de esta última (con posibilidades de selección si la potencia del grupo es insuficiente),

-alimentaciones de sustitución como segunda fuente de alimentación principal para suplir a la primera fuente por razones de economía o en caso de excesos de consumo,

-alimentaciones para servicio de seguridad, asociadas en su caso a un ondulador para poner y mantener instalaciones en condiciones de seguridad en períodos incompatibles con la autonomía de las baterías.

En todos los casos, el criterio dominante al elegir un grupo es su aptitud para funcionar de manera autónoma durante largos períodos. La oferta de los fabricantes de grupos electrógenos es casi ilimitada, y abarca desde pequeños grupos portátiles de algunos kVA, que se utilizan como fuente autónoma, hasta centrales de energía de varios MVA pasando por los grupos móviles sobre ruedas (destinadas, por ejemplo, a la alimentación de la red pública en caso de avería) o por los grupos estacionarios de varios centenares de kVA (destinados en su mayoría a un servicio de seguridad o de emergencia. También las fuentes de energía están evolucionando y, aunque todavía se usa mucho petróleo, cada vez se emplea más el gas o incluso el vapor en las centrales de cogeneración.



Están llegando al mercado nuevas tecnologías de generación en sustitución o como complemento de los grupos electrógenos y, aunque no todas se encuentran aún en fase comercial, sin duda acabarán modificando la noción de producción autónoma y, sobre todo, su gestión eléctrica. En este contexto, cabe citar:

- los turbogeneradores de alta velocidad (microturbinas de gas),
- las pilas de combustible,
- los generadores eólicos,
- las células fotovoltaicas.

Todas estas tecnologías se benefician implícitamente de la evolución de la electrónica de potencia, que permite transformar la corriente producida (continua, variable, de alta frecuencia) en una corriente utilizable de 50 Hz.

Desde el punto de vista de las necesidades de continuidad de servicio para asegurar el normal desarrollo de los procesos o actividades ligados al funcionamiento de sistemas de emergencia estos se clasificarán como sigue:

Grupo 1.- En este grupo se encuentran aquellos sistemas de emergencia que alimenten consumos que por la naturaleza de su finalidad no toleran interrupciones superiores a 0,20 segundos y variaciones de frecuencia no superiores a $\pm 0,5\%$.

Grupo 2.- En este grupo se encuentran los sistemas de emergencia que alimenten consumos que no toleren interrupciones superiores a 15 seg.

Grupo 3.- En este grupo se encuentran los sistemas de emergencia que alimenten consumos que toleren tiempos de interrupción superiores a los ya indicados pero en ningún caso superiores a 15 minutos.

Transferencia de fuente

Los automatismos de inversión de fuentes de los DPX permiten, según las opciones de esquema, realizar todas las funciones necesarias en forma manual o automática.



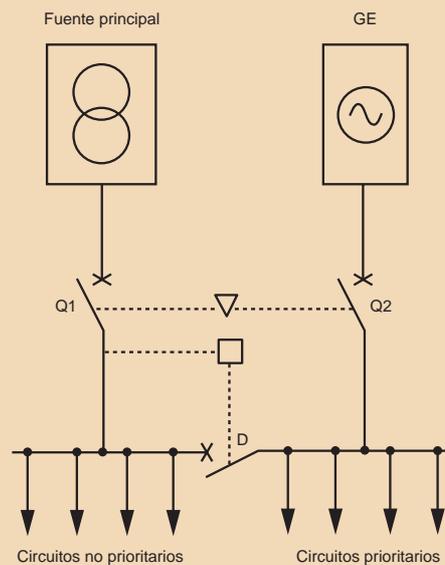
- conmutación temporizada de las fuentes,
- corte a distancia,
- protección y confirmación de fallas,
- mando a distancia del grupo,
- mando de selección de cargas

(soluciones y esquemas son descritas en el capítulo II.C.2)

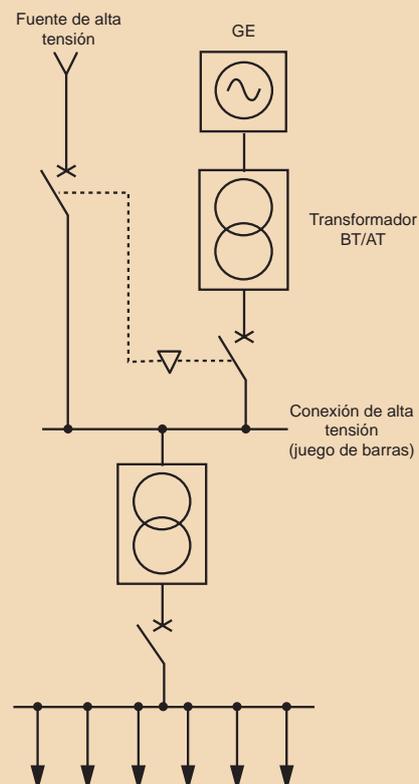
Principios de conexión de un grupo electrógeno como fuente de emergencia o de seguridad

En caso de falla de la fuente principal, ésta se desconecta (apertura de Q1) y D es accionado (apertura), si procede, para alimentar sólo las cargas de emergencia, que permitirá al grupo alimentar los circuitos deseados (Q2 cerrado).

La secuencia de maniobras puede ser manual, semiautomática o automática, pero en todos los casos, bloqueos eléctricos y mecánicos deben impedir la realimentación de la red por el grupo o la conexión de ambas fuentes juntas.



En las instalaciones de muy alta potencia, alimentadas directamente en AT (alta tensión), puede ser preferible conectar la fuente de emergencia directamente a la red de AT por medio de un transformador elevador BT / AT. En ese caso, las conmutaciones se efectúan directamente en AT y, por tanto, bajo corrientes más débiles.



4 ONDULADORES

El ondulador es una fuente de emergencia cuya autonomía está en función de la capacidad de su batería. La tecnología «on line» permite igualmente proteger ciertos equipos sensibles (informática) de las perturbaciones de la alimentación (microinterrupciones).

1 Tipo «off-line» o «en espera»

Esta tecnología, llamada también «stand-by», se utiliza para bajas potencias, no superiores a unos pocos kVA. La carga (utilización) es alimentada directamente por la red a través de un simple filtro que permite atenuar las perturbaciones.

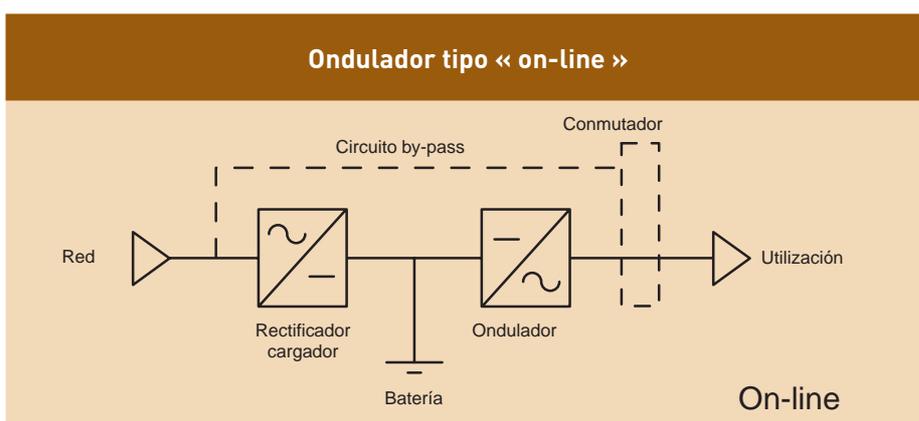
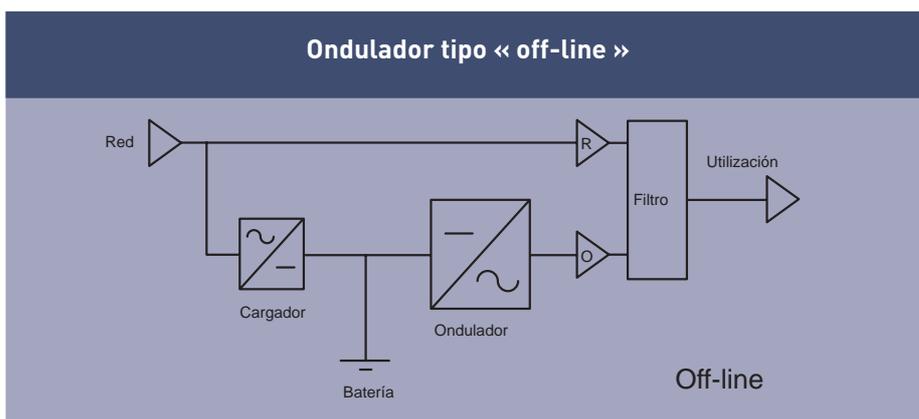
En caso de falla en un punto anterior de la red eléctrica, la utilización es transferida al ondulador y su batería por un conmutador rápido (de 2 a 10 ms). Es muy importante comprobar que el equipo alimentado puede soportar esta breve interrupción.

2 Tipo «on-line» o «en funcionamiento continuo»

Esta tecnología, la más utilizada por encima de 3 kVA, se considera la más eficaz. La carga (utilización) es alimentada constantemente por el ondulador, lo que garantiza una regulación permanente de la tensión y la frecuencia a la salida del aparato (± 1 a 3%).

En caso de falla en un punto anterior de la red eléctrica, la carga continúa siendo alimentada sin conmutación.

Resumen de tecnologías		
Funcionalidades	Off - line	On - line
Tiempo de transferencia a batería en los cortes de la red	Si	No
Protección contra microinterrupciones de duración inferior a 5 ms	No	Si
Regulación de frecuencia	No	Si
Regulación de tensión	No	Si
Absorción de picos de tensión	No	Si
Filtrado de armónicos	No	Si
Absorción de impactos de carga (corriente de llamada)	No	Si



Existen también otras denominaciones del tipo “no-break”, “doble- conversión”, etc..., pero son más comerciales que técnicas.

5 LAS BATERIAS

Una batería está compuesta por elementos acumuladores conectados entre ellos.

Existen dos tipos de baterías:

- las baterías abiertas, constituidas por elementos provistos de orificios que permiten liberar en la atmósfera la mezcla gaseosa (oxígeno e hidrógeno) y restablecer el nivel de electrolito; se utilizan en configuraciones importantes y necesitan de un local ventilado.
- las baterías sin mantención, constituidas por elementos que tienen una tasa de recombinación por lo menos igual al 95%; no requieren agua durante la explotación. Se utilizan para potencias elevadas.

La ventilación del local debe ser adaptada.

La autonomía y la duración de las baterías dependen de sus condiciones de explotación: potencia a proveer, régimen de descarga, temperatura ambiente, edad, condición de descarga.

Este tipo de fuente a menudo se utiliza para necesidades específicas como fuente de seguridad (alumbrado de seguridad, alimentación estabilizada con ayuda...).





Las condiciones de uso de las baterías de acumuladores, están dadas en la NCH Elec. 4/84, al respecto señala:

- Los acumuladores que se utilicen para alimentar sistemas de emergencia deberán ser de tipo estacionario. No se permitirá el uso de batería de vehículos.
- Los sistemas de emergencia alimentados por baterías podrán funcionar con una tensión de servicio distinta de las del sistema normal. Estando en funcionamiento la batería deberá tener una capacidad y características tales como para mantener durante un período no inferior a 90 minutos alimentando toda la carga conectada a este sistema, una tensión no menor al 85% del valor nominal.
- Las baterías plomo - ácido que requieran verificaciones periódicas del nivel de electrolito y en la que se les deba agregar agua para mantener dicho nivel deberán tener vasos transparentes.
- Las baterías irán montadas sobre soportes y bajo ellas se colocarán bandejas que cumplan las siguientes condiciones:
 - Los soportes podrán ser madera tratada, de metal tratado o materiales tales como fibra de vidrio, de modo que sean resistentes a la corrosión provocada por acción del electrolito. En todo caso, las partes del soporte que estén en contacto directo con las baterías deberán ser de material no conductor.
 - Las bandejas irán colocadas bajo las baterías y serán de madera tratada u otro material no conductor resistente a la acción corrosiva del ácido.
 - Las baterías estarán ubicadas en un recinto adecuadamente ventilado de modo de evitar la acumulación de una mezcla gaseosa explosiva.
 - La instalación de baterías deberá contar con un equipo cargador automático.

CONSIDERACIONES DE LOS RIESGOS

Aunque el término riesgo en sí tiene un significado totalmente claro para todo el mundo, su realidad es mucho más compleja ya que las nociones que crean el riesgo, y por tanto la reacción al mismo, es decir, la seguridad, etc., son a un tiempo amplias y sutiles, numerosas y específicas. Interdependencias, umbrales admisibles, siempre difíciles de estimar pero que miden sin concesiones las estadísticas. Estas últimas expresan claramente la verdadera seguridad de la energía eléctrica teniendo en cuenta su universalidad.

Es innegable que la tecnología ha permitido mejorar la eficacia y la fiabilidad de los aparatos. La normalización y la reglamentación han acompañado esta evolución al tiempo que los usos de la electricidad han ido multiplicándose hasta hacerse omnipresentes.

Ni que decir la competencia, el sentido común, la organización y el comportamiento serán siempre los pilares de la seguridad, pero los conocimientos necesarios son ahora tan precisos, diversos y numerosos que con frecuencia es necesario recurrir a la ayuda de especialistas.

Los organismos competentes, pueden ayudar a las empresas.

Si distinguimos las consecuencias humanas de los materiales, los accidentes e incidencias de origen eléctrico requieren conclusiones matizadas:

- los accidentes laborales de origen eléctrico están en constante disminución aunque siguen siendo la causa de algunos fallecimientos, mientras que los riesgos eléctricos siguen siendo una de las principales causas de incendio. Respecto a este punto, habría que tener en cuenta también las causas reales y las supuestas y, sobre todo, su origen exacto. El corto circuito, contrariamente

a lo que suele decirse, es rara vez la causa del siniestro. Las sobrecargas prolongadas (líneas subdimensionadas), los calentamientos locales (conexiones), las chispas (descargas electrostáticas en ambiente explosivo, silos, minas) y, por supuesto, el rayo, son las principales causas de siniestros.

No hay que confundir seguridad física con seguridad funcional.



La seguridad física tiene que ver con las consecuencias directas o indirectas para las personas o los bienes derivadas de una falla, un error de maniobra o incluso de ciertas acciones voluntarias, debiendo considerarse incluido al medio ambiente en el concepto de los bienes.

La seguridad funcional integra nociones más mensurables de eficacia, vida útil, robustez y, especialmente, en el campo de la distribución eléctrica, de fiabilidad y continuidad de funcionamiento. La seguridad funcional es uno de los elementos que permiten garantizar la seguridad física.

> PARA UNA MEJOR CONSIDERACIÓN DE LA SEGURIDAD

En la fase de diseño:

- conocer los textos reglamentarios pertinentes y las características específicas del proyecto (instalaciones clasificadas, obras peligrosas).
- respetar las reglas de cálculo de las instalaciones.

En la fase de realización:

- elegir materiales seguros y acreditados
- velar por la correcta ejecución de los trabajos.

En la fase de explotación:

- definir consignas precisas o de urgencia
- elaborar un programa de mantenimiento
- formar al personal en las tareas que ha de realizar (calificaciones y habilitaciones).

SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

Aunque sea indiscutiblemente la energía más segura, la electricidad no deja de encerrar un peligro por su carácter invisible. Sus efectos sobre el cuerpo humano son suficientemente conocidos como para protegernos eficazmente.

1 EL RIESGO DE ELECTROCUCIÓN

Los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano dependen de dos factores:

- el tiempo de paso de la corriente a través del cuerpo.

- la intensidad y frecuencia de la corriente.

Estos dos factores son independientes entre sí, pero el nivel de riesgo será más o menos elevado en función del valor de cada factor. La intensidad de corriente peligrosa para el ser humano depende de la tensión y de la tolerancia del cuerpo. En la práctica, la intensidad se define a partir de una tensión límite generalmente considerada igual a 220V. Esta tensión tiene en cuenta la corriente máxima que puede soportar un ser humano que posea una resistencia eléctrica interna mínima, en determinadas condiciones. También tiene en cuenta la duración máxima admisible del tiempo de paso de la corriente por el cuerpo, sin efectos fisiopatológicos peligrosos (fibrilación cardíaca).

1 Aspecto fisiológico

Cuando el cuerpo humano se ve sometido a una tensión eléctrica, reacciona como un receptor clásico que posee una determinada resistencia interna.

Es recorrido por una corriente eléctrica que produce tres riesgos graves:

- tetanización: la corriente mantiene contraídos los músculos por los que circula; si se trata de la caja torácica, puede provocar un bloqueo respiratorio.
- fibrilación ventricular: completa desorganización del ritmo cardíaco.
- efectos térmicos que provocan lesiones más o menos graves de los tejidos, incluso quemaduras profundas en el caso de corrientes muy elevadas.

El cuadro adjunto muestra que, con una tensión de contacto de 220 V, el cuerpo humano sería atravesado por una corriente de 147 mA. Para evitar cualquier tipo de riesgo, dicha corriente no debería mantenerse más de 0,17 segundos.

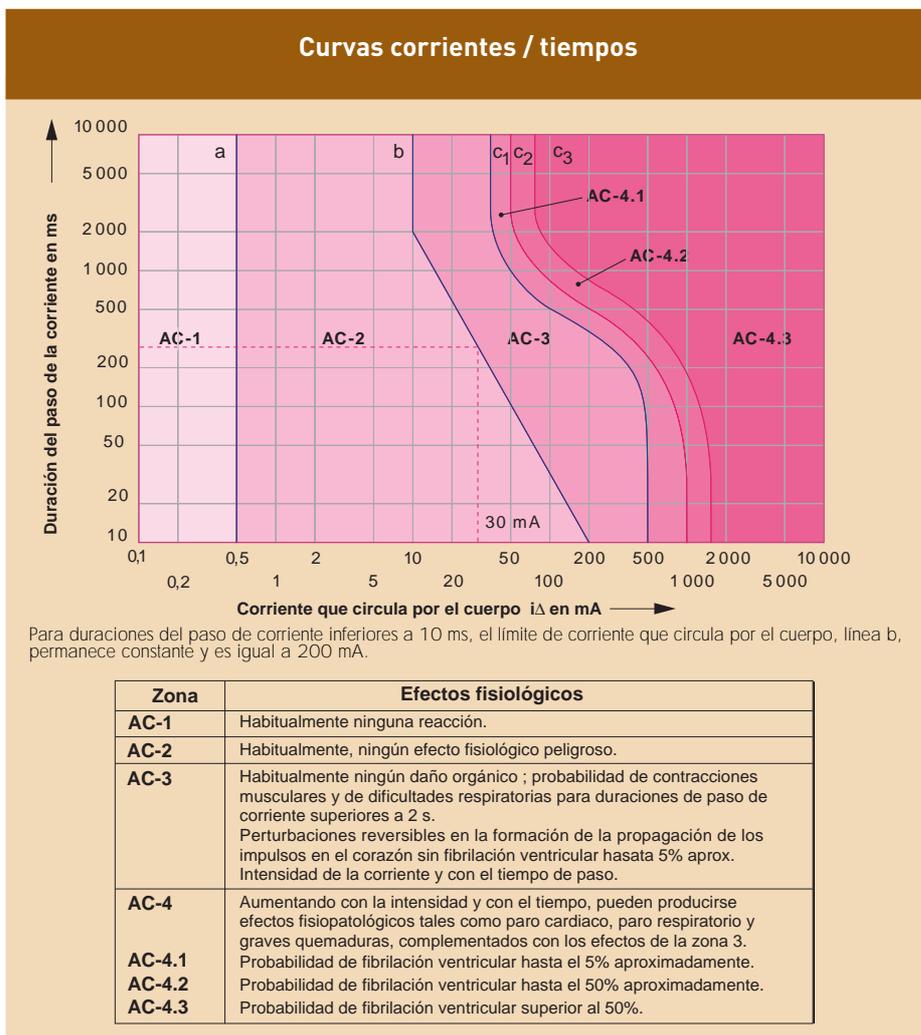
Relación tiempo de paso máximo/tensión de contacto en condiciones de contacto normales (U:220V)

Tensión de contacto Uc (V)	Impedancia eléctrica del cuerpo humano Zn (Ω)	Corriente que atraviesa el cuerpo humano In (mA)	Tiempo de paso máximo tn (s)
50	1725	29	≥ 5
75	1625	46	0,60
100	1600	62	0,40
150	1550	97	0,28
220	1500	147	0,17
300	1480	203	0,12
400	1450	276	0,07
500	1430	350	0,04

Las normas definen las curvas límites corriente/tiempo considerando los dos parámetros que se han de tener en cuenta para la evaluación del riesgo.

$i\Delta$: corriente que circula por el cuerpo.
t: tiempo de paso de la corriente a través del cuerpo.

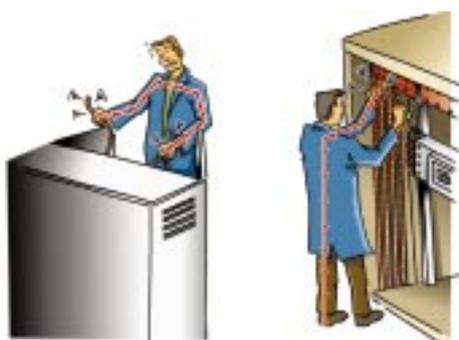
Estas curvas, definidas por la IEC 60479-1, indican los diferentes límites de los efectos de la corriente alterna a 50Hz en las personas y determinan 4 zonas principales de riesgo.



Las curvas corrientes/ tiempos vienen determinadas para una frecuencia de 15 a 50 Hz. El riesgo aumenta considerablemente con la frecuencia.

2 Riesgo de contacto directo

Decimos que existe contacto directo cuando una persona toca directamente una parte desnuda y bajo tensión eléctrica de un aparato, equipo o instalación (por imprudencia, torpeza o a causa de un defecto...).



3 Riesgo de contacto indirecto

Hablamos de contacto indirecto cuando una persona toca una masa metálica por la que accidentalmente circula corriente (falta de aislamiento del aparato o de la máquina eléctrica).

Por lo tanto, es importante detectar y eliminar rápidamente la falla antes de que alguien entre en contacto con la masa metálica.



Las condiciones de protección contra tensiones peligrosas están dadas en la NCH Elec. 4/84.

2 RIESGOS DE QUEMADURAS

1 Contacto con superficies calientes

Las temperaturas alcanzadas por las superficies accesibles de los equipos eléctricos no deben ser susceptibles de provocar quemaduras al ser tocadas dichas superficies.

Si determinadas superficies pueden alcanzar valores más elevados, aunque sólo sea durante breves instantes, deberán estar protegidos.



La evaluación del riesgo efectivo de quemaduras debe realizarse teniendo en cuenta:

- la temperatura de la superficie.
- el material constitutivo de dicha superficie.
- la duración del contacto con la piel.

Pueden ser necesarios datos complementarios tales como la forma (ranuras), la presencia de un revestimiento o la presión de contacto.

Valores recomendados de temperatura máxima admisible de las superficies

Partes accesibles	Material de las partes accesibles	Temperaturas máximas (°C)
Organos de mando manual	Metálico	55
	No metálico	65
Previstas para ser tocadas pero no destinadas a tenerlas en la mano	Metálico	70
	No metálico	80
No destinadas a ser tocadas en servicio normal	Metálico	80
	No metálico	90

2 Arco eléctrico

Aparte de las consecuencias materiales, muy destructivas, los riesgos de un arco eléctrico accidental son sobre todo térmicos (quemaduras directas por plasma, proyección de material en fusión) y luminosas (destello intenso). El arco puede provenir de la apertura o el cierre de un circuito o de un cortocircuito: En este segundo caso, puede ser extremadamente energético ya que únicamente está limitado por la potencia de la fuente.



No existen protecciones específicas contra el arco eléctrico, que sigue siendo un fenómeno imprevisible. Las pantallas o tabiques pueden limitar sus consecuencias pero la mejor prevención sigue siendo el respeto de las “reglas del oficio” y la conformidad con la reglamentación al realizar las instalaciones. A fin de reducir la probabilidad de cortocircuito, deben tomarse precauciones especiales en las partes de dichas instalaciones que no están protegidas (por estar situadas antes de los dispositivos de protección) (véanse las precauciones de cableado en el capítulo III.E.2).

3 EXPOSICION A CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE BAJA FRECUENCIA (EXCEPTO RADIOFRECUENCIA)

La exposición a los campos electro-magnéticos no está reglamentada ni a escala nacional ni a escala internacional. Se han llevado a cabo numerosos estudios epidermiológicos que no han aportado conclusiones que demuestren los efectos de los campos electromagnéticos en humanos.

Por lo tanto, la evaluación de este posible riesgo sigue siendo objeto de numerosas investigaciones.

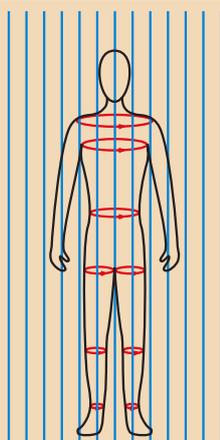


Los portadores de implantes médicos, tanto activos como pasivos, deben indicar esta circunstancia al médico de la empresa a fin de que se comprueben las condiciones reales de exposición (campo magnético y campo eléctrico), así como su compatibilidad.

1 Campos magnéticos de baja frecuencia (en A/m)

Están generados por las corrientes y son proporcionales a su intensidad. Inducen en el cuerpo humano corrientes perpendiculares al campo magnético. Los valores del campo magnético van desde algunas pT (picotesla) a varios mT (militesla). El valor de exposición disminuye rápidamente con el cubo de la distancia. Por lo tanto, las exposiciones más intensas se alcanzan con aparatos domésticos muy cercanos al cuerpo (secador de cabello, afeitadora, manta eléctrica).

Campos magnéticos de baja frecuencia

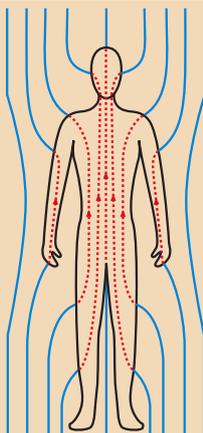


2 Campos eléctricos de baja frecuencia (en V/m)

El campo eléctrico en la superficie del cuerpo humano se modifica en función de la conductividad de éste. La intensidad del campo es máxima al nivel de la cabeza. El campo eléctrico induce corrientes especialmente en el eje del cuerpo.

Los valores medidos más elevados (hasta varios kV/m) se sitúan cerca de las líneas de energía y de los transformadores de alta tensión, de las soldaduras y de los hornos de inducción. El campo eléctrico disminuye con el cuadrado de la distancia.

Campos eléctricos de baja frecuencia



Prueba de la dificultad del tema y de las controversias que genera, es lo limitado de la edición de documentos oficiales (normas, reglamentos) en cuanto al número de estudios, tesis e informes disponibles sobre dicho tema. Citaremos la norma IEEE 95-1-1991 de origen americano y la recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE.

SEGURIDAD DE LOS BIENES

Para preservar la integridad y la seguridad de los edificios y de las obras, de su actividad y su perennidad.

Hay que saber anticipar/predecir corto circuitos, corrosión, vibraciones, contaminación, fuego y otras perturbaciones y fenómenos destructores y predecibles.

La seguridad de los bienes, íntimamente ligada a la de las personas, requiere un enfoque preventivo basado en un análisis del siguiente tipo:



El cuadro adjunto recuerda, a título indicativo, los principales elementos que deben tenerse en cuenta en relación con los factores de riesgo eléctrico, sin que esto sustituya al necesario "análisis de riesgo" que debe acompañar a todo proyecto.

Análisis de riesgos eléctricos	
Factores de Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> ● Sobreintensidades (sobrecargas, cortocircuitos) ● Corrientes de fuga. ● Sobretensiones (rayo, descargas electrostáticas...) ● Bajadas de tensión y cortes de alimentación. ● Perturbaciones electromagnéticas. ● Degradaciones, envejecimiento, corrosión. ● ...
Condiciones medioambientales	<ul style="list-style-type: none"> ● Estructura de los edificios. ● Materiales de construcción. ● Naturaleza de los materiales tratados o almacenados. ● Condiciones de evacuación de las personas. ● Lugares públicos (vandalismo). ● Condiciones climáticas medioambientales. ● Tensiones mecánicas, vibraciones, terremotos. ● Presencia de fauna y flora (mohos...) ● Exposición a la interperie (viento, lluvia, inundaciones...) ● ...
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> ● Incendio. ● Explosión. ● Discontinuidad de la explotación. ● Mal funcionamiento (CEM). ● Contaminación medioambiental. ● ...
Medios	<ul style="list-style-type: none"> ● Dispositivos de protección contra sobreintensidades. ● Limitación de las corrientes de falla. ● Utilización de materiales, conductos y conductores conforme a las normas. ● Evaluación de la carga calórica. ● Resistencia y reacción frente al fuego de los elementos constructivos. ● Compartimentación, eliminación de humos. ● Detección, alarmas. ● Medios de lucha. ● Dispositivos anti-intrusión, antivandalismo. ● Protección, adecuada a las condiciones medioambientales (climática, mecánica, química...) ● ...



La protección total no existe; la mejor seguridad pasa por la búsqueda de compromisos razonables y razonados en los que la protección de las personas es prioritaria.

1 RIESGOS DE SOBREINTENSIDADES

Por principio todos los conductores activos de la instalación (fases y neutro) deben estar protegidos contra sobrecargas y cortacircuitos.

1 Sobrecarga

Es una sobreintensidad que circula por un circuito en ausencia de falla eléctrica. Se debe a un conductor subdimensionado para la carga alimentada (o, a la inversa, a una carga demasiado elevada para la canalización).

Deben preverse dispositivos de protección para interrumpir cualquier corriente de sobrecarga antes que el

calentamiento del conductor perjudique su aislamiento, sus conexiones y los materiales que le rodean, la protección contra las sobrecargas puede efectuarse también mediante fusibles (tipo gG), automáticos con relé térmico, automáticos con relé electrónico, o interruptores con relé de medida. ¡Atención! Los fusibles aM no protegen contra las sobrecargas. Las reglas de determinación para garantizar la protección contra las sobrecargas se describen en el capítulo II.A.1.



2 Cortocircuito

Se trata de una sobreintensidad producida por una falla de impedancia despreciable entre conductores de potencia diferente.

Su origen es accidental y puede ser debido a un error (caída de una herramienta, corte de un cable) o a una falla del material.

Deben proyectarse dispositivos de protección a fin de limitar y cortar las corrientes de cortocircuito antes de que sus efectos térmicos (calentamiento de los conductores, arco eléctrico) y mecánicas (esfuerzos electrodinámicos) puedan ser perjudiciales y peligrosos.

La protección contra cortocircuitos puede efectuarse mediante fusibles (tipo gG o aM), automáticos con relé magnético, o automáticos con relé electrónico (corriente máxima). Su poder de corte y su tiempo de apertura del circuito deben ser los adecuados para el circuito protegido. Las reglas de determinación para garantizar la protección contra cortocircuitos se describen en el capítulo II.A.3.



Los dispositivos de protección de los circuitos de una instalación no están previstos para garantizar la protección de los circuitos internos de los aparatos ni la de los conductores flexibles (cables de alimentación de aparatos móviles) conectados a enchufes.

Puede ser necesario el estudio de protecciones independientes y apropiadas si existe riesgo de sobreintensidades (sobrecarga en motores, por ejemplo).



Por principio, todas las líneas deben estar protegidas contra cortocircuitos. Están autorizadas las asociaciones de aparatos para aumentar el poder de corte (véase el capítulo II.B.2). En ciertos casos es posible igualmente que no exista necesidad de protección (véase página XXX). Dentro de las precauciones de cableado debe tenerse en cuenta la protección de conductores en paralelo (de un mismo circuito) y la protección de la instalación antes de los dispositivos de protección (véase página 376).

2 RIESGOS DE CORRIENTES DE DEFECTO

En equipos e instalaciones, las corrientes de fuga entre partes activas y masas obedecen generalmente a una falla o al envejecimiento de la instalación. Según el valor alcanzado, la circulación de la corriente puede crear chispas, e incluso inflamar el material circundante. La elección del régimen de neutro determina el valor máximo de las corrientes de defecto.

En caso de riesgo de incendio:

- el esquema TN-C está prohibido, las corrientes pueden alcanzar varios kA y circular incluso a través de la estructura de los edificios.
- el esquema TN-S es desaconsejable salvo que se complemente con dispositivos diferenciales de sensibilidad $I_{\Delta n} < 300 \text{ mA}$.
- el esquema TT es posible (limitación por diferencial).
- el esquema IT está recomendado por su seguridad intrínseca ya que la corriente de 1^{er} falla puede limitarse a un valor muy débil (unos pocos mA), para evitar el riesgo de arco. Atención de 2^o falla, que debe estar protegido con un diferencial $I_{\Delta n} < 300 \text{ mA}$.



En situaciones de riesgo, es muy recomendable efectuar un mantenimiento preventivo basado en el seguimiento del valor del aislamiento del conjunto de la instalación: valores indicados por el controlador permanente de aislamiento (IT) o campañas regulares de mediciones de la resistencia de aislamiento.

La presencia de contaminantes, humedad o envejecimiento de los aislantes se traduce en puntos débiles del aislamiento. Si se aumenta significativamente el valor de la tensión de prueba, se observará una notable disminución del valor de la resistencia. La aplicación de tensiones crecientes de medición, por ejemplo: 500V, 1.000V, 1.500V, 2.500V, 5.000V, revelará deficiencias si el valor del aislamiento cae más de un 25% en cada salto de tensión.

¡Atención! El valor de prueba debe ser netamente inferior a la rigidez dieléctrica de la instalación (mínimo $2 U + 1.000$).

3 RIESGOS DE SOBRETENSIONES

Las sobretensiones pueden tener diversas causas, de las cuales es importante conocer sus características para implantar los medios de protección apropiados.

1 Sobretensiones de origen atmosférico

Los mecanismos del rayo son muy complejos, pero podemos decir de manera simplificada que se trata de una descarga eléctrica de gran energía provocada por un reequilibrado del potencial entre nubes o entre nubes y suelo. Las corrientes de rayo alcanzan valores de 10 a 100 kA, con tiempos de aumento de unos pocos microsegundos.

El rayo provoca daños considerables. Centenares de edificios, líneas telefónicas y eléctricas quedan inutilizados cada año como consecuencia de este fenómeno. Miles de animales y decenas de personas son víctimas de rayos.



El riesgo local de tormenta viene determinado por el nivel cerámico, que es el número de días en el que se ha oído el trueno durante un año. Las regiones montañosas son las más expuestas.

En la práctica, se usan mapas de densidad de caídas de rayos. Estos establecidos con observaciones de los últimos quince años (red meteorológica), cuantifican la cantidad de impactos por año y por km².

Los efectos del rayo se dividen normalmente en directos e indirectos.



• Efectos directos

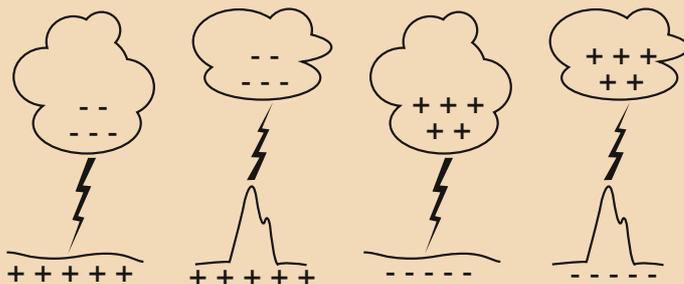
La fulminación provoca en el punto de impacto:

- efectos térmicos directos (fusión, incendio) debidos al arco eléctrico.
- efectos térmicos y electrodinámicos inducidos por la circulación de la corriente del rayo.
- efectos de deflagración (onda de

choque y soplido de aire) producidos por el calor y la dilatación del aire. La protección contra los efectos directos del rayo se basa en la captación y el transporte de la corriente a tierra (pararrayos, varillas de captura...).



Según el sentido del desarrollo de la carga (descendente o ascendente) y según la polaridad de las cargas (positivas o negativas), se distinguen cuatro tipos de golpes de rayos contra el suelo.



Descendente negativo

Ascendente positivo

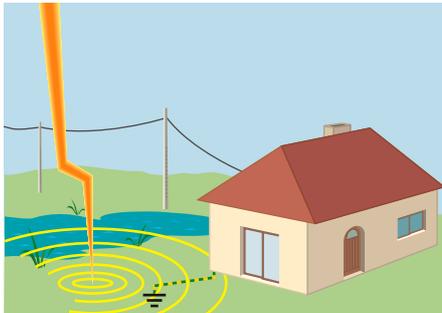
Descendente positivo

Ascendente negativo

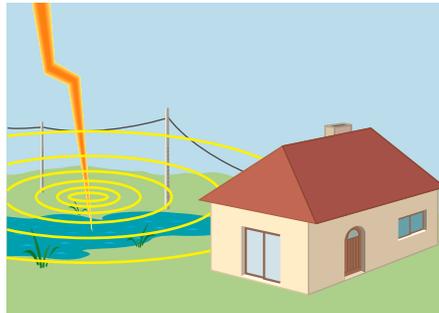
Los choques de rayos negativos descendentes son los más frecuentes. La corriente de descarga varía desde algunas decenas a un centenar de kA. Un "precursor" traza un canal conductor descendiendo de la nube hacia el suelo y la descarga de rayo se efectúa "de vuelta" del suelo hacia la nube.

Cuando el precursor sube, el choque de rayos se llama ascendente. Los choques de rayos, ascendentes positivos son más frecuentes en el invierno, pero más escasos (10 %), son también los más violentos (varios centenares de kA). Se desarrollan a partir de una prominencia natural o artificial.

• Efectos indirectos



- Un choque de rayo contra el suelo causa una subida en potencial de la tierra que puede propagarse a la instalación (remontada de tierra).



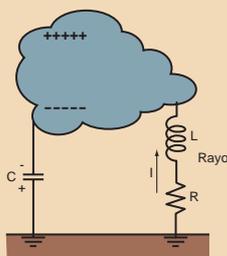
- A la descarga del rayo también se asocia un campo electromagnético de amplio espectro y de frecuencia que, al acoplarse con los elementos conductores (estructuras de edificio, instalaciones eléctricas), va a dar nacimiento a corrientes inducidas destructivas.

La protección contra los efectos indirectos se basa esencialmente en la utilización de pararrayos, en la equipotencialidad de las masas y la dimensión de la malla de los edificios.



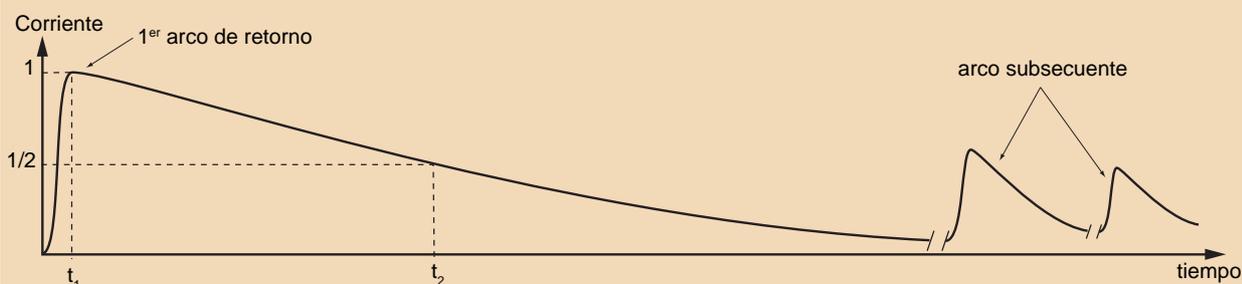
- La fulminación de las líneas aéreas implica la propagación en las redes AT y BT de sobre tensiones de varios millares de voltios.

Modelo eléctrico de una descarga atmosférica



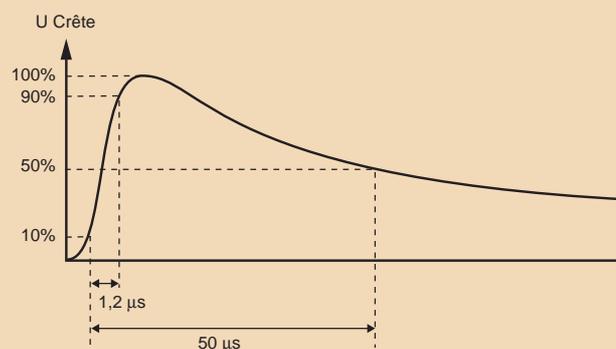
Las descargas de rayo ascendentes se desarrollan a partir de una prominencia natural o artificial. Las descargas más frecuentes en llano son las descendentes negativas. Una primera descarga (precursora) parte de la nube y avanza hacia el suelo. Cerca de éste, se encuentra con un "líder ascendente" formado a partir de un punto conectado a tierra (árbol), pararrayos, o el propio suelo. Al encontrarse el precursor con el líder, se produce la descarga propiamente dicha, con emisión luminosa (rayo), sonora (trueno) y descarga de una intensa corriente que puede alcanzar los 50kA.

Aspecto típico de la corriente de descarga de una caída negativa (valor en el 90% de los casos).



Onda normalizada

Una onda normalizada de tensión de choque (onda 1,2/50) se aplica a los materiales para que caractericen y que califiquen su comportamiento a las sobre tensiones inducidas por el rayo en las instalaciones.



A esta onda se superpone una onda de corriente de forma similar, pero desfasada y de característica 8/20 μs.



Las instalaciones de protección contra el rayo nunca garantizan una protección absoluta de los bienes y las personas. Las disposiciones que se toman están encaminadas a la reducción estadística de los riesgos para los elementos a proteger.

2 Sobretensiones de maniobras

Prácticamente todas las conmutaciones en las redes industriales, y particularmente las de elevada potencia, producen sobretensiones.

Estas son provocadas por la interrupción brusca de la corriente. Las líneas y los transformadores se comportan entonces "self-inductions" (autoinducciones).

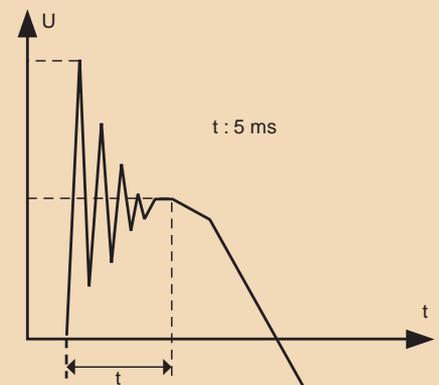
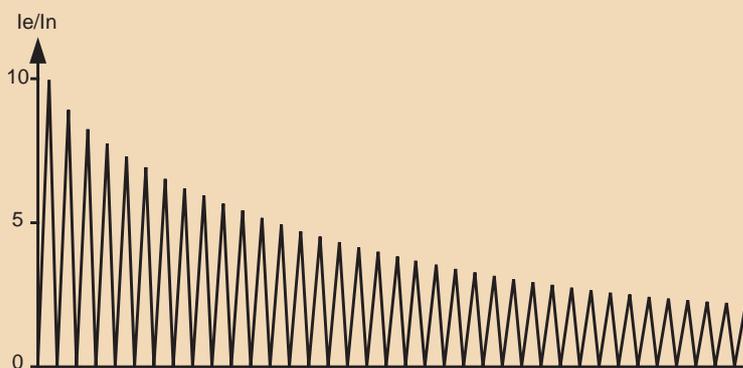
La energía aplicada en forma de transitorios depende de las características del circuito conmutado. El tiempo de subida es del orden de unas decenas de microsegundos, con un valor de varios kV.



La instalación de pararrayos destinados a la protección contra sobretensiones de origen atmosférico (rayo) permite generalmente prevenir las sobretensiones de maniobra

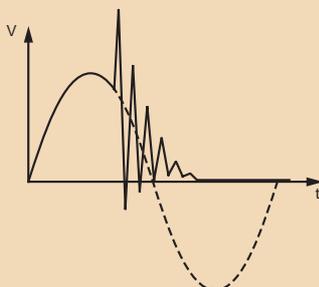


Los regímenes transitorios, que pueden constituir fuentes de sobretensiones y de sobreintensidades, pueden generarse como consecuencia de la activación o de la desactivación de cargas. Los transitorios más comunes tienen que ver con los transformadores, motores, condensadores y baterías.



La activación de un transformador genera una corriente de llamada de 10 a 20In, con una componente aperiódica amortiguada. Esto provoca una sobretensión en el secundario por acoplo capacitativo y efectos oscilatorios como consecuencia de las capacidades y de las inductancias entre espiras.

La desconexión (o la apertura) de un transformador crea una sobretensión transitoria debida a la interrupción de la corriente en un circuito inductivo. Esta sobretensión puede crear recibidos de arco en los dispositivos de corte, los cuales deben escogerse en consecuencia.



Sobretensión al desconectarse un transformador

3 Sobretensiones por falla del aislamiento con respecto a instalaciones de tensión más elevadas

Por regla general, las sobretensiones de este tipo sólo se tienen en cuenta para las fallas entre la alta tensión y la masa del centro de transformación AT/BT.



Si el riesgo de falla directa entre instalaciones de AT y BT no es despreciable y las tomas de tierra del centro y de la instalación son diferentes, deberá comprobarse que el valor de la toma de tierra del neutro RTS (de la instalación) es lo bastante bajo como para limitar el aumento de potencial de la instalación de BT.

$$RTS^1 \leq \frac{V_{ta} - V_n}{I_m}$$

RTS: **resistencia de la toma de tierra del neutro.**

V_{ta}: **tensión de rigidez dieléctrica a 50 Hz generalmente se toma 2U + 1.000)**

V_n: **tensión nominal de la instalación**

I_m: **corriente máxima de falla entre fase y tierra de la instalación de AT.**

4 Descargas electrostáticas

Aunque no pueda decirse con propiedad que se transmiten por la red eléctrica, ya que su origen es exterior, las descargas electrostáticas pertenecen a la categoría de las sobretensiones.



Son una causa importante de destrucción de componentes o de equipos electrónicos, así como de

incendios o explosiones en locales en los que se manejan materias pulverulentas (harinas), inflamables (disolventes) o en condiciones polvorientas (silos de grano).

Al frotar dos materiales aislantes entre sí, uno de ellos cede electrones al otro. Es el efecto de carga electrostática.

Algunos materiales tienen tendencia a cargarse positivamente (pérdida de electrones) y otros a cargarse negativamente (ganancia de electrones). Cuanto más alejados se encuentren los materiales en la escala de potenciales, mayor será el intercambio.

Numerosas asociaciones de materiales constituyen fuentes de cargas electrostáticas.

Escala de potenciales de algunos materiales

+ carga positiva	↑	Aire Mano Vidrio Mica Cabello humano Nylon Lana Piel Plomo Aluminio Papel
	Referencia 0	Algodón (seco)
- carga negativa	↓	Acero Madera Níquel, Cobre Plata Oro, Platino Acrílico Poliéster Poliuretano Polipropileno Poliuretano Policloruro de vinilo Silicio Teflón

• Electrolización del cuerpo humano

El hombre, al moverse o caminar, transmite electrones a las superficies con las que entra en contacto (maqueta, mobiliario...). Tras algunos movimientos se establece un equilibrio y la carga puede entonces alcanzar algunos microculombios y varias decenas de kV.

El contacto con un elemento conectado a tierra provocará una violenta descarga, capaz de perturbar o de destruir la mayor parte de los componentes electrónicos.

Los efectos son directos (descarga eléctrica) o indirectos (campo magnético inducido por la circulación de la corriente de descarga, que puede alcanzar varias decenas de amperes).

• Electrolización de máquinas, fluidos, partículas.

Las correas de transmisión en las poleas, las cintas textiles sobre rodillos, el papel en las rotativas y todos aquellos sistemas en los que se producen rozamientos permanentes, son fuentes de descargas electroestáticas. Sus consecuencias van desde las molestias que puede sentir el personal, hasta el riesgo de incendio o de explosión según los materiales tratados.

Los líquidos pueden igualmente electrificarse en las canalizaciones, especialmente si estas últimas son de material aislante. También la descarga de gases comprimidos o de chorros de vapor puede generar cargas electroestáticas.

Las nubes de polvo pueden acumular cargas considerables, cuyo potencial puede sobrepasar los 10kV. La cantidad de cargas electroestáticas aumenta con la concentración, la finura y la velocidad de desplazamiento. La

inflamación, o más frecuentemente la explosión, puede proceder de una descarga espontánea en la nube de polvo de una fuente exterior (cinta transportadora, persona...).

El riesgo de descargas electroestáticas también debe tenerse en cuenta de modo especial en los hospitales: mezclas inflamables, presencia de oxígeno, humedad relativa reducida por la calefacción, numerosos rozamientos de tejidos (cama, ropa...), son los principales ingredientes.

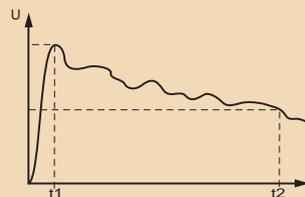


El hombre puede considerarse como un condensador de varios centenares de picofaradios (pF) en serie, con una resistencia de varios kΩ.



En el momento de la descarga electrostática R,L,C del circuito de descarga los que determinan las características: tiempo de subida, duración, valor de pico...

Aspecto típico de una descarga electrostática.



t1: tiempo de subida, 1 a 5 ns.
t2: tiempo de caída a la mitad del valor, 50 a 100 ns.
U: potencial electrostático, 15 kV (máx. 25 a 40 kV).
I: 5 a 20 A (máx. 70 A)



El efecto de carga electrostática depende de numerosos parámetros, como la naturaleza de los materiales en rozamiento (permitividad), las condiciones de rozamiento y de separación (velocidad relativa), pero sobre todo de las condiciones de temperatura y de humedad ambientales. Según las posibilidades o las exigencias de los procesos o de los locales, la reducción del riesgo de descarga electrostática pasará por:

- la humedificación de la atmósfera (> 70%).
- el incremento de la conductividad de los aislantes.
- la puesta a tierra y el establecimiento de conexiones equipotenciales.
- la reducción de los rozamientos.
- la neutralización de las cargas (ionización del aire, eliminadores por inducción o radioactivos...).

4 INTERRUPCIONES Y CAIDAS DE TENSION

La desaparición de la tensión de alimentación y su establecimiento súbito pueden construir una fuente de peligro. Del mismo modo, determinados materiales pueden ser incapaces de soportar una caída de tensión (por encima de los límites habituales) y su comportamiento verse afectado: calado de motores, reacciones imprevistas de los automatismos...

Las interrupciones de tensión deben analizarse considerando todas sus consecuencias: riesgo de pánico, paro de máquinas, paro de operaciones que puedan hacer peligrar la vida de las personas... Según las exigencias de explotación y/o de seguridad, la alimentación de energía deberá garantizarse con o sin interrupción.



Existen dispositivos de tensión mínima temporizados que pueden garantizar una protección apropiada para un nivel de caída de tensión predeterminado, para un tiempo de interrupción o de caída, o para ambas cosas simultáneamente, pero no deben impedir ni retrasar cualquier maniobra de control de paro o de parada de emergencia.

Guardamotores



... garantizan el control y la protección de motores trifásicos. Pueden estar provistos de un interruptor de seguridad de falta de tensión ref. 029 37 / 38 regulable de 0,35 a 0,7 IN

5 PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

El desarrollo acelerado de la energía eléctrica y de sus aplicaciones (electrónica, informática) así como la multiplicación de aparatos, fijos o móviles, y la descentralización de las funciones, han modificado verdaderamente el medio ambiente natural. La compatibilidad electromagnética (o CEM) se define como la aptitud de un material, de un sistema o de una instalación para funcionar correctamente en su entorno, sin generar por sí mismo perturbaciones intolerables para los demás elementos de dicho entorno. Es una exigencia inexcusable que no se puede ignorar en las instalaciones actuales. Según los casos, la CEM se tratará en el marco de la fuente (reducción de la emisión), en el de la víctima (mejora de la inmunidad o «endurecimiento»), o en ambos.

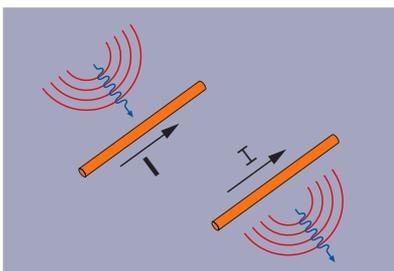
La complejidad de los problemas de la CEM está ligada frecuentemente al hecho de que las fuentes pueden también ser víctimas y víctimas de las fuentes, y que el acoplamiento se lleva a cabo conjuntamente según dos modos: irradiado y conducido.



La CEM viene definida por tres parámetros:

Fuente = **Acoplamiento** = **Víctima**

- La fuente se caracteriza por un nivel de emisión. Las principales fuentes de perturbación son: el rayo, los emisores hertzianos, los generadores de alta frecuencia, los disyuntores e interruptores de potencia, los hornos de arco y de inducción, las alimentaciones de corte, la iluminación fluorescente, los relés, los motores eléctricos, las herramientas, los electrodomésticos, las descargas electrostáticas...
- La víctima se caracteriza por un nivel de inmunidad. Las principales víctimas son: la radio, la televisión, las telecomunicaciones, los modems, la informática, los aparatos provistos de circuitos electrónicos...
- El acoplamiento define la vía de transmisión de la perturbación. Existen dos modos de transmisión:
 - la radiación (en el aire, sin soporte material)
 - la conducción (a través de los elementos conductores: masas, tierra, cables...).

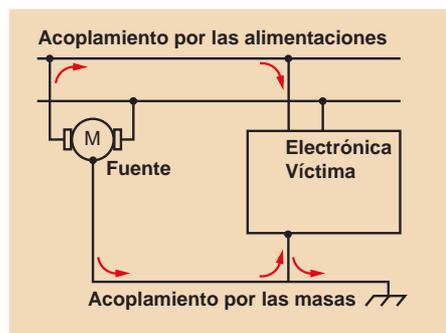


Los conductores son antenas que no solo reciben ... sino que también emiten

Los problemas de la CEM provienen de los «acoplamientos» que se establecen entre los diferentes elementos de un sistema o de una instalación. Estos fenómenos son aún más cruciales cuando coexisten aparatos de potencia con aparatos electrónicos, cuando sus líneas de alimentación (corrientes fuertes) y de transmisión (corrientes débiles) están próximas entre sí y cuando el medio ambiente se encuentra perturbado como consecuencia de la propia actividad. El acoplamiento, que transmite la perturbación, puede presentarse de cinco modos.

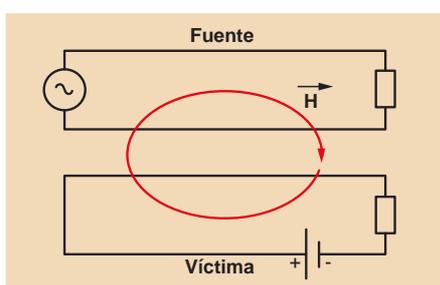
1 Acoplamiento por impedancia común

Las perturbaciones se transmiten por los circuitos comunes a la fuente y a la víctima: alimentación, masas de los circuitos de protección auxiliares... Este modo recibe también el nombre de «acoplamiento galvánico».



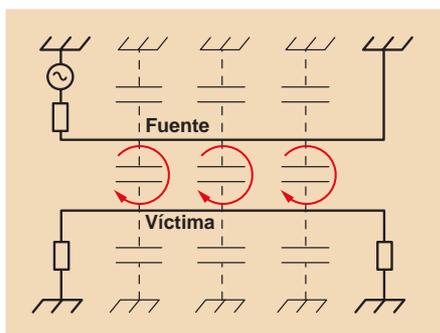
2 Acoplamiento inductivo

Las perturbaciones se transmiten por la creación de un campo magnético y la inducción de una f.e.m. en el conductor víctima.



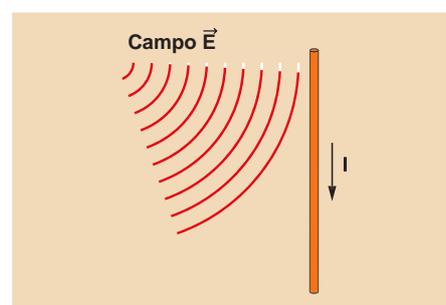
3 Acoplamiento capacitivo

Las perturbaciones se transmiten por efecto capacitivo entre las líneas que discurren próximas entre sí. Se llama diafonía a los efectos asociados de los acoplamientos inductivos y capacitivos.



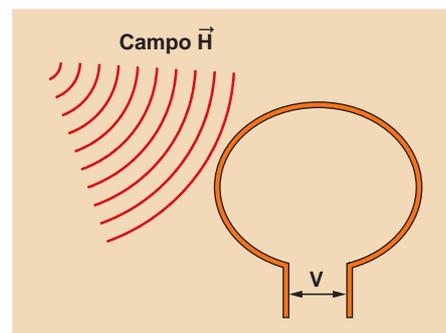
4 Acoplamiento entre campo eléctrico y cable

Las variaciones de campo electromagnético (componente eléctrica \vec{E}) inducen corrientes en los conductores, que se comportan como antenas.



5 Acoplamiento entre campo magnético y bucle

Las variaciones del campo magnético \vec{H} , inducen tensiones (f.e.m.) en los bucles conductores.



Como en todos los terrenos, la mejor protección contra los problemas de la CEM pasa por la prevención. Para cada uno de los modos de acoplamiento y riesgos de transmisión de perturbaciones que se indican existen precauciones elementales. Estas se describen en los capítulos I.C.2 «Medios de protección» e I.C.6 «Construcción de los equipos». El hecho de tener en cuenta la CEM implica nuevas exigencias de instalación que van más allá de las reglas del oficio habituales.

6 FENOMENOS DE DEGRADACIÓN Y ENVEJECIMIENTO

Las condiciones de exposición a las tensiones del entorno son muy variables en función de los lugares de instalación.

De hecho, los factores potenciales de degradación pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- factores climatológicos asociados a la temperatura, a la insolación, al viento, a las precipitaciones y a la humedad.

- factores específicos de la utilización y del lugar de instalación, cuya acción está ligada a la naturaleza y a la presencia de agentes corrosivos y contaminantes, a la presencia de agua o de polvo (caracterizada por el código IP), incluso a la acción de la fauna, de la flora o del enmohecimiento en ciertos casos.

El material instalado debe poder soportar sin daños, y con una esperanza de vida suficiente, las sollicitaciones del lugar en que se encuentra instalado.

La protección puede garantizarse:

- directamente por el propio material, que deberá en tal caso poseer las características apropiadas (IP, IK, resistencia a la corrosión...)

- mediante una protección complementaria aportada por una cubierta (caja, armario) apropiada

- mediante instalación en un emplazamiento en el que las sollicitaciones sean reducidas: al abrigo, locales eléctricos, canalizaciones técnicas...



Existen varias clasificaciones normalizadas de las condiciones de entorno. La norma Francesa NFC 15-100v propone una codificación para una cierta cantidad de factores.

- **Temperatura ambiente: código AA (por ejemplo AA2, temperatura muy fría -40°C + 5°C.)**
- **Temperatura y humedad combinadas: código AB**
- **Altitud: código AC**
- **Presencia de agua: código AD (por ejemplo AD 5 = IP x 5)**
- **Presencia de cuerpos sólidos: código AE**
- **Exigencias mecánicas: código AG (golpes), código AH (vibraciones)**
- **Presencia de fluor y de "hongos": código AK**
- **Presencia de fauna: código AL**
- **Influencias electromagnéticas, electroestáticas e ionizantes: código AM**
- **Radiación solar: código AN**
- **Efectos sísmicos: código AP**
- **"Rayos": código AQ**

Sobre la base de esta clasificación, la guía Española UTE C 15-103 señala las características requeridas de los materiales y de las canalizaciones según local y emplazamiento.

Los niveles de "performance" y los ensayos relacionados con presencia de agua, de cuerpos sólidos y de riesgos de golpe están bien definidos y corresponden a una clasificación de los materiales: código IP, código IK. En cambio, los criterios relacionados con los factores climáticos o específicos (corrosión, radiación...) no requieren clasificación de los materiales.

De forma más exhaustiva, la norma Francesa NF C 20-000 (proveniente de la CEI 60721), propone, a la vez, una clasificación de los agentes del entorno individuales y específicos (temperatura, humedad) y, también olas, salpicaduras, arena, barro o gas corrosivo, con valores y niveles tipo. Y una clasificación de las agrupaciones de los agentes de entorno y de su agresividad/severidad, permitiendo así caracterizar los lugares de uso o instalación: almacenamiento, transporte, puesto fijo protegido, puesto fijo exterior, vehículos, naves....

La norma Francesa NFC 15-100 propone "desormais" (capítulo 512) conexiones con las clases de la norma NFC 20-003-3 y 20-000-4 para los usos de puesto fijo protegidos y no protegidos contra interperie.

1 Instalaciones exteriores

Para escoger los materiales y las envolventes, habrá que considerar ante todo las condiciones climáticas del lugar (véase el mapa adjunto). A las características del clima tipo, habrá que superponer los factores específicos ligados a las propias condiciones de utilización o de instalación que pueden variar para un mismo clima. A pesar de su diversidad y complejidad, dichos factores pueden clasificarse en cinco grandes categorías o «atmósferas».

- **Atmósfera rural**, que corresponde a las condiciones de exposición en el

campo, sin agentes corrosivos en cantidad apreciable salvo la humedad ambiente.

- **Atmósfera urbana**, que designa las condiciones de exposición en ciudad, con alternancia de humedad y de sequedad, presencia de hollines, polvos, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, metales pesados, dióxido de azufre, producidos por la circulación de los automóviles. Los efectos de la corrosión aumentan considerablemente.

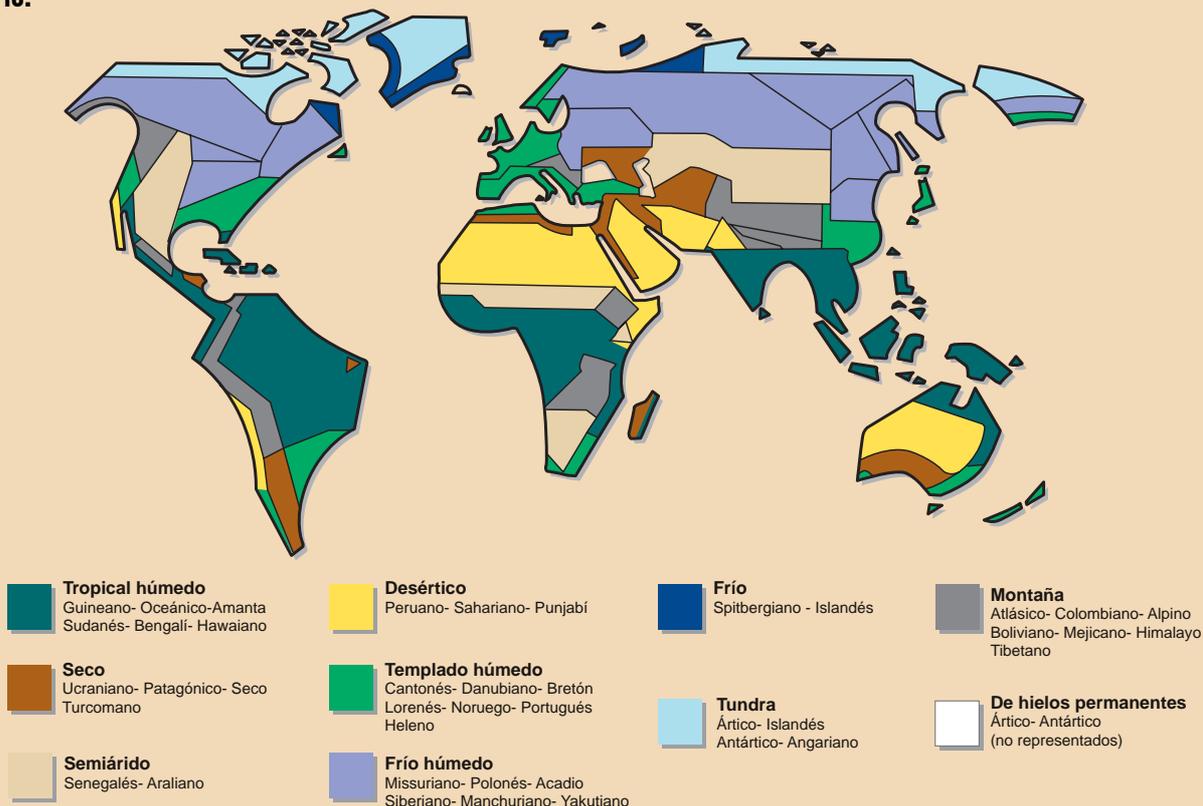
- **Atmósfera industrial**, cuyas condiciones agresivas se deben fundamentalmente al contenido de compuestos de azufre (H₂S, SO₂) y halogenados (HCl).

- **Atmósfera marina**, caracterizada por un ataque corrosivo muy intenso como consecuencia de la sal (cloruros) y del alto nivel de humedad. Si dichas condiciones existen evidentemente al borde del mar (muelles, malecones...), y con mayor motivo en pleno mar (barcos, plataformas...), no deben depreciarse en la franja costera, que puede alcanzar hasta varios kilómetros bajo el efecto de vientos dominantes.



Existen varias clasificaciones de climas. La del geógrafo francés Emmanuel de Martonne (1873-1955) califica cada clima por el nombre de la región correspondiente y bajo el que se agrupan los datos meteorológicos de temperatura, insolación, precipitaciones y humedad relativa.

Los climas locales pueden agruparse en grandes tipos, cuyo número de características son generalmente suficientes: tropical húmedo, seco, semiárido, desértico, templado húmedo, frío húmedo, frío, extremadamente frío.



- Atmósfera tropical, cuyas condiciones reales pueden de hecho ser muy variables, pero en donde predominan una temperatura y humedad elevadas que no son suficientes por sí solas para aumentar notablemente la corrosión. Sin embargo, deben considerarse otros factores: mohos, microorganismos, líquenes, insectos, pólenes... para adaptar lo mejor posible las prescripciones de tratamiento. Al ser su conocimiento frecuentemente aleatorio, las condiciones se consideran empíricamente como muy rigurosas y los materiales se escogen en consecuencia (tratamiento de tropicalización). Para todos los tipos de exposición, la elección del índice IP del producto podrá efectuarse separando los usos al abrigo de precipitaciones directas en forma de lluvia y/o del sol (tejadillo, alero, hangar abierto), de los directamente expuestos a la intemperie.



2 Instalaciones interiores

Las condiciones interiores pueden clasificarse en numerosos niveles basándose en criterios de calefacción (sin hielo, regulado, climatizado...), de humedad, de ventilación (subterráneo cerrado, ventilado), de efectos de absorción o de invernadero...

En la práctica, podemos considerar tres tipos principales.

- Interior seco, que caracteriza a los locales con calefacción en invierno y sin condensación ni humedad. Se incluyen generalmente en este tipo los locales residenciales, los del sector terciario y los talleres de montaje.
- Interior húmedo, aplicable a los locales o emplazamientos sometidos a humedad y a condensaciones repetidas (interiores de hangares, almacenes cerrados sin calefacción, almacenes con muelles abiertos, sótanos...). El volumen interior de espacios cerrados (armarios, contenedores, cabinas) situados en el exterior se incluye en este nivel.



- Interior agresivo, cuyas condiciones se caracterizan por la presencia de contaminantes o agentes corrosivos, ocasionalmente combinados con humedad o proyecciones importantes de agua (agroalimentario, tratamientos químicos, locales de ganado...).



Simulación de la exposición en atmósfera industrial en un calefactor de SO₂ (dióxido de azufre)

3 Radiación solar

Los fenómenos de envejecimiento provocados por la radiación solar son extremadamente complejos y difíciles de recrear en un laboratorio. A esto se añaden otros factores tales como la temperatura, la humedad o los agentes químicos, cuyos efectos actúan en sinergia con el sol.

Las degradaciones observadas van desde el cambio de color o de brillo hasta la alteración de las características físicas de los materiales.



Entre los diferentes documentos normativos internacionales que tratan de la radiación solar y de los ensayos aplicables, podemos citar los siguientes:

CEI 60068-2-5: radiación solar artificial al nivel del suelo

CEI 60068-2-9: guía para el ensayo de radiación solar



En la práctica, los materiales que constituyen los productos se escogen para que puedan resistir la radiación solar de los emplazamientos para los que están previstos.

Sin embargo, puede ser necesario efectuar comprobaciones en determinados casos extremos:

- instalaciones de montaje por encima de 2.000 m
- condiciones de insolación elevadas (> 2.400 h/año)
- instalaciones próximas a fuentes de iluminación ricas en rayos UV (fluorescencia, luminiscencia).



La radiación solar se caracteriza por su nivel de energía (expresado en W/m^2) y por el espectro de su emisión (longitudes de onda λ).

La energía irradiada varía según las regiones (latitud), la turbidez del aire (sobre las ciudades) y, evidentemente, en función de la presencia de nubes.

Se caracteriza por su valor instantáneo en W/m^2 o ponderado a lo largo de la exposición, que puede ser diaria, mensual o anual.

Dejando de lado los climas tropicales o desérticos, los valores tipo máximos, a mediodía, sin nubes, son de 1.050 W en las grandes ciudades, de 1.120 W en la llanura y de 1.180 W en la montaña.

El valor de la exposición energética diaria a 45° de latitud Norte es de $7,45 Wh/m^2$.

La radiación electromagnética del sol cubre, al nivel de la superficie terrestre, un espectro bastante amplio en una banda de longitudes de onda comprendida entre 0,3 mm a $4\mu m$, con un máximo en la banda visible entre $0,4\mu m$ y $0,8\mu m$.

La radiación puede afectar a los materiales fundamentalmente por calentamiento (efecto de rayos infrarrojos, $\lambda > 0,8\mu m$) o por fotodegradación (efecto de rayos ultravioleta $\lambda < 0,4\mu m$). Esto último se traduce en decoloraciones, blanqueo de superficies, así como resquebrajaduras o disgregaciones.

7 LA CORROSIÓN

Si la elección de los envolventes y de los materiales es esencial, su puesta en marcha es igualmente importante en cuanto a la fiabilidad y a la durabilidad de las instalaciones. Un conocimiento mínimo de los fenómenos de corrosión y sus causas puede evitar la preocupación y algunos sinsabores.

1 Fenómenos de corrosión

Corrosión se le llama a los fenómenos de degradación progresiva que afectan más o menos lentamente a todos los metales excepto los metales preciosos como el oro o el platino.

Los fenómenos de corrosión son muy distintos y complejos para algunos (gas, alta temperatura, metales en fusión...). En la atmósfera ambiente, la corrosión es causada esencialmente por soluciones acuosas más o menos concentradas.

Sin embargo, distinguiremos dos fenómenos:

- la corrosión química (o electro química) que es el ataque de un metal a raíz de desplazamientos de cargas eléctricas (electrones) a su superficie
- la corrosión electrolítica (o galvánica) que designa el fenómeno de circulación de una corriente eléctrica entre dos metales de naturalezas diferentes en que uno es atacado en beneficio del otro.

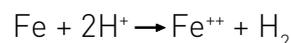
El primer fenómeno es más bien de carácter microscópico pero el segundo es de naturaleza macroscópica. En estos dos tipos de corrosión, la presencia de una solución (generalmente acuosa) iniciará el fenómeno de corrosión.

2 Corrosión química

Se sabe ahora que la superficie de un metal se distribuye a escala microscópica en zonas anódicas y en zonas catódicas. Esta heterogeneidad tiene múltiples causas: metalúrgicas (carburos precipitados, tratamientos térmicos...) físicas (martillos locales, moldeados, usos en fábrica ...) o químicas (incrustación de otros metales, de polvos).

La inmersión en un medio no homogéneo (pedazo de hierro inmerso hasta la mitad) tiene las mismas consecuencias.

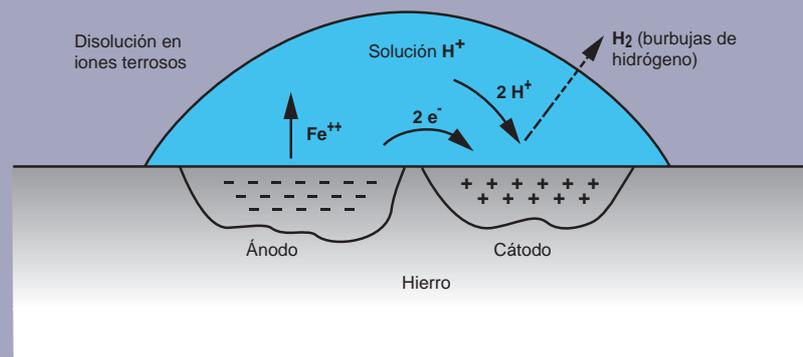
En presencia de una solución ácida nacerán reacciones de oxi reducción (tipo micropilas) en la superficie del metal, lo que puede describirse:



La solución ácida puede venir de la disolución de un gas: el dióxido de azufre SO_2 da ácido sulfúrico H_2SO_4 con la humedad del aire.

La producción eléctrica de esta reacción y el sentido de la corriente dependen del potencial entre el metal y la solución (convencionalmente tomada a 0 V por el hidrógeno H^+). El potencial electroquímico de cada metal (véase cuadro página 600) permite caracterizar su resistencia a la corrosión. Se utiliza también el término de "potencial Rédox".

Ejemplo del ataque del hierro por una solución ácida



La primera reacción anódica de disolución del metal se produce liberando dos electrones. El hierro disuelto pasa a solución en forma de iones ferrosos Fe^{++} .

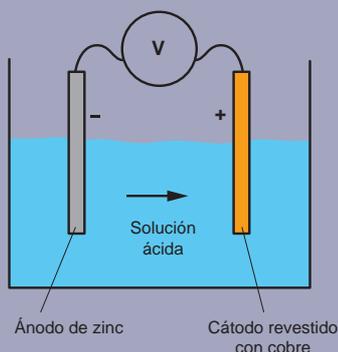
La segunda reacción tiene lugar sobre el cátodo donde los electrones liberados se combinan con los iones H^+ de la solución ácida. Estos últimos son reducidos y liberados en forma de hidrógeno gaseoso H_2 .

Generalmente, es el oxígeno del aire que, en presencia del agua (humedad) reaccionará aportando dos electrones suplementarios bajo la forma $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$ que terminará formando herrumbre Fe_2O_3 .

3 La corrosión electrolítica

Este tipo de corrosión se vinculó directamente con el principio de la pila eléctrica de Volta. Al contrario de la corrosión química, los electrodos ánodo y cátodo, son diferentes y la solución acuosa entre ellos no genera inevitablemente una reacción química, sólo sirve de electrolito que permite el transporte de los iones del ánodo (-) hacia el cátodo (+). La diferencia de potencial será más elevada mientras más estén alejados los dos metales presentes en la escala de los potenciales electroquímicos. Fuera del laboratorio, este fenómeno se producirá en cuanto dos metales de diferente naturaleza sean conectados con un electrolito conductor: ácido, base, agua no pura y agua de mar en especial.

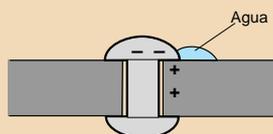
Ejemplo de corrosión electrolítica entre el zinc y el cobre



Cargas positivas, iones de zinc, se sueltan del ánodo de zinc y van a depositarse sobre el cátodo de cobre. El zinc es destruido en beneficio del cobre.

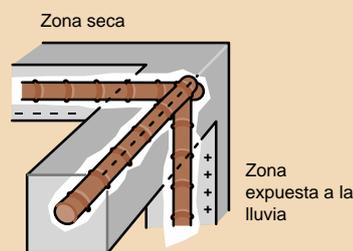
La corrosión electrolítica tiene pocos límites en término de dimensiones geométricas, algunos ejemplos:

Montajes



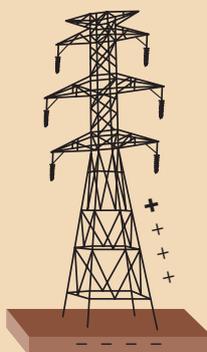
El remache en aluminio electronegativo con relación al hierro se corroe hasta la ruptura. El mismo fenómeno afectará a un perno en acero galvanizado en contacto con acero inoxidable. Tratamientos más convenientes: tornillería inox o latón niquelado para el contacto con el inox.

Hormigón armado



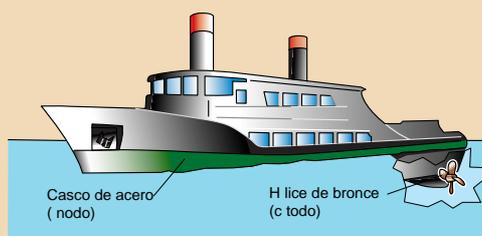
Zona seca: el refuerzo se comporta como un ánodo. Zona expuesta a la lluvia: el hormigón sigue húmedo, el refuerzo se comporta como un cátodo. La circulación de una corriente galvánica llevará a cabo la corrosión del refuerzo.

Postes o pilones



El potencial diferente entre la tierra y el pilón implica la circulación de una corriente. La corrosión de las partes enterradas puede aumentar. Se ponen algunos sistemas complejos de protección "para desplazar" la corrosión sobre ánodos sacrificables (capa de zinc) o para impedir los cloruros alcanzar el acero (membranas hidrófugas).

Navíos



El agua de mar constituye un electrolito disponible y permanente. La corrosión del casco del navío corre el riesgo de aumentar por la presencia de la hélice de bronce. Aquí otra vez, la disposición "de ánodos sacrificables" sobre el casco del barco permitirá "desplazar" el fenómeno de corrosión.

La presencia de un barrote de magnesio en los calentadores de agua tiene el mismo objetivo para proteger la cuba. Atención, cuando el ánodo desaparece completamente, no hay más protección.

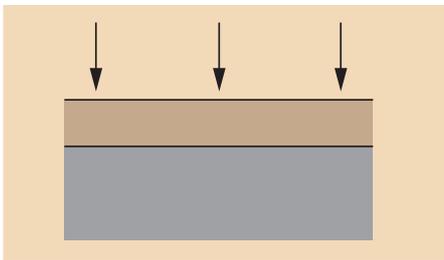


El cuadro de la página 137 muestra el ámbito de compatibilidad electrolítico entre los metales. El valor de la tensión galvánica admitida (generalmente 300 mV, 400 mV en condiciones secas controladas) permite conocer las posibles asociaciones de metales.

Atención, éstas siguen siendo orientadoras: el pH del medio (ácido o básico) y los fenómenos de pasividad pueden modificar los valores del potencial.

La protección de un metal contra la corrosión puede comúnmente hacerse según tres métodos.

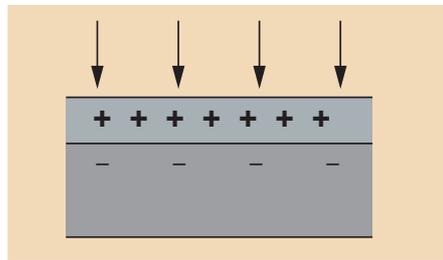
- Poner una película estanca (pintura, barniz...) impidiendo el contacto del metal con la atmósfera ambiente.



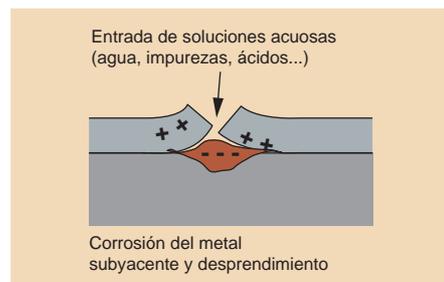
El mismo principio puede, si el recubrimiento es aislante, impedir la circulación de una corriente electrolítica entre dos metales diferentes.

La ilustración es un "truco" de fontanero donde las vueltas de cinta que aíslan alrededor del tubo de cobre van a limitar la corrosión del collar Atlas en acero.

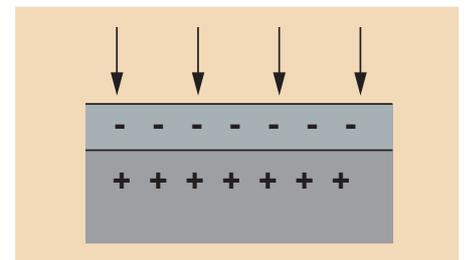
- El depósito de un tratamiento metálico de potencial electroquímico más elevado que el del metal de base (el término de protección anódico a veces se utiliza pero lleva a confusión); por ejemplo: estaño sobre zinc, níquel sobre hierro, plata sobre cobre.



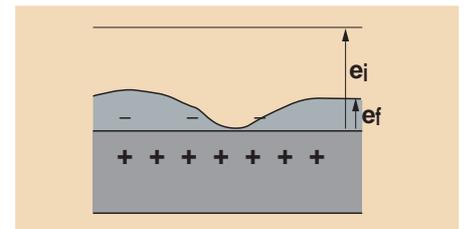
Este tipo de protección sólo es aceptable si el tratamiento es perfectamente estanco. En caso contrario, habrá corrosión por picaduras del metal subyacente y desprendimiento total del tratamiento.



- El depósito de un tratamiento metálico de potencial inferior al del metal básico (se habla también de protección catódica) por ejemplo: zinc sobre hierro, estaño sobre cobre.



El metal depositado va a ser atacado en beneficio del metal que debe protegerse. Se habla entonces de ánodo sacrificable. La protección será proporcional a la cantidad (grosor inicial e_i) de metal depositado. Se detendrá cuando se haya consumido todo el tratamiento (ver duración previsible de los tratamientos página 103).

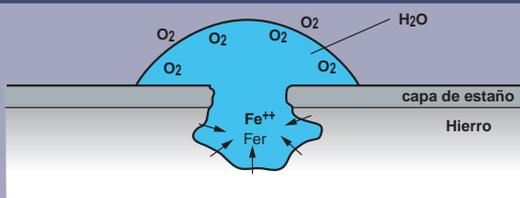


Algunas zonas de metal descubiertas estarán aún protegidas por efecto de proximidad aunque la capa de grosor final e_f no es ya completamente continua. La galvanización ilustra este tipo de protección.

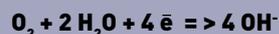


Recubrimiento catódico en final de vida. La capa de zinc (galvanización) se consume completamente en algunas partes, dejando desnudo el metal de base.

Ejemplo del ataque por picadura al hierro galvanizado



Si una grieta o una discontinuidad aparece en la capa de estaño, el hierro subyacente puede ser oxidado por O_2 (disuelto en el agua). El ánodo representado por el hierro teniendo una pequeña superficie con relación al cátodo (estaño), el ataque local será fuerte y profundo para poder proporcionar los electrones necesarios para la reacción:



que logrará la formación de herrumbre $4 Fe(OH)_3$

El hierro galvanizado u hojalata se utiliza cuando no hay riesgo de destrucción local: interior de las latas de conservas.



Ánodo, cátodo y sentido de la corriente

El ánodo se define convencionalmente como el electrodo positivo de un aparato. El que recibe el polo + de la alimentación pero:

- en una pila, el ánodo es el electrodo negativo, que cede electrones, éstos se desplazan entonces del polo - hacia el polo +
- en una reacción de electrólisis, se impone la corriente y el ánodo es el electrodo positivo y los electrones se desplazan entonces del polo + hacia el polo -; hay disolución del ánodo
- en un tubo electrónico (o catódico), el electrodo llevado al potencial elevado de una fuente emite electrones, entonces se convierte en ánodo.

La mejor definición es dada por la etimología donde el ánodo (del griego ana: arriba) designa el potencial alto con relación al potencial bajo (kata) del cátodo.



Cuando la masa de un aparato, de un equipo, de un vehículo o de un navío se utiliza como polo eléctrico; es esencial conectar ésta al polo - de la alimentación. Entonces la masa representará el cátodo (potencial bajo) que recibe las cargas eléctricas. En el caso inverso, polo + a la masa, por lo tanto ánodo, los elementos de la masa podrían ser corroídos por electrólisis.



Las normas internacionales que tratan los tratamientos de superficie y de la corrosión son muy numerosas, se pueden citar entre otras normas genéricas:

NFA 91-010 "Terminología"

NFA 05-655 "Definición de los niveles de competencia de los agentes"

NFA 05-691 "Protección catódica: "certificación de los agentes"

ISO 2177 y 4518 " Medición del grosor de los revestimientos "

4 La pasividad

El fenómeno de pasividad designa un estado donde no se ataca el metal sumergido en un medio suficientemente oxidante. Entonces se cubre de una fina capa, invisible, que frena la penetración del agua y del oxígeno. Por ejemplo, el hierro se vuelve pasivo en el ácido nítrico muy concentrado, ya no es atacado.

Algunos metales pueden apaciguarse, y por lo tanto protegerse en las condiciones ambiente: el cobre, el estaño, el plomo, el zinc, pero estas condiciones son más o menos precarias, y este estado puede no ser suficientemente estable para consi-

derarlo como una protección duradera. La pasividad, a menudo asimilable a la "pátina del tiempo" es de muy lenta obtención en los procesos industriales; se obtiene entonces un estado pasivo por un tratamiento de conversión químico:

- cromatación del zinc.
- fosfatación y cromatación del acero.
- anodización del aluminio.

El tratamiento permitirá según los casos, un mejor enganche de los revestimientos posteriores o una protección temporal o incluso definitiva.



La pasividad del acero inoxidable

El carácter de inoxidable del acero es por la incorporación de cromo a más de 12%. Este elemento de aleación tiene la propiedad de formar en la superficie del metal un compuesto oxidado de pasividad. Es esta fina capa que determina la resistencia a la corrosión. Su estabilidad dependerá de varios factores: composición del acero, estado de la superficie, naturaleza del medio...

La capa pasiva se reconstituye espontáneamente con el aire ambiente después de un daño accidental. Pero estas condiciones pueden comprometerse en presencia de iones halógenos (cloro, bromo, flúor, yodo) que pueden entonces generar una corrosión por picaduras.

La contribución del molibdeno (316 L) atenúa en gran parte este riesgo, pero muestra la importancia de permitir la reconstitución de la capa pasiva o de provocarla (véase página 161)



La doble vida del zinc

Sin duda, el elemento de protección anti corrosión más utilizado, el zinc, tiene un comportamiento que oscila, según las condiciones de medio ambiente, entre un rol de sacrificio y un rol de autoprotección. El primer rol es bien conocido, el zinc se disuelve efectivamente y se consume especialmente en presencia de soluciones ácidas en las atmósferas urbanas e industriales. El segundo rol es menos conocido, ya que es más complejo y está vinculado al fenómeno de pasividad.

Al retener sólo las reacciones que consiguen formas estables y protectoras de los óxidos formados, dos elementos esenciales deben ser considerados: la concentración en vapor de agua y la concentración en gas carbónico.

En presencia de vapor de agua ($H_r > 50\%$), hay aumento de la concentración en iones OH^- que por combinación con la forma oxidada Zn_2 , da una forma hidratada de óxido de cinc $Zn(OH)_2$ muy insoluble. Este hidróxido frena la penetración del agua y del oxígeno e inhibe la corrosión.

El gas carbónico (CO_2) contenido en el aire (0,3% a lo menos) va, por su parte, a implicar la precipitación de formas carbonatadas del zinc, también muy insolubles. Todo indica que mientras más la capa pasiva contenga carbonatos, más protectora es su acción de ahí la importancia de la concentración en CO_2 y de su renovación. La mejor durabilidad de los revestimientos de zinc se obtiene cuando éstos están en estado pasivo. Una condición que requiere una buena ventilación (renovación del CO_2) y favorecer el chorreo que elimina las especies solubles y los depósitos pulverulentos.

¡El zinc prefiere el aire! ...

Cuando el estado de pasividad natural sea difícil de obtener (atmósferas ácidas o confinadas), también aquí se utilizarán ventajosamente los tratamientos de conversión como la cromatación (color blanco claro), la bi cromatación (color verde/amarillo) o la cromatación gruesa (verde/negro) que retrasará claramente la corrosión. Tener en cuenta también que los cromados que tengan un potencial electroquímico (+ 0,3 V) más elevado que el del zinc (0,76 V) claramente serán menos atacados.

8 DEMANDAS POR EXPOSICIÓN: POLVO, AGUA Y HUMEDAD

El material o las cubiertas destinadas a la protección deben escogerse para liberarse de los efectos perjudiciales que produciría la penetración de cuerpos sólidos (polvo, arena) o agua, no solo en forma gaseosa: humedad.



1 Polvo

Numerosas actividades humanas (circulación, industria, agricultura, obras públicas...), así como la propia naturaleza (tierra, arena, pólenes...), generan polvo conductor, o que puede serlo al combinarse con la humedad. Al cabo de cierto tiempo, penetraciones importantes en el material eléctrico pueden provocar mal funcionamiento, fallas de aislamiento e incluso cortocircuitos.



El código IP (índice de protección) define el nivel de protección aportado.

La norma internacional CEI 60529 EN-60529 prescribe los ensayos a efectuar para su comprobación

1ª cifra : protección contra los cuerpos sólidos			2ª cifra : protección contra los cuerpos líquidos		
IP	Tests		IP	Tests	
0		Sin protección	0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 50 mm	1		protegido contra caída vertical de gotas de agua (condensación)
2		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 12,5 mm	2		Protegido contra caída de gotas de agua hasta 15° respecto a la vertical
3		Protegido contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm (herramientas, tornillos)	3		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° respecto a la vertical
4		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 1mm (herramientas finas, cables pequeños)	4		Protegido contra proyecciones de agua procedentes de cualquier dirección
5		Protegido contra el polvo (sin depósitos perjudiciales)	5		Protegido contra chorros de agua de manguera procedentes de cualquier dirección
6		Totalmente protegido contra el polvo	6		Totalmente protegido contra proyecciones de agua asimilables a golpes de mar
			7		Protegido contra efectos de inmersión
			8		Protegido contra efectos de inmersión prolongada en condiciones específicas

El nivel de accesibilidad a las partes peligrosas, definido igualmente por la 1ª cifra o por una letra adicional, no se incluye en esta tabla. Véase el capítulo III.G.1



En los ambientes muy contaminados (o polvorientos), se puede combatir la entrada de partículas a los armarios, manteniéndolo al interior una presión levemente superior a la presión ambiente. ver precisiones en la página 163: disposiciones, niveles de presión, de débito... etc

Estos defectos, a menudo solapados e insidiosos, aparecen con el tiempo. Los períodos de funcionamiento y de parada, al crear presiones en las cubiertas, favorecen la penetración del polvo. Los sistemas de ventilación transportan enormes cantidades de polvo. Los filtros no pueden impedir completamente su paso y deben limpiarse regularmente.



En el marco del mantenimiento preventivo, los locales de servicio eléctrico, los tableros y las canalizaciones deben ser objeto de una limpieza regular por aspiración. La periodicidad depende de las condiciones locales, aunque en cualquier caso no debería ser superior a doce meses.



Ensayo de penetración de sólidos: en este caso, ensayo al polvo de talco



Los intercambiadores de calor Legrand (modelos de 25 W/°C a 81,5 W/°C) permiten un enfriamiento muy eficaz en los ambientes más polvorientos.



Reglas generales para la elección de la 1ª cifra según los emplazamientos.

IP 2x: emplazamientos o locales de uso doméstico y terciario, donde no exista ninguna cantidad apreciable de polvo y no se manipulen objetos pequeños. Numerosos locales técnicos de servicio y de control se encuentran en este caso.

IP 3X: emplazamientos o locales de uso industrial y similares (garajes), en donde se manipulan objetos pequeños (tornillería, herramientas...) - salas de máquinas, talleres de montaje, de fabricación, de mecánica - emplazamientos exteriores: camping, obras, calles, patios, jardines, establecimientos feriales, piscinas...

IP 4X: condiciones idénticas a las de severidad 3, pero con presencia de cuerpos extraños más pequeños (hilos, paja...) (locales agrícolas ganaderos, talleres de precisión...).

IP 5X y 6X: emplazamientos o locales en los que existen cantidades importantes (5), o muy importantes (6), de polvo (almacenes de forraje, graneros, granjas, silos, talleres textiles, madereras, canteras, cementeras, abonos, material plástico, azucareras...).

2 Agua

Al igual que el polvo, el agua no debe penetrar en el material eléctrico: corrosión degradación de los contactos, disminución del aislamiento... toda una serie de efectos nefastos de los que es preciso prevenir para garantizar la duración de los equipos.

Evidentemente, hay que escoger materiales y cubiertas cuyo índice de protección sea adecuado para el lugar de instalación, a fin de evitar la penetración directa del agua en forma líquida.



Ensayo de protección contra proyecciones de agua IP x 6



Los ensayos de estanqueidad prescritos por la norma internacional EN 60529 están adaptados a los casos de las instalaciones más normales en climas templados. Determinadas aplicaciones pueden presentar exigencias diferentes o más severas, que es importante determinar claramente a fin de garantizar las prestaciones de los productos escogidos: subida de la marea o diluvio en las instalaciones off-shore, lavado a alta presión (Karcher TM) formación de hielo o, lo que es lo mismo, funcionamiento bajo hielo, cargas de nieve...



Reglas generales para la elección de la 2ª cifra del IP según los emplazamientos.

- IP x1: emplazamientos o locales en los que la humedad se condensa ocasionalmente en forma de gotas de agua. El índice de humedad (vapor de agua) puede ser elevado durante largos períodos (cavas, despensas, cuartos de lavado, baños, cuartos de secado, sótanos, terrazas acristaladas, laboratorios, cuartos de calderas, talleres, garages, lavados individuales, almacenes de combustible, algunos almacenes...).
- IP x2: este grado de rigor no es específico de emplazamientos o locales tipo. Sin embargo, se podrá aplicar cuando exista el riesgo de que las gotas de agua no caigan verticalmente como consecuencia del viento (terrazas cubiertas, por ejemplo), o el producto no esté instalado en las condiciones de posición para las que está previsto (falsa verticalidad, suelo en pendiente...).
- IP x3: emplazamientos o locales en los que el agua chorrea por la pared y el suelo (lavaderos, huecos sanitarios, cámaras frigoríficas, sobrealimentadores, estaciones de vapor o de agua caliente, locales de recarga de baterías, lavados colectivos, almacenes de alcoholes, bodegas, cavas de destilación, invernaderos, establecimientos feriales, diversos almacenes, fabricación de abonos, detergentes, colas, pinturas, espirituosos, barnices ...).
- IP x4: emplazamientos o locales en los que los materiales están sometidos a proyecciones de agua (carnicerías, lecherías, fabricación de pasta de papel, refinerías ...). Este grado de rigor y los superiores son aplicables a los emplazamientos exteriores no cubiertos (calles, patios, jardines, terrazas ...).
- IP x5: emplazamientos o locales normalmente lavados con chorros de agua (cuartos de basuras, patios, jardines, aledaños de piscinas, cría de aves de corral, establos, salas de ordeño, caballerizas, canteras, cadenas de embotellado, lecherías, lavanderías, lavaderos públicos, queserías, mataderos, tintorerías, azucareras, pescaderías, obras, muelles de descarga ...):
- IP x6: emplazamientos a locales sometidos a alas o golpes de mar (malecones, playas, muelles, pontones, áreas de lavado ...).

3 Humedad

Si los modos de transporte del agua (caída de gotas, lluvia, chorros ...) son fáciles de identificar y los medios para protegerse están bien codificados, no ocurre lo mismo con la humedad del aire, cuya condensación puede provocar daños imprevisibles. Al cabo de cierto tiempo pueden acumularse cantidades insospechadas de agua condensada, con las consecuencias que es fácil de deducir. Esto es así especialmente en el caso de

materiales sometidos a variaciones cíclicas de temperatura. En el exterior, tenemos las variaciones estacionales, el enfriamiento nocturno, una tormenta con tiempo cálido, la sombra tras la instalación ... En el interior, están los ciclos de puesta en marcha y de parada, el lavado con agua fría, el corte de la calefacción en períodos no laborables, las diferencias de temperatura, importantes en ciertos locales (papelería, agroalimentario ...).

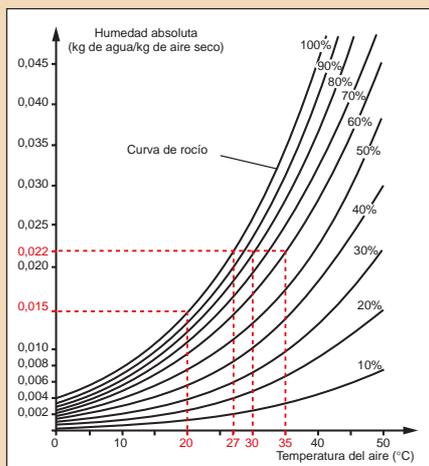


Ensayo en recinto climático que permite recrear las condiciones de humedad y de condensación



Entre sus numerosos componentes (nitrógeno, gas carbónico, oxígeno ...), el aire contiene también agua en forma de gas: es el vapor de agua, que no hay que confundir con el agua en suspensión, como la niebla o el vaho.

Se llama **humedad absoluta Q** a la masa de agua en forma de gas (vapor) contenida en una determinada cantidad de aire. Q se expresa en kg de agua por kg de aire seco. Una masa de aire determinada solo puede contener, a una cierta temperatura, una cantidad máxima de agua llamada **humedad absoluta máxima Q_M**. Por encima de esta cantidad, el aire se satura y el vapor pasa al estado líquido, es lo que llamamos **condensación**. Este punto de saturación recibe el nombre de **punto de rocío de la hierba**.



Cuanto más caliente está el aire, más agua en forma de vapor puede contener. Se puede definir así una curva llamada **curva de rocío** que caracteriza la cantidad de agua en forma de vapor que puede contener el aire en función de la temperatura.

En la práctica, se utiliza frecuentemente el término de **humedad relativa HR** (o grado higrométrico), que expresa la relación (en %) entre la cantidad Q de vapor de agua presente en el aire a una determinada temperatura (humedad absoluta) y la cantidad máxima Q_M que puede contener el aire a dicha temperatura.

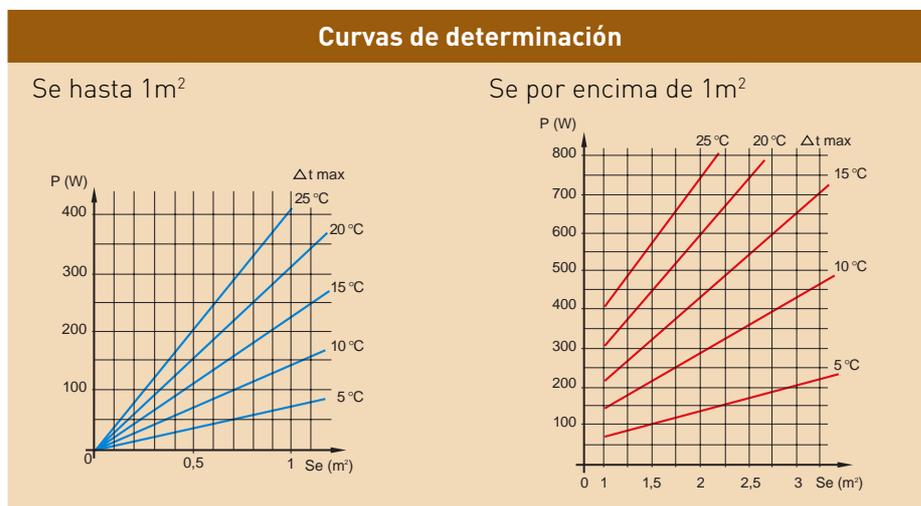
$$HR (\%) = Q / Q_M \times 100$$

Conociendo Q_M (curva de rocío), es posible calcular la humedad relativa para diferentes temperaturas y definir así una red de curvas, llamada **diagrama de Mollier**.

Se puede constatar en dicha red que, para determinada humedad absoluta, la humedad relativa es inversamente proporcional a la temperatura.

Observando el ejemplo de la curva: 1 kg de aire (es decir, 1 m³ aproximadamente) a 30°C y 80% HR contiene 0,022 kg de vapor de agua. Si este aire se calienta a 35°C, la cantidad de agua no varía, pero la humedad relativa es sólo del 60%. Si este mismo volumen de aire se enfría a 27°C, la humedad relativa es del 100%, habiéndose alcanzado entonces el punto de rocío. La diferencia de temperatura (3°C en el ejemplo) es lo que se denomina "diferencia psicrométrica". Si este mismo aire se enfría ahora a 20°C, la humedad absoluta máxima será de 0,015 kg. Por lo tanto, habrá condensación de una masa de agua igual a 0,022 - 0,015 = 0,007 kg, que habrá pasado a forma líquida.

Las curvas adjuntas permiten determinar la potencia de calentamiento a instalar en función de Δt y de la superficie de disipación equivalente, (ver el cálculo de Se en la página 449) Las resistencias ref. 348 00/01/02 están autorreguladas (PTC). Pueden utilizarse con un termostato de ambiente (ref. 348 47), un interruptor crepuscular, o un interruptor de parada.



La oferta de resistencias de calentamiento Legrand permite una verdadera gestión térmica de las cubiertas. Potencias de 20, 60, 120 y 350 W permiten responder a todos los casos de la figura



Para evitar la condensación, es preciso mantener la humedad relativa en un valor inferior al 100%. Por lo tanto, la temperatura no debe descender por debajo del punto de rocío. En cada aplicación, habrá que conocer con precisión los diferentes parámetros que pueden influir, así como el aporte de calor procedente de los aparatos.

Estación	Invierno	Primavera Otoño	Verano
Temperatura de condensación (punto de rocío) HR : 100 %	+ 4 °C	+ 18 °C	+ 28 °C
Temperatura mínima nocturna	- 5 °C	0 °C	+ 20 °C
Δt	+ 9 °C	+ 18 °C	+ 8 °C

El valor (Δt) indica la diferencia entre la temperatura mínima nocturna y la temperatura del punto de rocío. Se trata por lo tanto del calentamiento mínimo que es necesario mantener para evitar la condensación.



Regla de cálculo aproximado para determinar la potencia de calentamiento. Locales cerrados sin calefacción: Prever 0,4 W/dm³ de volumen de la cubierta. Instalaciones exteriores: Prever 1 W/dm³ de volumen de la cubierta.

9 DEMANDAS MECANICAS

Aparte de las exigencias normales de funcionamiento mecánico que deben soportar los materiales (apertura de puertas, desencuadre, cerrado...), es importante comprobar que en su elección e instalación se han tenido en cuenta las solicitaciones mecánicas derivadas del entorno y éstas, a menudo indirectas, no siempre son fáciles de determinar.

1 Sustancias mecánicamente activas

Aparte del riesgo de penetración en los equipos (ver solicitaciones por exposición), la presencia de arena o de polvo en abundancia puede afectar a los equipos por sedimentación (atascamiento de los mecanismos) o por abrasión (desgaste y corrosión). Tales condiciones pueden darse en determinadas actividades (canteras, cementeras...) y en las regiones desérticas y subdesérticas. La arena, constituida fundamentalmente por



partículas de cuarzo de 100 a 1.000 μm de grosor, raya la mayor parte de los materiales, incluido el vidrio.

2 Presión mecánica del viento

Los efectos mecánicos ligados a los movimientos del aire se tienen fundamentalmente en cuenta en las líneas aéreas.

Los tableros eléctricos, así como las cubiertas y sus fijaciones, pueden igualmente verse sometidos a esfuerzos nada despreciables y proporcionales a sus dimensiones. En las zonas muy ventosas, en los barcos, malecones, plataformas, pueden realizarse intervenciones en condiciones extremas.



Según el destino de las instalaciones, las solicitaciones mecánicas son diversas y variables:

- utilización de puesto fijo protegido de la intemperie (instalaciones interiores)
- utilización exterior no protegida (grúas, puentes)
- utilizaciones difíciles (obras)
- instalaciones en vehículos (compresores, grupos electrógenos...).

Las exigencias mecánicas deben evaluarse cuidadosamente y probarse en consecuencia.



Las solicitaciones mecánicas, choques, vibraciones y sismos son objeto de una codificación, como influencias externas. La CEI 60721-3 propone una clasificación muy exacta (hasta 8 niveles) con valores característicos de amplitud, aceleración y frecuencia.



La fuerza ejercida por el viento sobre una superficie puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$F = 0,62 v^2 S$$

F: fuerza en newtons (N)

v: velocidad del viento en m/s

S: superficie perpendicular al viento en m^2

Por ejemplo, una puerta de armario de 1.000 x 1.800 abierta por una ráfaga de 30 m/s estará sometida a una fuerza de 468 N (50 kg aproximadamente).

3 Precipitaciones sólidas

El granizo, la escarcha y el hielo pueden requerir precauciones especiales por lo que a sus efectos mecánicos se refiere.

- El granizo debe considerarse fundamentalmente bajo el punto de vista de los impactos mecánicos. Por regla general, se considerará la caída de granizo que no exceda de 20 mm, es decir una energía de 1 julio.

Podrá contemplarse una protección complementaria (techo, deflector) en las regiones con riesgo elevado: donde pueda caer granizo de 50 mm (energía de choque de 40 julios).

- La nieve debe considerarse bajo el punto de vista de la carga mecánica y del agua que representa cuando se funde. El riesgo de penetración (nieve en polvo) está cubierto normalmente por el índice de protección mínima (IP x4) para los productos exteriores. La densidad de la nieve recién caída es la décima parte de la del agua aproximadamente. Aunque aumenta con el asentamiento, esto no modifica la carga. Una altura de nieve de 1 m representa por lo tanto una presión de 1 kPa (10 g/cm²).



- La escarcha y el hielo son dos fenómenos que solo difieren en las condiciones de su formación. En ambos casos, se trata de gotitas en «sobre-fusión»; el hielo se forma sobre una película de agua, mientras que la escarcha es una acumulación ligada al viento. Los depósitos que representan deben considerarse bajo los aspectos de la carga y del riesgo de bloqueo de los mecanismos.

La densidad del hielo es parecida a la del agua y, aunque su espesor sea limitado, la adherencia del hielo es tal que la carga representa un riesgo muy real en las líneas aéreas.



Los riesgos de obturación y de bloqueo derivados de la escarcha y el hielo, deben evaluarse especialmente en las zonas en hondonada, donde pueden producirse retenciones.

Deberán protegerse las juntas de cierre no drenadas, así como los mecanismos que puedan bloquearse como consecuencia de la penetración de agua. Una capa de grasa o una película a base de silicona pueden ser suficientes; suele ser difícil proteger eficazmente las cerraduras con llave. Los techos añadidos en voladizo representan una protección sencilla y eficaz.



Se considera que los productos y cubiertas con una resistencia al choque igual a 5 julios (IK > 07) como mínimo, son resistentes a los impactos de granizo más probables. La carga potencial de la nieve deberá tenerse en cuenta al considerar la superficie superior de los equipos y de sus dispositivos de fijación. En las regiones templadas, se puede considerar un valor estándar de 20 g/m² (2 m de altura).

En las regiones de grandes nevadas (montaña), cabría considerar una protección complementaria que contemplase una altura de 10 m (100 g/cm²), teniendo en cuenta la nieve transportada por el viento (ventisca).



Patas de fijación ref. 364 01 para armarios Atlantic.

Carga nominal 300 kg para resistir todas las exigencias de instalación.

4 Las vibraciones

El término vibraciones engloba numerosos fenómenos oscilatorios cuyas características y efectos son muy variables. Podemos distinguir pues las vibraciones estacionarias sinusoidales, las vibraciones aleatorias pero estacionarias, o las vibraciones aleatorias de espectro específico (choques, impactos, frenado...).

El material eléctrico, especialmente el de elevada potencia, genera por sí mismo vibraciones ligadas a la frecuencia 50 Hz de la red; este dato se toma en consideración en el propio diseño de los productos.

Por el contrario, existen numerosas vibraciones vinculadas a la actividad o al entorno exterior que pueden transmitirse a las instalaciones y provocar con el tiempo funcionamientos defectuosos.

Se pueden proponer numerosos tipos de exposición, pero, de manera sencilla y realista, podemos contemplar aquí tres niveles para el material instalado en puesto fijo.

- 1 er. nivel

Las fuentes de vibración son inexistentes o momentáneas, las estructuras son rígidas y el material eléctrico no está sometido a vibraciones significativas.

- 2º nivel

La proximidad de máquinas, transportadores mecánicos, paso de vehículos, constituyen fuentes de vibraciones que se propagan a través de los elementos de la estructura (muros, armazón) hasta los equipos y mecanismos eléctricos. En tales condiciones, los valores característicos al nivel de la fuente no sobrepasan los siguientes: 3 mm de amplitud de desplazamiento, 10 m/s² de aceleración (1 g) y de 2 a 200 Hz de frecuencia. Teniendo en cuenta la amortiguación, la amplitud resultante no pasa de 0,2 mm al nivel de los equipos.

Una cuidadosa instalación, el cum-

plimiento de los pares de apriete preconizados, la correcta fijación de los aparatos y del cableado a fin de evitar resonancias o amplificaciones, permiten normalmente prever posibles problemas en tales condiciones.

- 3 er. nivel

El material eléctrico está directamente fijado a las máquinas o a chasis comunes. Las vibraciones o choques son importantes y repetitivos. Al nivel de la fuente, la amplitud puede alcanzar los 15 mm y la aceleración los 50 m/s² (5 g), valores que pueden generar desplazamientos del material de 1 mm e incluso superiores.

En tales condiciones, es indispensable tomar ciertas precauciones:

- utilizar arandelas de bloqueo, «frenos de rosca»... contra el aflojamiento



Armario Atlantic sobre el chasis de una prensa

de las conexiones y de las fijaciones. En todo caso, se recomienda el marcaje de los sistemas atornillados como parte del mantenimiento predictivo (barniz agrietable o pintura).

- utilizar conductores flexibles y protegerlos de cualquier contacto que pueda ser o volverse destructivo
- guiar y fijar los conductores (canales, fundas)

- respetar imperativamente la posición recomendada para la instalación de los aparatos

- en caso necesario, fijar las cubiertas sobre antivibradores (silentbloccs, elastómeros...).



Altis inox integrado en el chasis de una máquina automática



Para usos en desplazamiento, deben aplicarse especificaciones particulares: aceleraciones verticales tipo choque para los vehículos; desplazamientos angulares permanentes y oscilantes para los barcos...

5 Choques con impactos

Tal como ocurre con el código IP, el nivel de protección contra los choques (código IK) debe seleccionarse en función de los riesgos del emplazamiento de la instalación. Por regla general, se requiere el IK 02 para las aplicaciones domésticas, si bien determinados emplazamientos (cavas, graneros, escaleras...) pueden requerir el nivel IK 07.

El IK 07 es necesario para la mayoría de los locales técnicos, así como en las explotaciones agrícolas y en ciertos locales de pública concurrencia.

El nivel IK 08 se requiere en algunos locales de pública concurrencia, en los establecimientos industriales y en emplazamientos de riesgo (reservas, obras, muelles...).

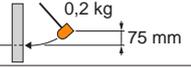
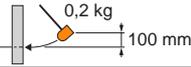
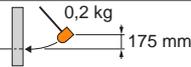
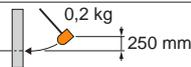
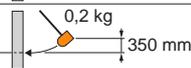
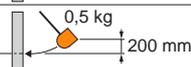
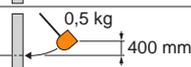
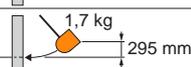
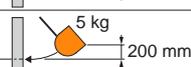
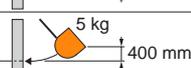
El IK 10 se aplica a los emplazamientos situados a menos de 1,5 m sobre el suelo y donde circula maquinaria de mantenimiento.



Niveles de protección contra los choques

Grados de protección IK contra los impactos mecánicos según norma EN 50102

Antiguas denominaciones equivalentes

Grado IK	Ensayos	Energía en Julios	IP 3ª cifra	código AG
IK 00		0		
IK 01		0,15		
IK 02		0,2	1	1
IK 03		0,35		
IK 04		0,5		3
IK 05		0,7		
IK 06		1		
IK 07		2	2	5
IK 08		5	3	7
IK 09		10		
IK 10		20	4	9

El choque generado por el martillo IK es un choque de tipo contundente. Según las modalidades de la norma, se pueden efectuar choques de hasta 50 joules elevando la altura de caída a 1 metro.



Protección específica contra los choques en armarios móviles

6 Movimientos



Instalación de cubiertos y de transformadores en un puente grúa

Ciertos equipos instalados en particular sobre dispositivos de mantenimiento (grúas, puentes grúa, ascensores...) se encuentran sometidos a movimientos de gran amplitud. Aunque tales movimientos no generan forzosamente vibraciones, deben tomarse precauciones bajo estos dos aspectos:

- Solicitaciones aplicadas a los conductores que sufren deformaciones repetidas.

Estos últimos deben seleccionarse correctamente en función del uso previsto. Determinados dispositivos (troles, fijaciones en guirnalda...) permiten garantizar sus desplazamientos.

- Esfuerzos aplicados a los componentes y, sobre todo, a su fijación en las fases de aceleración y de frenado. Estos esfuerzos son proporcionales a la masa de los elementos fijos, y cuanto más pesados sean éstos (transformadores, armarios cableados), mayores serán los esfuerzos a causa de la inercia. Deben contemplarse fijaciones complementarias (escuadras, pasadores...).

7 Sismos

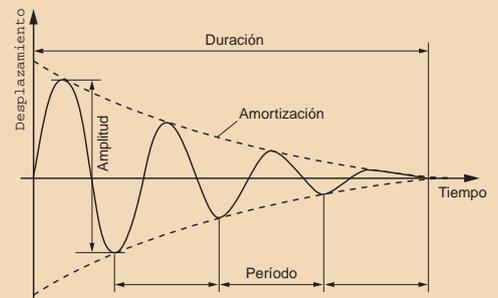
La comprensión de los temblores de tierra y, sobre todo, de sus dramáticas consecuencias, ha llevado a una mejor consideración de este riesgo en la construcción de obras y edificios en las regiones más expuestas. Pero la ingeniería parasísmica no se detiene en las construcciones. Un verdadero análisis ha de tener en cuenta los servicios mínimos que deben mantenerse durante y después del sismo (salvaguardia). Los daños admisibles, los costos de reconstrucción, se compararán con los sobrecostos de construcción en relación con el riesgo estadístico de magnitud de los sismos (repetidos, de intensidad moderada a excepcionalmente elevada). En este planteamiento, los equipos, especialmente los eléctricos, pueden ser objeto de exigencias parasísmicas cuando su duración afecta a la seguridad. Las instalaciones nucleares son por supuesto el objetivo prioritario, pero otras industrias sensibles (química, siderúrgica, farmacéutica...), o establecimientos públicos (hospitales, salas de espectáculos...), pueden verse afectados, al menos en lo que se refiere a la parte de los sistemas de seguridad y energía de emergencia.



El terremoto está vinculado a una liberación brutal de energía en las profundidades terrestres. La teoría de la "tectónica de placas" explica que los sismos nacen a lo largo de las fallas por levantamiento o deslizamiento de estas placas.

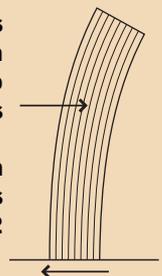
La corteza terrestre externa está constituida por una decena de placas principales (placa sudamericana, placa euroasiática, placa pacífica, placa africana, placa antártica...) y de placas más pequeñas.

Relación entre el desplazamiento y el tiempo de una onda amortiguada.



Las ondas sísmicas principales se propagan en todas las direcciones a través de la corteza terrestre. Su dirección y su camino son complejos, su frecuencia variable pero los efectos más destructivos se deben a las ondas lentas (inferior a 10 Hz) y transversales.

La atención más grande está puesta generalmente en las fuerzas horizontales generadas por los sismos. Los valores de aceleración fijados por las pruebas son 2 veces más elevados en horizontal que en vertical.





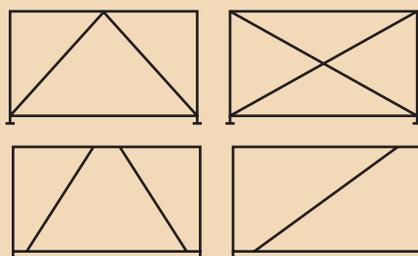
Las calificaciones parasísmicas de los equipos se basan en pruebas efectuadas sobre mesas vibrantes. La dificultad consiste por supuesto en simular lo mejor posible condiciones reales hipotéticas, sabiendo además que los sismos son a menudo acompañados con fenómenos secundarios (incendios, inundaciones, sunami...) aún más difíciles a prever.

Además de las pruebas, una sensibilidad clara al riesgo sísmico es realmente necesaria para concebir equipos adaptados.

La respuesta sísmica de una estructura requiere la comprensión de los factores fundamentales, pero sobre todo el respeto a las normas de instalación:

- las sujeciones al suelo deben soportar los efectos de cizalla (clavijas especiales)
- evitar los entre-choques entre equipos o entre equipos y obras por cercanía o alejamiento
- colocar los aparatos más sensibles (por ejemplo relé) en la parte baja, aumentando la aceleración con la altura del equipo
- las estructuras livianas (los paneles de gran dimensión, pórticos) causan efectos aceleradores
- asegurarse de las caídas de objetos no fijos y de los elementos de techos
- fijar el equipo en el suelo y en la pared...

Ejemplo: refuerzos de pórticos



Clásico:
concentración de dificultades en los nudos.

Compensado:
mejor adaptado a los efectos de cizallas horizontales.

La consulta a un organismo especializado es un preliminar recomendado en las instalaciones parasísmicas: Servicio Sismológico Universidad de Chile.



El enfoque normativo se apoya en dos vías:

- La primera consiste en efectuar una prueba convencional (barrido sinusoidal, senoide modulada, prueba de frecuencias múltiples con búsqueda de frecuencia crítica) para calificar un material a un nivel codificado dado. Se retienen tres clases para sismo: de débil a medio, medio a fuerte, fuerte a muy fuerte. Factores de amplificación (vinculados a la altura, a la rigidez del edificio) pueden aplicarse así como factores de dirección (horizontal o vertical). Se habla entonces de "clase sísmica general".

- La segunda, más precisa, más realista también, consiste en aplicar un acelerador específico (tiempo, amplitud, aceleración). Éste pudo ser obtenido por cálculo, por simulación o por datos sobre sismos anteriores.

A este espectro de prueba, pueden superponerse pruebas convencionales (sinusoides moduladas) y aplicar un factor de seguridad; es la "clase sísmica específica".

Se describen algunos métodos y pruebas sísmicos en un determinado número de documentos. Su alcance es a menudo sólo nacional, e incluso sectorial, y los resultados obtenidos en un caso hipotético prácticamente nunca son transportables a otro caso.

UTE C 20-420: guía para los métodos de pruebas sísmicos aplicables a los materiales

HN 20 E 53: especificación EDF

EN 60068-3-3: método de pruebas sísmicas (UTE C 20-420)

IEEE Std 693: IEEE recommended practices for seismic design of substations

ETG -1-015: especificaciones técnicas generales diseño sísmico.

10 EL RIESGO DE INCENDIO

Ambivalente por naturaleza, el fuego es a la vez fuente de energía, comodidad y vida (el calor) y fuente de peligro (el incendio).

La consideración del riesgo de incendio y la evaluación de sus posibles consecuencias representan sin duda una de las gestiones de seguridad más complejas.

Si las causas de falla eléctrica se conocen perfectamente (sobrecargas, cortocircuitos, rayo...) a pesar de productos de protección cada vez más potentes (cortacircuitos, diferenciales, pararrayos...), la electricidad sigue siendo una causa principal de incendio. También otros factores a veces olvidados pero muy a menudo agravantes deben considerarse: conciernen a la vez a la utilización y al tipo de empleo de los locales, a la naturaleza de las materias tratadas o almacenadas, de las calidades de construcción de los edificios, de la naturaleza misma de la actividad... a estos factores, es necesario, por supuesto, no olvidar añadir los riesgos inducidos por los comportamientos humanos probables o previsibles.



1 Los locales de mayor riesgo de incendio

Los criterios que permiten identificar y proteger este tipo de locales se basan en textos diferentes. En Chile no existe una norma específica respecto a este tema. Pero la recomendación es evidente: consultar y trabajar conjuntamente con el Cuerpo de Bomberos y sus departamentos técnicos.



La instauración de un Sistema de Seguridad Incendio (SSI) adaptado debe pasar por un enfoque global y exhaustivo donde se evalúan a la vez los riesgos iniciales (falla, errores, causas naturales...) pero también los riesgos inducidos por las condiciones medioambientales (actividad, tipo de edificio, proximidades...) y finalmente los riesgos complementarios esencialmente de origen humano (pánico, desorden, no - mantenimiento, sobre almacenamiento,).



2 Los peligros del incendio

Las consecuencias para las personas son por supuesto primordiales en términos de gravedad vinculada al riesgo del fuego. Entre las causas directas, la intoxicación por el monóxido de carbono y el envenenamiento por el ácido cianhídrico representan los riesgos principales. La exposición a la radiación térmica y la inhalación de gases calientes son otra

causa directa que invalida o mata mientras que la presencia de humos que opacan los lugares y crean la pérdida de las señales, amplía indirectamente el riesgo. El pánico se añade a estas causas con los riesgos de caídas, estancamiento, defenestración e incluso de agresividad. Las consecuencias económicas representan la segunda dimensión del incendio por los costos y las pérdidas de explotación que genera; el aspecto de asegurar y de reasegurar corre el

riesgo de subir excesivamente. Finalmente las consecuencias inducidas sobre el medio ambiente deben por supuesto evaluarse con el fin de adoptar todas las medidas posibles contra la contaminación de las capas y ríos, la repercusión de los hollines, la fitotoxicidad...



El incendio puede dividirse en tres fases:

- La ignición,
- El desarrollo del fuego,
- El abrasamiento generalizado (flash-over).



Tres factores determinan lo que se nombra comúnmente el "triángulo del fuego".

Si ningunos de estos tres factores son reducidos o suprimidos, el fuego irá acelerándose hasta la destrucción total del combustible. El aire que será difícil de suprimir, se limitará lo mejor posible el riesgo, limitando la exposición de los materiales a temperaturas compatibles con sus características y utilizando los materiales menos combustibles posibles.

3 Los materiales eléctricos y los aislantes en materias plásticas

La mayoría de los materiales minerales se queman poco o nada (hormigón, yeso, cerámica), por el contrario todos los materiales orgánicos se queman con más o menos facilidad (madera, paja, papel...). Los materiales plásticos compuestos esencialmente de carbono e hidrógeno no escapan a esta norma. Sin embargo, su diversidad y las posibilidades de modificación de formulación que ofrecen, permiten mejorar su comportamiento para aplicaciones específicas. Se distinguen así tres estrategias principales de incineración.

● La inhibición de la llama

Esta estrategia consiste en impedir el desarrollo de las reacciones químicas que son la causa de la formación y la propagación de la llama.

Elementos como el cloro, el bromo o el fósforo son especialmente eficaces en este papel de inhibidor de llama. Por esta razón, entran en la composición de los retardadores de llama (o ignífugos). El PVC, que contiene "naturalmente" un 50% de cloro es intrínsecamente ignífugo.

● Modificación del proceso de degradación térmica

Permite, por la adición de cargas minerales, la absorción del calor, la disminución en masa de combustible y la liberación de agua (trióxido de aluminio).

● La intumescencia

Consiste en bajar la acción del calor, desarrollando una estructura expandida en la superficie del material. Ésta desempeña entonces el papel de escudo térmico limitando la contribución de oxígeno. El carácter ignífugo es también consustancial al PVC.

Todas estas estrategias no son aplicables a todos los materiales; por ejemplo las cargas minerales modifican las características mecánicas. Los derivados halogenados son los utilizados incluso si son objeto de ataques cíclicos o recurrentes sobre su toxicidad supuesta.



Sin halógeno

Algunas materiales pueden efectivamente ignifugarse sin halógeno (poliamida, policarbonato), pero la gran mayoría de éstas recurre a los retardadores halogenados para tener un comportamiento correcto ante el fuego. El término "sin halógeno" sólo tiene sentido si efectivamente hay cero halógeno o si una tasa máxima es normada.

El "sin halógeno" cuando es exigido para los cables, se exige a menudo a otros materiales por extrapolación, sin razón dada. Si la masa de materia puesta en juego para los cables justifica esta exigencia en algunos casos (riesgo de corrosión, lugares cerrados, túneles ferroviarios), se sobrestima completamente la contribución para otros aparatos o dispositivos cuyas cantidades de materias aislantes no son comparables.



Ensayo del hilo incandescente (CEI 60695-2-11)

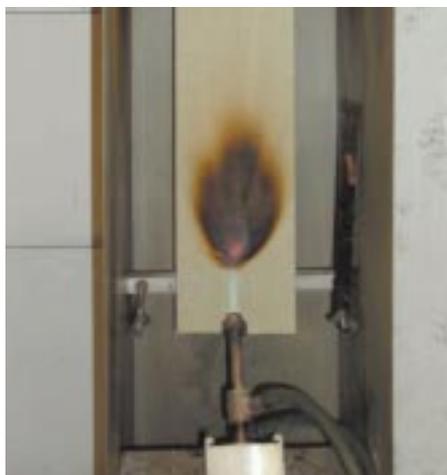
Este ensayo simple permite verificar que la exposición de los aislantes de estos aparatos eléctricos a un calor intenso (por ejemplo a la que se da en un defecto de contacto o en un arco) no provoca una inflamación no manejable (tiempo y altura de la llama) y que el material se apaga solo al disminuir la fuente de calor.

El grado de severidad del ensayo está regulado por la temperatura del hilo incandescente: 550°C, 650°C, 750°C, 850°C, 960°C y por la duración de la extinción admitida, (30 s al disminuir el hilo). Un valor de ensayo adaptado es retenido según el emplazamiento en la instalación (origen o circuito terminal) según lo que las piezas testeadas resistan o no (partes eléctricas), según si los materiales están con o sin supervisión, según el modo de instalación (embutido o sobrepuesto), según su destino (circuito de seguridad, iluminación) y según los riesgos propios de los locales.

Ensayo al quemador 1 kW (CEI 60695-2.4)

Este ensayo que desarrolla una energía importante se aplica a los elementos de aislamiento más grandes (canaletas, conduits, bandejas de distribución, envolventes...)

La llama producida por la combustión de gas propano se aplica varias veces. La propagación del fuego, la caída de gotas inflamadas, el tiempo de extinción está entre los parámetros que se miden.



Ensayo al quemador 1Kw



La combustión del PVC

El PVC está compuesto principalmente por cloro, el que, en caso de incendio, es liberado bajo la forma de cloruro de hidrógeno. Este gas por su carácter irritante y de débil concentración, facilita la detección olfativa de un principio de incendio. El cloruro de hidrógeno (que en forma líquida se llama ácido clorhídrico) que sale de la combustión del PVC no está citado como tóxico en la 1ª parte del informe ISO 9122. De hecho, el riesgo más probable es el de la corrosión sobre todo si la descontaminación de los lugares no ha sido hecha rápidamente y si no es posible hacerla. Ejemplo: Un siniestro que afecta sistemas ópticos complejos y costosos, aparatos médicos, máquinas de muy alta precisión, elementos de aeronáutica.

4 La estimación del riesgo y el comportamiento humano

Como en la mayoría de los accidentes, el riesgo ligado al incendio es desgraciadamente aumentado por factores de comportamiento humano. Las mayores precauciones técnicas no tendrán efecto si las consignas no son

respetadas:
Puertas de salida con cerrojo, puertas corta fuego abiertas, pasillos de evacuación llenos de cosas, dispositivos de señalización inoperantes, capas de polvo que tapan los aparatos, material peligroso en bodegaje en cantidades impensadas...
No olvidemos que la mayoría de los elementos combustibles son aporta-

dos poco a poco por los usuarios o habitantes (muebles, decoración, cortinas, ropa, aparatos, productos diversos y sus embalajes...)

LOS PRINCIPIOS DE LA PROTECCION

La consideración de los riesgos pasa por su investigación sistemática y por su definición.

Cada riesgo definido debe entonces traer implícitamente la pregunta: ¿qué debo proteger?

En segundo lugar, un análisis más fino podrá diferenciar los medios y los niveles de respuesta a esta pregunta.

Como para la mayoría de los "oficios de construcción", la calidad y la seguridad de las instalaciones eléctricas se basan en tres puntos:

- los productos puestos en obra y sus características,
- el respeto de las normas.
- la experiencia de los hombres y su conocimiento del oficio.

Sin arriesgarse a jerarquizar, todo indica claramente que este tercer punto es a la vez esencial y puede olvidarse

demasiado a menudo.

Las páginas que siguen no tienen la pretensión de ser exhaustivas pero simplemente la de recordar los "grandes principios" que regulan la protección en la doble preocupación de la seguridad de las personas y bienes y de la fiabilidad y la durabilidad de las instalaciones eléctricas.

Esta es la razón por la que se encontrará bajo este título de "Los principios de la protección" al mismo tiempo un

recordatorio de normas contra los choques eléctricos, de las disposiciones y consejos de CEM, de los conceptos de corrosión, y de envejecimiento, una ayuda a la elección de los materiales y envolventes en función del medio ambiente, un enfoque pragmático del riesgo rayo y /o también un resumen de los riesgos de incendio.

PROTEGER

Retirar la víctima de los efectos de la corriente por medio de la puesta fuera de la tensión. Si la puesta fuera de la tensión no es posible, prevenir al distribuidor

TODA INTERVENCIÓN IMPRUDENTE TIENE EL RIESGO DE ACCIDENTAR A LA PERSONA QUE ESTA AYUDANDO A LA VÍCTIMA

ALERTAR

Según las consignas preestablecidas por



Bomberos 18
S.A.M.U. 15
Policía 17

Servicio urgencia de la empresa nº:

AYUDA

Asegurar la respiración

La víctima está inanimada y no responde. Tórax y abdomen están inmóviles.



Oscilar prudentemente la cabeza detrás y levantar la barbilla de 4 a 5 cm



Poner en posición lateral de seguridad para ayudar a posible evacuación de cuerpo extraño



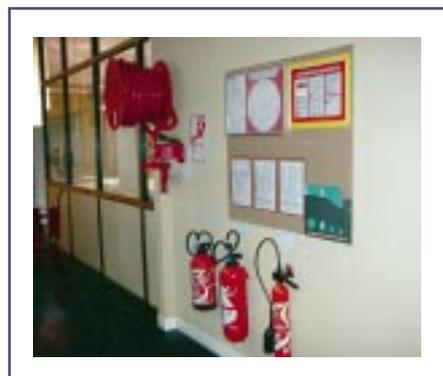
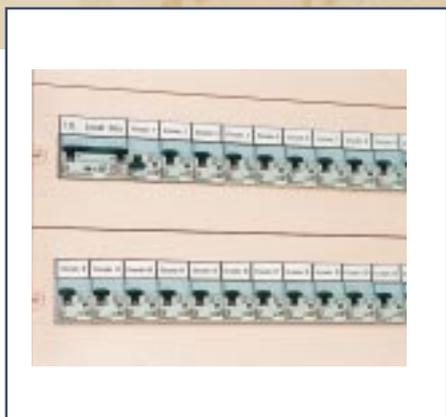
Observación, escuchar, apreciar la respiración



Masaje cardíaco en caso necesario por personal formado y entrenado



Insuflar si posible paro respiratorio para garantizar la respiración



La realización de una protección adaptada pasa por la aplicación de medios y materiales y por la aplicación de medidas adaptadas para limitar, en la medida de lo posible, los riesgos vinculados a la utilización de la energía eléctrica, en situación normal de uso, y también en situaciones de defecto o de siniestro.

PROTECCIONES CONTRA LOS CONTACTOS ELECTRICOS

Al accionar un sistema o circuito eléctrico, el operador, corre el riesgo de quedar sometido a tensiones peligrosas por contacto eléctrico, el que según la NCH Elec. 4/84 puede ser de dos tipos: directo o indirecto. El primero se presenta cuando toca con alguna parte de su cuerpo una parte del circuito o sistema que en condiciones normales está energizada. El segundo, cuando toca con alguna parte de su cuerpo una parte metálica de un equipo eléctrico, que en condiciones normales está desenergizada pero que en condiciones de falla se energiza.

1 MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA CONTACTOS DIRECTOS

La protección de las personas contra los riesgos derivados del contacto con las partes activas de un aparato, o de una parte de la instalación, puede obtenerse de varias maneras. Se considerará suficiente protección contra los contactos directos con partes energizadas que funcionen a más de 65 V, la adopción de una o más de los siguientes métodos:

1 Protección por alejamiento

Consiste en ubicar la parte energizada fuera del alcance de una persona.

Se considera zona alcanzable por una persona aquella que medida desde donde ésta pueda situarse esté a una distancia límite de 2,50 m por arriba, 1,00 m lateralmente y 1,00 m hacia abajo. En sitios o recintos en que se manipulen objetos conductores la zona alcanzable se considera ampliada en las dimensiones o alcance de estos objetos.

2 Protección por restricción de acceso

Consiste en ubicar las partes activas en bóvedas, salas o recintos similares accesibles únicamente a personal calificado.

3 Protección por separación

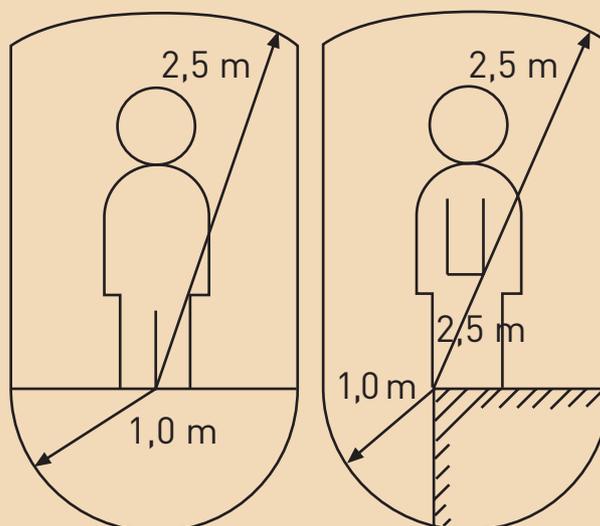
Consiste en separar las partes energizadas mediante rejillas, tabiques o disposiciones similares de modo que ninguna persona pueda entrar en contacto accidental con ellas y que sólo personal calificado tenga acceso a la zona así delimitada.

4 Protección por aislamiento

Consiste en recubrir las partes energizadas con aislantes apropiados, capaces de conservar sus propiedades a través del tiempo y que limiten las corrientes de fuga a valores no superiores a 1 miliampere.

Las pinturas, barnices, lacas y productos similares no se considerarán una aislación satisfactoria para estos fines.

Zona alcanzable por una persona



2 MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS

Destinada a garantizar la seguridad de las personas tras una falla de aislamiento. La protección contra contactos indirectos se basa en la asociación de medidas incluidas en la realización de las instalaciones respecto a los regímenes de neutro (ver página 182).

Se protegerá al operador o usuario de una instalación o equipo eléctrico contra los contactos indirectos, limitando al mínimo el tiempo de la falla, haciendo que el valor del voltaje con respecto a tierra que se alcance en la parte fallada sea igual o inferior al valor de seguridad (24 V para locales húmedos y 65 V para locales secos), o bien haciendo que la corriente que pueda circular a través del cuerpo del operador, en caso de falla, no exceda de un cierto valor de seguridad predeterminada.

La primera medida de protección contra los contactos indirectos es evitar que éstos se produzcan, lo que se logrará manteniendo la aislación en los diversos puntos de la instalación en sus valores adecuados.

Según la NCH Elec. 4/84 el valor mínimo de resistencia de aislación será de 300.000 ohm para instalaciones con tensiones de servicio de hasta 220 V. Para tensiones superiores se aceptará una resistencia de aislación de 1.000 ohm por volt de tensión de servicio para toda la instalación, si su extensión no excede de 100 m. Las instalaciones de extensión superior a 100 m se separarán en tramos no superiores a dicho valor, cada uno de los cuales deberá cumplir con el valor de resistencia de aislación prescrito.

Asumiendo que aún en una instalación en óptimas condiciones, ante una situación de falla una parte metálica del equipo puede quedar energizada, se deben tomar medidas complementarias para protección contra tensiones de

contacto peligrosas. Estas medidas se clasificarán en dos grupos, los sistemas de protección clase A y los sistemas de protección clase B.

1 Sistema de protección clase A

Se trata de tomar medidas destinadas a suprimir el riesgo mismo haciendo que los contactos no sean peligrosos, o bien impidiendo los contactos simultáneos entre las masas y los elementos conductores entre los cuales puedan aparecer tensiones peligrosas; dentro de esta clase, encontramos los siguientes sistemas:

- 1.1 Uso de transformadores de aislamiento

Este sistema consiste en alimentar el o los circuitos que se desea proteger a través de un transformador, generalmente de razón 1:1, cuyo secundario esté aislado de tierra, debiéndose cumplir las siguientes condiciones:

- Su construcción será de tipo doble aislación.
- El circuito secundario no tendrá ningún punto común con el circuito primario ni con ningún otro circuito distinto.
- No se emplearán conductores ni contactos de tierra de protección en los circuitos conectados al secundario.
- Las carcasas de los equipos conectados al secundario no estarán conectados a tierra ni a la carcasa de otros equipos conectados a otros circuitos, pero la carcasa de todos los equipos conectados al circuito secundario y que pueden tocarse simultáneamente estarán interconectados mediante un conductor de protección.

- El límite de tensión y de potencia para transformadores de aislación monofásicos será de 220 V y 10 KVA, para otros transformadores de aislación estos valores límites serán de 380V y 16 KVA, respectivamente.

Este tipo de protección es aconsejable de usar en instalaciones que se efectúen en o sobre calderas, andamiajes metálicos, cascos navales, y en general donde las condiciones de trabajo sean extremadamente peligrosas por tratarse de locales o ubicaciones muy conductoras. El empleo de este sistema de protección hará innecesaria la adopción de medidas adicionales.



• 1.2 Uso de tensiones extrabajas

En este sistema se emplea como tensión de servicio un valor de 42 V ó 24 V. Su aplicación requiere el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- La tensión extra baja será proporcionada por transformadores de seguridad, generadores o baterías cuyas características sean las adecuadas para este tipo de trabajo.
- El circuito no será puesto a tierra ni se conectará con circuitos de tensión más elevada, ya sea directamente o mediante conductores de protección.
- No se podrá efectuar una transformación de alta tensión a tensión extra baja.

El empleo de este sistema de protección es recomendable en instalaciones en recintos o lugares muy conductores y hará innecesaria la adopción de otras medidas adicionales.

• 1.3 Clase II o doble aislamiento

Contrariamente a la clase I, la protección de clase II no depende de las condiciones de instalación. La seguridad se basa en la pequeña probabilidad de una falla simultánea de los dos aislamientos que constituyen el doble aislamiento. Por principio, el doble aislamiento se obtiene durante la construcción, añadiendo al 1er aislamiento (aislamiento principal) un segundo aislamiento (llamado aislamiento suplementario). Normalmente, los dos aislamientos deben poder probarse de manera independiente. Si existen partes metálicas accesibles, en ningún caso deberán estar conectadas a un conductor de protección.



• 1.4 Uso de conexiones equipotenciales

Este sistema consiste en unir todas las partes metálicas de la canalización y las masas de los equipos eléctricos entre sí y con los elementos conductores ajenos a la instalación que sean accesibles simultáneamente, para evitar que puedan aparecer tensiones peligrosas entre ellos.

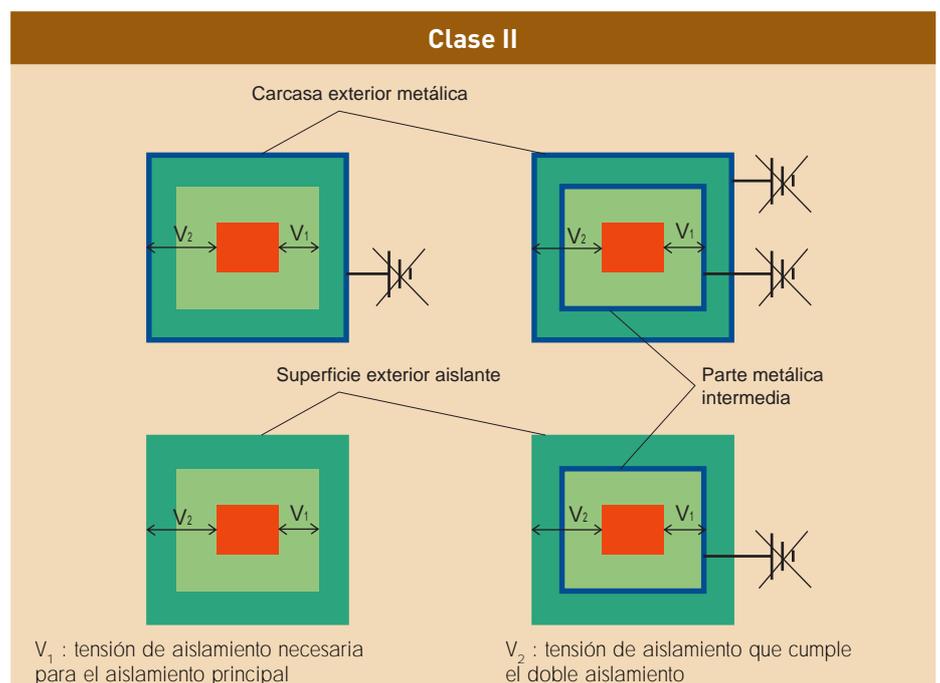
Esta medida puede, además, comprender la puesta a tierra de la unión equipotencial para evitar que aparezcan tensiones peligrosas entre la unión y el piso.

En las condiciones indicadas, deben insertarse partes aislantes en los elementos conductores unidos a la conexión

equipotencial, por ejemplo, coplas o uniones aislantes en sistemas de cañerías, a fin de evitar la transferencia de tensiones a puntos alejados de la co-nexión.

Las puertas y ventanas metálicas o los marcos metálicos que estén colocados en muros no conductores y fuera del contacto de otras estructuras metálicas no necesitan conectarse a la conexión equipotencial.

El empleo de este sistema de protección es recomendable en lugares mojados, debiendo asociarse a uno de los sistemas de protección clase B.



2 Sistema de protección clase B

En los sistemas de protección clase B se exige la puesta a tierra o puesta a neutro de las carcazas metálicas, asociando ésta a un dispositivo de corte automático que produzca la desconexión de la parte de la instalación fallada, dentro de esta clase encontramos los siguientes sistemas:

- 2.1 Dispositivos automáticos de corte por corriente de falla asociados con puesta a tierra de protección para instalaciones con neutro a tierra.

También llamado TT (ver "Esquemas de conexión a tierra" página 182). Consiste en la conexión a una tierra de protección de todas las carcazas metálicas de los equipos y la protección de los circuitos mediante un dispositivo de corte automático sensible a las corrientes de falla, el cual desconectará la instalación o equipo fallado. La aplicación de este sistema requiere el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- a• La corriente de falla deberá ser de una magnitud tal que asegure la operación del dispositivo de protección en un tiempo no superior a 5 segundos.
- b• Una masa cualquiera no puede permanecer en relación a una toma a tierra a un potencial que exceda el valor de seguridad (24 V locales húmedos y 65 V locales secos).
- c• Todas las masas de una instalación deben estar conectadas a la misma toma de tierra.

- 2.2 Dispositivos automáticos de corte por corriente de falla asociados con puesta a tierra de protección para instalaciones con neutro flotante o impediante.

También llamado IT (ver "Esquemas de conexión a tierra" página 182). Consiste en aplicar las mismas consideraciones dadas para 2.1, pero en el caso de no poder lograr lo señalado en el punto (a), se deben cumplir las siguientes condiciones:

- (Deberá existir un dispositivo automático de señalización que muestre cuando se haya presentado una única falla de aislación en la instalación.
- En caso de fallas simultáneas que afecten la aislación de fases distintas o de una fase y neutro, la separación de la parte fallada de la instalación debe asegurarse mediante dispositivos de corte automático que interrumpan todos los conductores de alimentación, incluso el neutro.

- 2.3 Neutralización.

También llamado TN (ver "Esquemas de conexión a tierra" página 182). Consiste en la unión de las masas de la instalación al conductor neutro, de forma tal que las fallas francas de aislación se transformen en un cortocircuito fase neutro, provocando la operación de los aparatos de protección de circuito.

- La corriente de falla en el punto asegurará una operación de las protecciones en un tiempo no superior 5 segundos.

- Todas las carcazas de los equipos deberán estar unidas a un conductor de protección, el que estará unido al neutro de la instalación.

- En caso de instalaciones con empalme en AT, el conductor de protección se conectará directamente al electrodo de tierra de servicio del transformador.

- En caso de instalaciones con empalme en BT, el conductor de protección se conectará al neutro en el empalme, debiendo además asociarse el sistema de neutralización a otro sistema de protección contra contactos indirectos que garantice que no existirán tensiones peligrosas en un eventual corte del neutro de la red de la distribución.

- La sección del conductor de protección será igual a la del neutro.

- El conductor de protección será aislado y de iguales características que el neutro.



Para todos los sistemas de protección indicados los dispositivos de corte automáticos deben ser interruptores automáticos (normalmente magneto-térmicos), pero ellos por si solos, no aseguran un disparo efectivo en las condiciones dadas debido a la existencia generalmente de elevadas impedancias de falla. Al respecto, la normativa establece el empleo como complemento de protectores diferenciales de alta sensibilidad.

Protección contra perturbaciones electromagnéticas

Si hay un campo de la electricidad en que las precauciones de instalación son tan importantes como la performance de los aparatos, es el de la compatibilidad electromagnética. Aquí, todo descansa en fenómenos poco habituales: alta frecuencia, superficies del “bucle”, la cohabitación... todo lo cual hay que conciliar con la primera exigencia de distribución. Y esto no es fácil.

1 EQUIPOTENCIALIDAD DE LA INSTALACION

La protección contra la propagación de las perturbaciones electromagnéticas en las instalaciones se apoya en dos reglas esenciales.

- La equipotencialidad, que debe aplicarse necesariamente de manera adecuada a la sensibilidad de la instalación.

Se proponen cinco niveles de realización de la red de masa.

- La separación eléctrica y geométrica de los aparatos (y de sus líneas) perturbados y perturbadores puede ser menos crítica, pero no forzosamente más fácil de llevar a la práctica.

Para este caso se proponen también varias soluciones.

En lo que se refiere a los conjuntos y equipos y reglas de construcción. Ver página 132

En lo que a la CEM se refiere, es innegable la importancia de la red de masa para la buena marcha de los equipos, si bien su cumplimiento exhaustivo no está exento de problemas técnicos o financieros. Por ello, y la experiencia lo atestigua, la constitución de dicha red debe ser adaptativa. Se contemplan los cinco niveles que se citan a continuación.

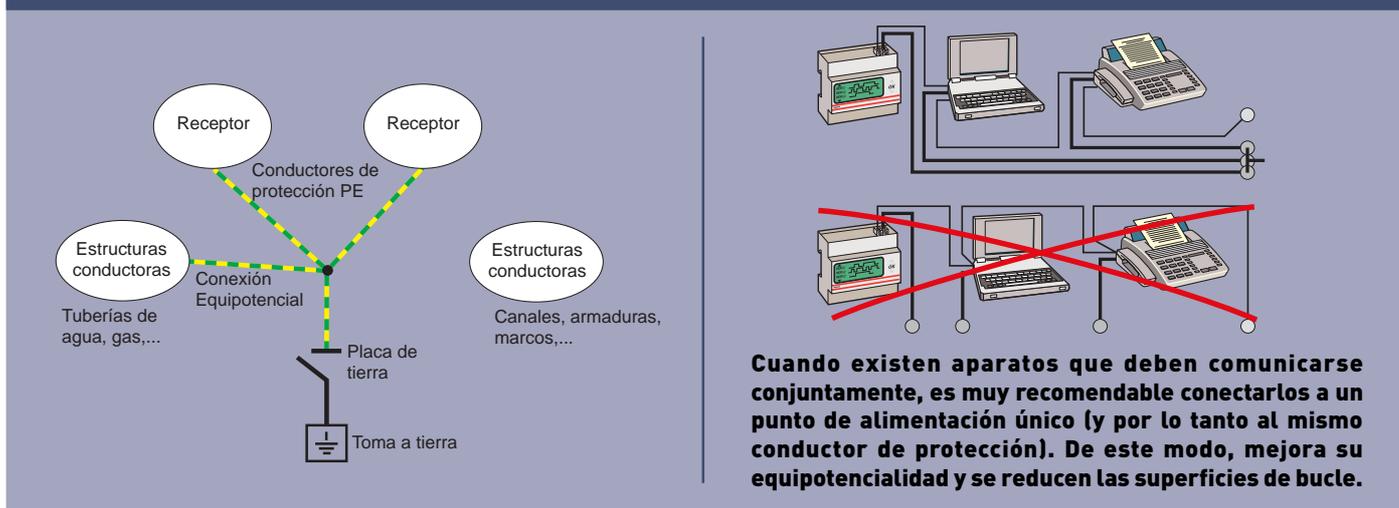
1 Equipotencialidad de nivel 0

El nivel 0 corresponde realmente a la conexión de los equipos con conductores de protección (cables verde /amarillo) a un punto central único. A menudo se habla de conexión en estrella. Si bien esta técnica es apropiada en M, en alta frecuencia alcanza pronto sus límites, ya

que la impedancia de los conductores se hace demasiado grande debido a su longitud.

Esta práctica mínima tiene también como inconveniente el hecho de crear bucles de grandes dimensiones en los que pueden inducirse sobretensiones considerables, especialmente a causa del rayo.

Equipotencialidad de nivel 0

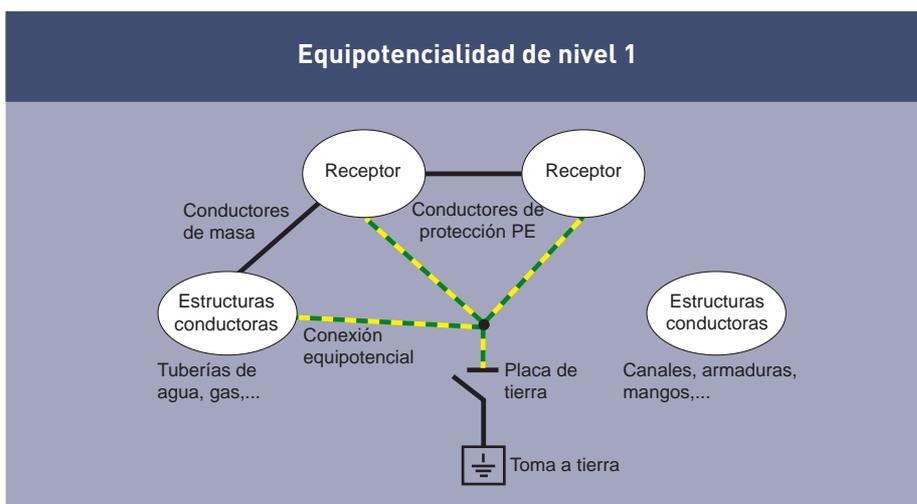


En algunas publicaciones se ha hablado a veces de efectuar la conexión al conductor de protección más cercano. Si bien esta consideración puede resultar tentadora ya que limita las impedancias comunes y las superficies de bucle, resulta de hecho poco realista a la hora de su aplicación: la multiplicación de las conexiones y la dificultad de determinar la sección necesaria pueden comprometer la seguridad.

2 Equipotencialidad de nivel 1

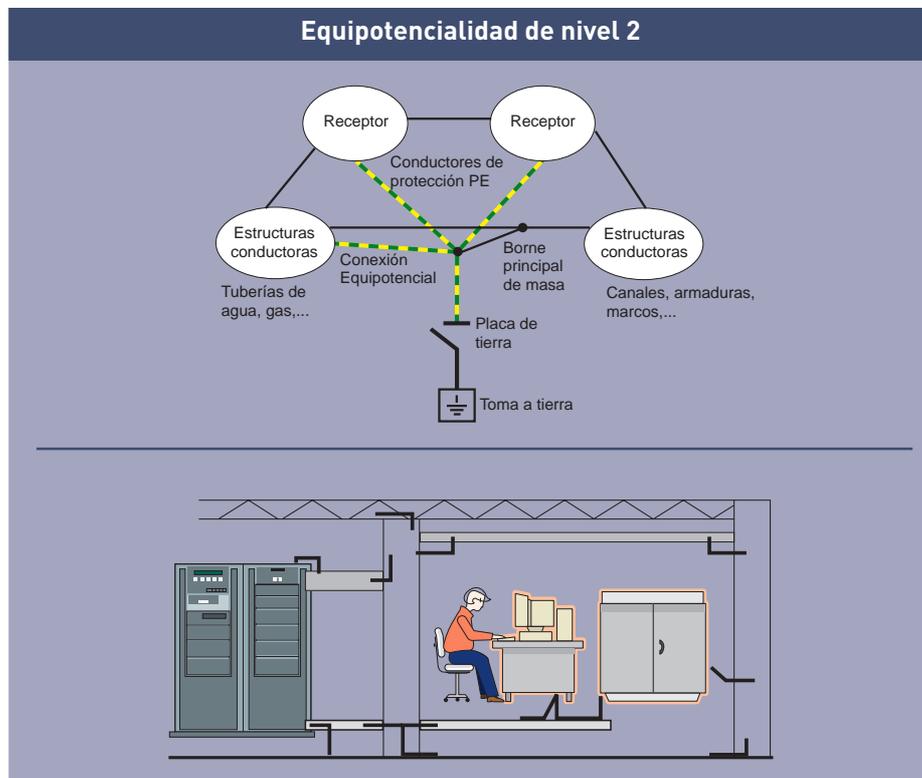
El nivel 1, sencillo de aplicar, económico y a menudo suficiente, responde a la evolución de los usos.

Basta con añadir una conexión equipotencial entre las masas de los aparatos que se comunican entre sí. Esta conexión puede estar constituida por un conductor corto o, mejor aún, por una estructura metálica común. Igualmente, en este caso la conexión será más eficaz cuanto más cerca se haga de los conductores sensibles, sobre los que tendrá un efecto reductor.



3 Equipotencialidad de nivel 2

El nivel 2 se aplicará a instalaciones más sensibles, o cuando existan fuentes importantes de contaminación electromagnética: aplicaciones de automatismos y de conducción de procedimientos, redes informáticas locales de categoría 5 (hasta 100 MHz), en cuyo caso interesa sobremanera interconectar todos los elementos metálicos accesibles: pilares, armaduras, canales, repisas, canales, marcos de puertas y ventanas, los cuales constituyen un entramado, ciertamente imperfecto, pero que reduce notablemente las impedancias comunes y las superficies de bucle.



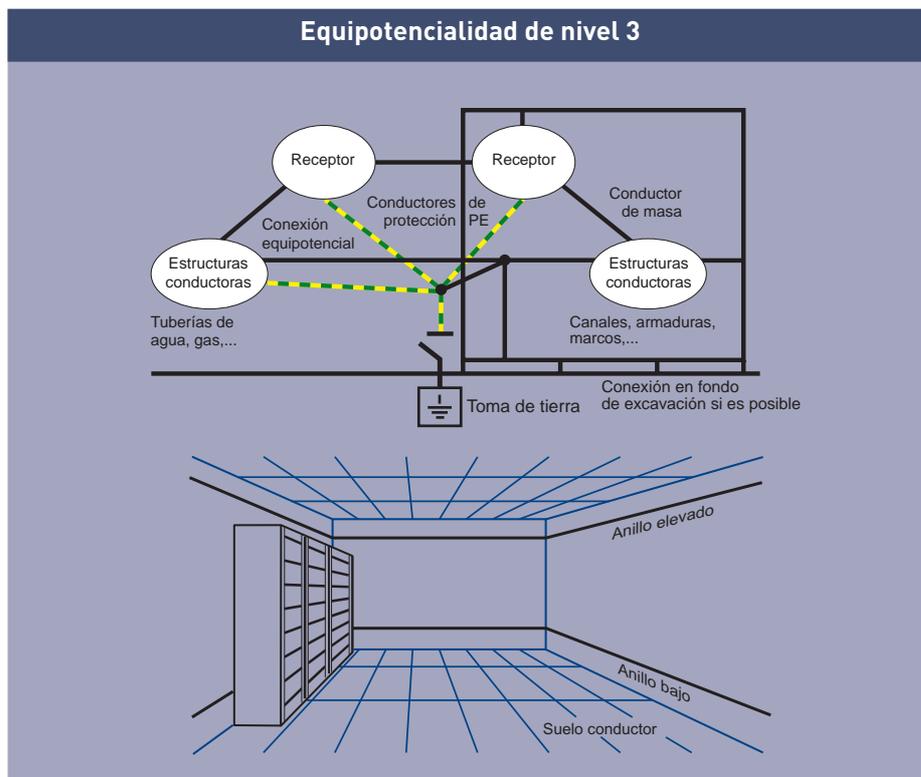
Las cualidades de equipotencialidad de las carcassas XL de Legrand facilitan no solo la conexión de las masas de los aparatos protegidos por dichas carcassas, sino también de los elementos conductores cercanos.



¡Atención! Los cables de conexión de señales no siempre garantizan una buena equipotencialidad: los contactos y alvéolos a 0 V (o masa) han de estar efectivamente conectados a un conductor específico que garantice la conexión de las masas. El blindaje constituido por una trenza de cobre no ofrece excelentes prestaciones en BF y las pantallas suelen estar constituidas por una sencilla hoja de poliéster metalizado. ¡Solamente los cables de energía con chapa metálica garantizan en efecto una conexión equipotencial, siempre que la continuidad al nivel de los extremos esté plenamente garantizada! Las aplicaciones locales de informática (PC, impresoras...), los terminales telefónicos analógicos o digitales, los aparatos de radio, los terminales de Internet, los buses de mando y control y globalmente todos los sistemas de poca amplitud y de frecuencia no superior a 1 MHz funcionan generalmente con el nivel 1 de red de masa.

4 Equipotencialidad de nivel 3

El nivel 3 contempla el concepto de enrejado por islotes. Ciertos equipos más sensibles, o que deben asegurarse debido a su precio o a la necesidad de su disponibilidad, requieren una protección específica contra los campos de alta potencia irradiados por los cables de alta potencia irradiados por los cables de energía o por el rayo. En tal caso, el nivel de equipotencialidad de los aparatos y de su entorno ha de ser excelente. A título de ejemplo, podemos citar las salas informáticas y los servidores, los chasis de distribución, los conmutadores de elevado caudal, los controles de vídeo y en general las aplicaciones de frecuencia superior a 100 MHz. También puede ser necesaria la creación de un islote enrejado cuando el edificio no posee una estructura conductora suficiente (construcción tradicional de albañilería).



Un enrejado apretado y localizado puede estar constituido por un suelo conductor y un anillo periférico del local (hoja de cobre de 20 mm de anchura como mínimo) situado en la parte inferior. Si la altura hasta el techo es superior a 3 m, se podrá instalar también un anillo elevado. Es evidente que todas las masas citadas en el nivel 2 deberán estar conectadas a este enrejado del islote mediante conexiones lo más directas posible y constituidas por trenzas u hojas de cobre o, en su caso, por conductores flexibles con una sección mínima de 25 mm².

En la medida de lo posible, se impedirá el acceso al anillo en toda su longitud (instalación vista o en canal), y los pasamuros deberán estar aislados a fin de protegerlos contra la corrosión.

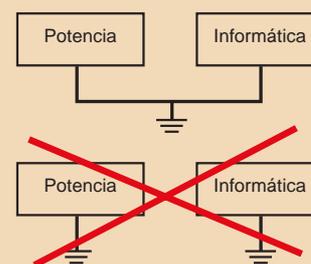
Si existen dos islotes yuxtapuestos, las redes enrejadas de cada uno de ellos se interconectarán en varios puntos. Los enrejados de islotes se conectarán a las estructuras accesibles del edificio.

En cualquier caso, la eficacia de la protección contra el rayo exige una buena conexión de la red de masa con el suelo a través de una toma de tierra de buena calidad (< 10 Ω), constituida en la medida de lo posible por un anillo en fondo de excavación.



Una sola tierra

Un edificio debe tener una sola toma de tierra.

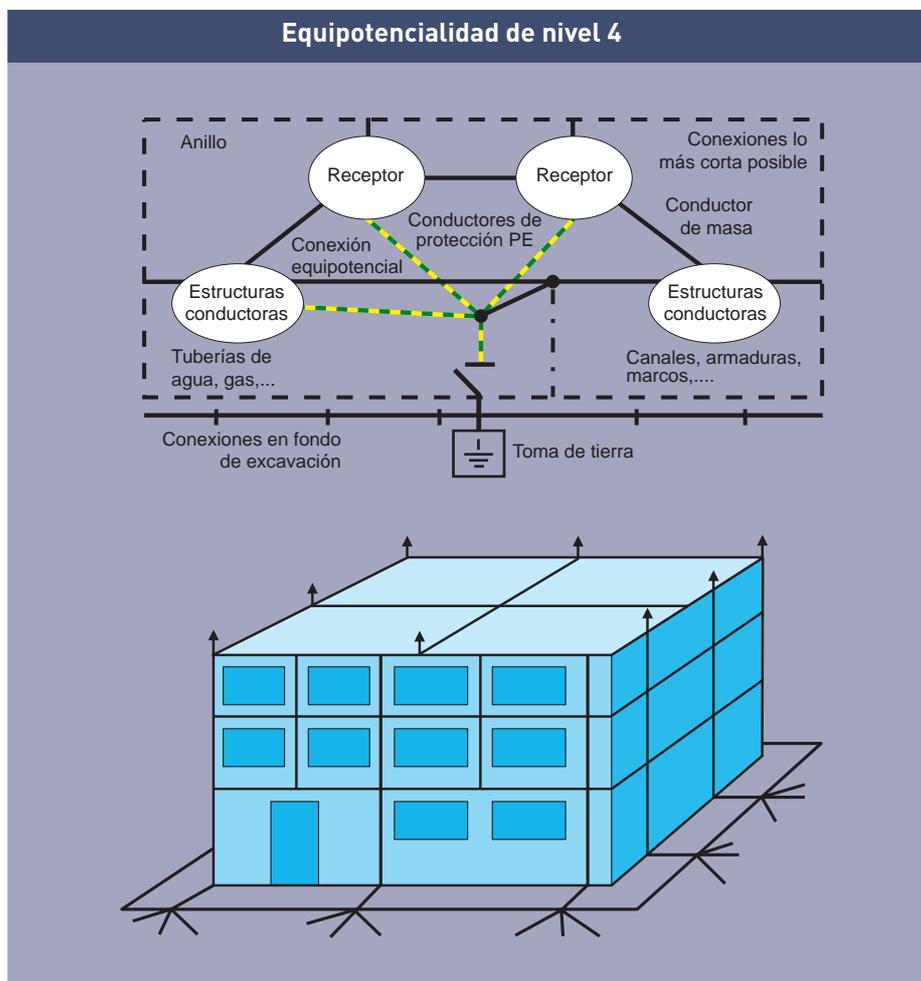


Debe prohibirse formalmente cualquier prescripción de tomas de tierra separadas en términos de tierra propia, de tierra informática. La tierra única constituye una referencia de potencial. Multiplicar el número de tierras es arriesgarse a que existan diferencias de potencial entre los diferentes circuitos (por ejemplo, en caso de rayo).

5 Equipotencialidad de nivel 4

En el nivel 4, los dispositivos para el enrejado de islote (nivel 3) se extienden a todo el edificio.

En cada piso se deberán constituir anillos periféricos; todas las estructuras conductoras, las armaduras del hormigón, las bajadas de pararrayos (en caso de protección por caja enrejada y varillas de captura), se conectarán entre sí, al igual que los conductores de tierra de los dispositivos de protección contra sobretensiones, los de conexión a tierra de las antenas y todos los conductores de conexión equipotencial. El conjunto del enrejado realizado se conectará al anillo de fondo de excavación en toda la periferia. La resistencia de la toma de tierra será la menor posible (< 1). Estas disposiciones se aplican en zonas con riesgo de caída de rayos y/o cuando los equipos a proteger son especialmente sensibles.



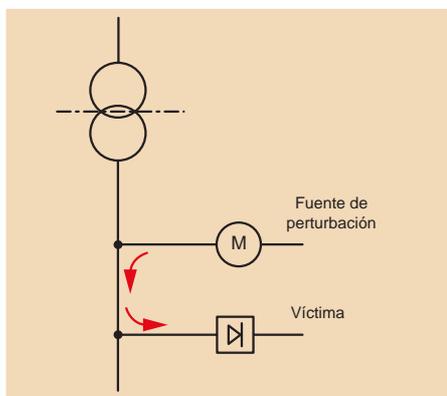
Los conductores de protección (verde / amarillo) deben estar dimensionados y conectados de forma que garanticen la protección de las personas. Nunca deben sustituirse por conexiones de la red de masa, cuya misión es mejorar la inmunidad CEM. En estas últimas conexiones no debe utilizarse la doble coloración verde / amarillo. Actualmente, el marcaje de las conexiones de masa todavía no está normalizado pero, a priori, tiende a generalizarse el uso del color negro.



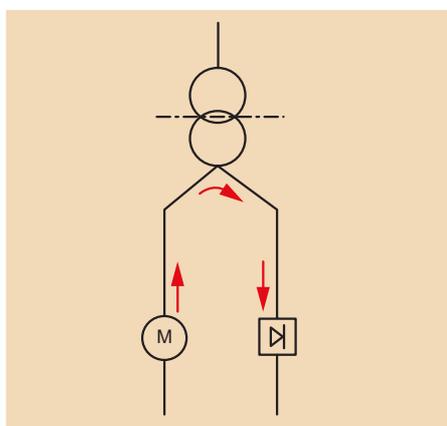
La realización de redes de masas ha sido objeto de numerosas obras, entre las que destacamos «Cableados de edificios profesionales», FranceTelecom., 1994. El documento EN 50174-2 indica reglas de planificación y puesta en práctica de instalaciones en el interior de edificios para los sistemas decableado de tecnologías de la información.

2 SEPARACION ELECTRICA DE LAS ALIMENTACIONES

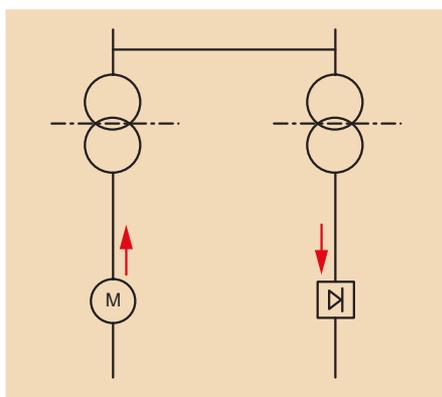
La alimentación común de los equipos permite que las perturbaciones circulen entre ellos. Es lo que se denomina acoplamiento galvánico o por impedancia común.



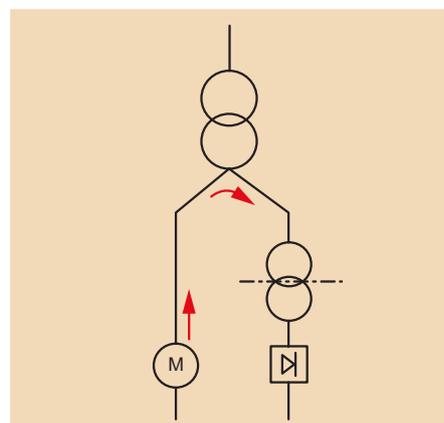
La primera regla de sentido común es por tanto no alimentar con la misma línea aparatos que pueden perturbarse mutuamente, por ejemplo aparatos perturbadores (motores, puestos de soldadura...) y aparatos sensibles (radio, informática...).



¡Atención! Esta práctica de las alimentaciones separadas (aparatos en estrella) presenta el inconveniente de disminuir la equipotencialidad de los aparatos entre sí cuando esta última sólo está garantizada por los conductores de protección (nivel 0 de equipotencialidad). Por lo tanto, se reservará a los aparatos que no hayan de comunicarse entre sí. En el caso de equipos muy sensibles o altamente perturbadores, podemos vernos obligados a separar realmente las alimentaciones.



Podemos encontrarnos con esta disposición cuando ciertas partes de la instalación (que deben funcionar de forma segura) están alimentadas por un ondulator o por una fuente de seguridad. La práctica más frecuente consiste de hecho en alimentar los aparatos sensibles (generalmente también los menos potentes) con un transformador de aislamiento.

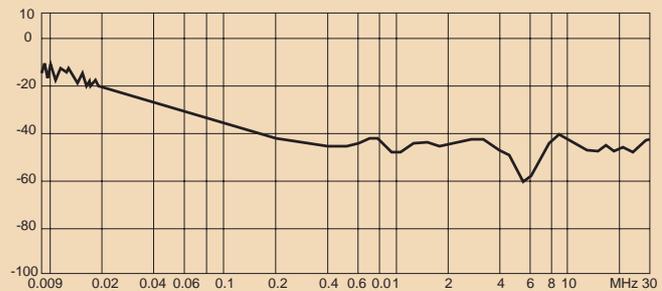
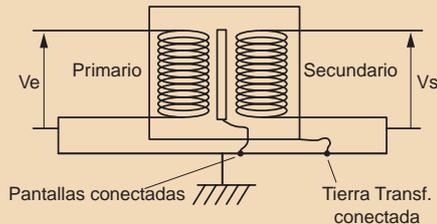


La separación de circuitos por transformador está fundamentalmente destinada a garantizar la protección contra contactos indirectos (véase el capítulo I.B.2), aunque también puede utilizarse el transformador como filtro de alimentación.

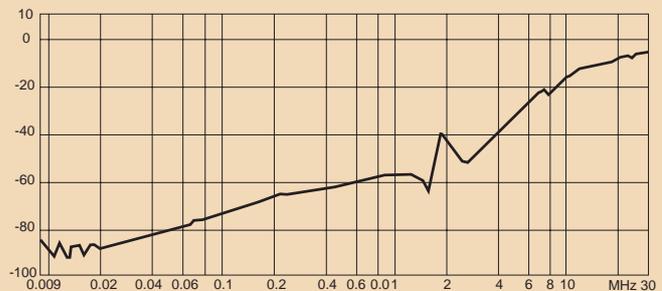
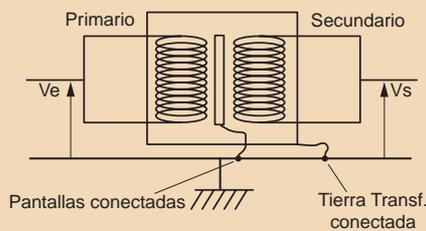


Características de atenuación de los transformadores

Las prestaciones de filtrado de un transformador se expresan mediante la relación de atenuación (en dB) de las perturbaciones entre las bobinas primaria y secundaria. En modo diferencial (con un punto conectado a tierra)



En modo común

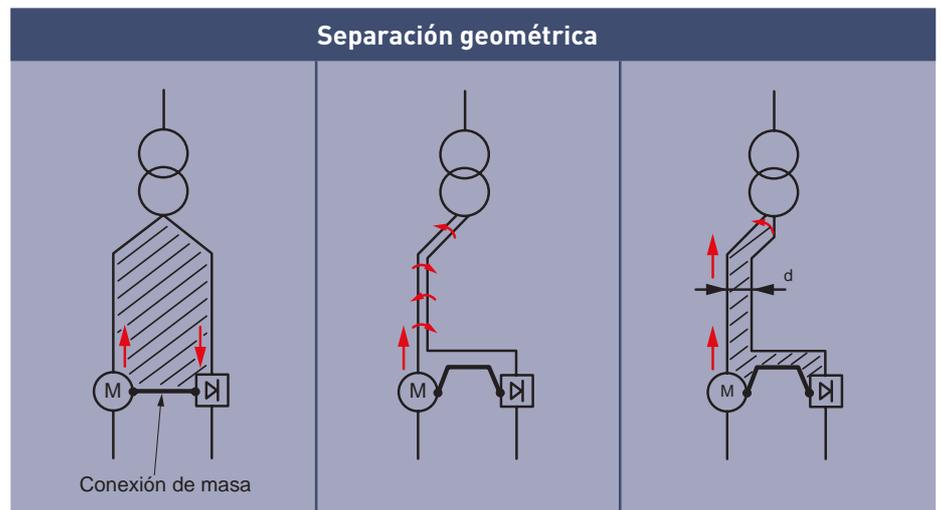


Las características de atenuación de los transformadores están fundamentalmente ligadas a las capacidades parásitas entre el primario y el secundario, entre el primario y el circuito magnético y entre el secundario y el circuito magnético. Dependen en gran parte de elementos físicos tales como la permitividad entre capas (características de los aislamientos) y de aspectos dimensionales (forma y altura de las bobinas, superficies enfrentadas). La instalación de una o varias pantallas entre primario y secundario mejora la atenuación. En modo común (la gran mayoría de las perturbaciones), el nivel de filtrado es generalmente excelente hasta una frecuencia de 1 MHz, incluso más en el caso de transformadores de pequeña potencia (algunos centenares de VA). Las prestaciones de atenuación disminuyen con la potencia, por lo que es preferible alimentar varios aparatos sensibles mediante transformadores pequeños que alimentar todo el conjunto con uno solo más grande.

3 SEPARACIÓN GEOMÉTRICA

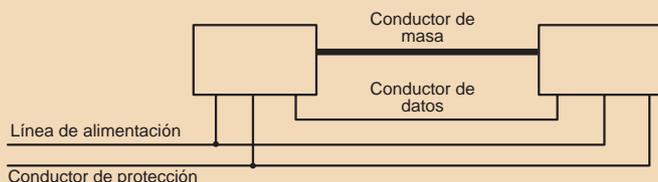
Del mismo modo que la separación eléctrica de las alimentaciones forma parte de las soluciones básicas, es necesario que esta separación sea geométrica a fin de limitar los acoplamientos entre las líneas perturbadoras y las perturbadas. En la práctica, la separación de líneas plantea el problema de la creación de bucles de gran superficie que pueden constituir a su vez fuentes de tensiones inducidas bajo el efecto de campos magnéticos. Por otro lado, hay que evitar que al tratar de reducir la superficie de los bucles las líneas queden demasiado cerca unas de otras.

Separación geométrica

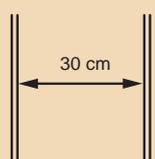




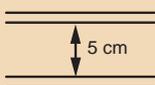
Debemos ser prudentes para evitar un alejamiento excesivo (varios metros) de los conductores de un mismo sistema. Siempre es preferible que todos los conductores (masa, datos, alimentaciones) discurren con «una cierta proximidad».



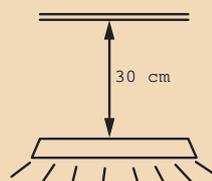
Fundamentalmente, deberán tomarse precauciones para contrarrestar la proximidad entre las corrientes fuertes (alimentación) y las débiles (datos). Con ese fin, se prescribe el respeto de distancias mínimas (véanse los esquemas adjuntos) o la utilización de conductores blindados.



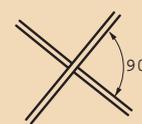
Circulación vertical



Circulación horizontal



Proximidad a una fuente de perturbaciones (motor, fluorescentes,...)



Cruce de conductores



El acoplamiento entre conductores depende de varios factores:

- la frecuencia de la señal perturbadora
- la longitud del recorrido común
- la distancia entre conductores.

La naturaleza de los conductores influye directamente en el acoplamiento:

- par trenzado para limitar la componente inductiva
- pantalla o blindaje para limitar la componente capacitiva.

Los conductores apantallados o blindados (tipo FTP o SFTP) no requieren distancias mínimas de separación. Es muy conveniente colocar los conductores no blindados (tipo UTP) lo más cerca posible de las masas para aprovechar el efecto reductor.



Las normas Europeas EN 50174-2 (UTEC 90-48 - 180-2) y NFC 15-100 (capítulo 444) presisan la separación física relativa a la cohabitación de corrientes fuertes y débiles. Las gamas de bandejas DLP son particularmente adecuadas para tales exigencias, permitiendo la compartimentación entre los diferentes circuitos.



Protección contra la corrosión

La herrumbre corroe el hierro, la piedra se deteriora, el vidrio se oscurece... el envejecimiento y el final son ineludibles para las obras humanas. Pero entre pirámides y chozas, hay un espacio de esperanza de vida en el cual las realizaciones de este siglo deben poder inscribirse.

1 LA PROTECCIÓN EN LOS DIFERENTES AMBIENTES

Determinar una protección adaptada a los materiales contra la corrosión necesita en primer lugar, el conocimiento del medio de instalación y los problemas propios a éste: interior, exterior, seco, húmedo, rural, industrial...

Los problemas suplementarios ligados a la actividad también pueden existir: agresiones químicas, golpes, gases corrosivos, lavados...

Finalmente la elección tecnológica, cuyo costo deberá verse con respecto al valor del objeto a proteger y de la durabilidad deseada para el objetivo de rendimiento de esta protección: decorativa, temporal, duradera, muy duradera e incluso inalterable.

1 La corrosión atmosférica

Podemos considerar que está relacionada con tres factores:

- La humedad del aire y el riesgo potencial de condensación.
- La presencia de contaminantes (cloruros, sulfatos)
- La presencia de gases corrosivos disueltos (dióxido de azufre, hidrógeno sulfurado, gas carbónico...).

Estos tres factores: agua, agente conductor y agente oxidante, van a permitir la creación de células de corrosión electrolítica o electroquímica. Siendo el agua el elemento de soporte, podemos considerar que en la atmósfera seca ($\leq 50\%$ de humedad relativa) el riesgo de corrosión será prácticamente nulo.

Al contrario, el riesgo será elevado (es decir, muy elevado) en las zonas húmedas con polución (regiones urbanas o industriales) o húmedas "conductoras" (regiones marítimas)

Entre las zonas secas y las zonas

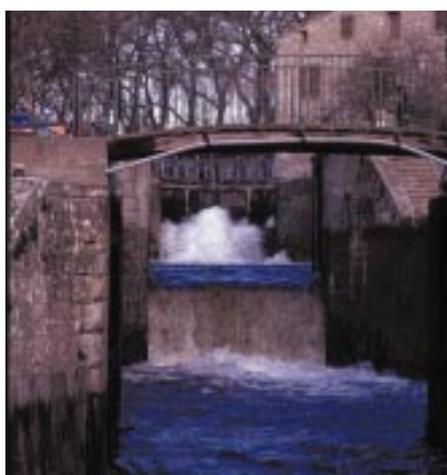
húmedas, la duración prevista de vida de una misma protección puede fácilmente variar en una relación 10: 5 años ó 50 años...

También debemos hacer notar que las instalaciones protegidas de la lluvia (tejados, hangares, garajes) y no calefaccionadas, están prácticamente sometidas a las mismas condiciones de agresiones corrosivas que en el exterior: gas y polución están presentes y el agua es provista por la condensación.

En las instalaciones interiores, el riesgo es innegablemente más débil, desde el momento en que los locales están calefaccionados regularmente (residencias, oficinas) por tanto no es necesario prever revestimientos muy resistentes del tipo galvánico o sistemas de multicapas de pintura. Sin embargo, la naturaleza de la actividad y la presencia humana son dos factores que no podemos omitir: la actividad puede ser a la vez, fuente de humedad (lavados frecuentes por ejemplo) y de polución o de contamina-

ción (química, laboratorios, agro-alimenticia, cocina, piscina cubierta...) La presencia humana, por el agua de la respiración, por la generación de ácidos orgánicos (láctico, úrico...) y por los riesgos de desgaste (en las zonas de paso constante y de manipulación), es un elemento agravante del deterioro que debemos considerar en los lugares públicos.

2 La corrosión acuática



Si el agua y la electricidad son "poco compatibles", siempre hay momentos en que numerosas instalaciones son sumergidas de manera continua o

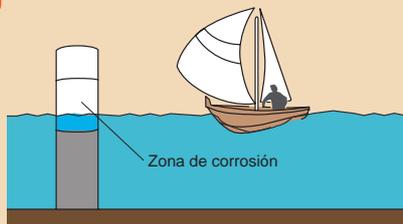
accidental y que muchos elementos mecánicos destinados a soportar las instalaciones (pilares, postes, pórticos, zócalos...) están sumergidos temporal o continuamente.

La naturaleza del agua, dulce, dura o salada tienen una influencia importante en la corrosión, al igual que su composición química, su oxigenación, su temperatura, su agitación o movimientos (salpicaduras, zonas de anegamientos). Los medios de protección pueden ser del tipo galvánico (depósito de un tratamiento metálico) o barrera (depósito de una capa orgánica estanca) o la combinación de las dos.

Para los tratamientos metálicos, el zinc utilizado en las aguas frías, cubriendo el sarro (calizas), más bien neutros o

alcalinos (pH > 6), se desaconsejará en las aguas calientes o con tendencia ácida; se preferirá entonces el aluminio. La zona de corrosión preferencial se sitúa generalmente al límite aire-agua o el fenómeno es ampliado por la presencia del oxígeno del aire y del disuelto en las primeras capas de agua.

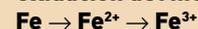
En el agua de mar temperada, la velocidad de corrosión del zinc alcanza 10 a 20 $\mu\text{m}/\text{año}$. De esto se desprende que, para obtener una protección duradera (10 a 20 años) o muy duradera (más de 20 años), será necesario aplicar revestimientos de zinc (galvanización en caliente) de 150 μm de grosor al menos en el primer caso o 250 μm en el segundo caso.



Reducción del oxígeno:



Oxidación del hierro:



Formación de herrumbre
 $\text{Fe}(\text{OH})_3$

El fenómeno se amplía cuando el oxígeno es renovado regularmente por la agitación o las variaciones de nivel (anegamiento).



Los fenómenos de corrosión en el agua, son quizás aún más complejos en el agua dulce que en el agua salada por lo que los medios de protección deben elegirse juiciosamente. Se recomienda el consejo de expertos.

La aplicación de recubrimientos combinados zinc/aluminio (por proyección térmica o utilización de elementos pre-tratados) permite normalmente una mejor resistencia.

Con el fin de evitar ataques locales debidos a la falta de grosor o a las discontinuidades del revestimiento y en también como el objetivo de facilitar un mantenimiento posterior, se aconseja aplicar un tratamiento llamado "de relleno" con base metálica (proyección

térmica de zinc, pintura rica en zinc) o con base orgánica (epóxido).

El refuerzo de la protección podrá ser hecho por la aplicación de revestimientos estancos gruesos tales como pinturas bituminosas.

En función de la duración de vida prevista de la obra, habrá siempre interés en prever un mantenimiento regular antes de que se produzcan ataques irreversibles o difícilmente reparables que corren el riesgo de comprometer la durabilidad.

3 La corrosión telúrica (en el suelo)

Las construcciones metálicas en contacto con el suelo se someten a fenómenos de corrosión propios que dependen de la naturaleza del suelo, de su contenido en minerales y en elementos orgánicos, de la humedad y la cantidad de oxígeno.

Los suelos calcáreos o arenosos (fuera de las arenas marinas) son menos corrosivos que los suelos arcillosos o humíferos.

Los primeros son con tendencia alcalina ($\text{pH} > 7$) y los segundos con tendencia ácida ($\text{pH} < 7$).

Los revestimientos a base de zinc no son aconsejables en suelo demasiado ácido, se preferirán los a base de aluminio.

Los suelos que hayan sido perturbados (terraplenes) son menos homogéneos y la corrosión puede ser más importante. La presencia de bolsas de aire (nombradas células de ventilación diferencial) crea zonas de corrosión química con la humedad presente.



Podrá referirse a los documentos extranjeros especialmente confeccionados:

NF EN ISO 11306 "Exposición y evaluación de los metales y aleaciones en la superficie del agua de mar"

A05-611 "Protección catódica de los refuerzos del hormigón – obras enterradas y sumergidas"

A05-655 "Medida y neutralización de las influencias eléctricas debidas a las corrientes vagabundas de origen industrial"



El establecimiento de las tomas de tierra

Por definición en contacto con el suelo, las tomas de tierra requieren precauciones especiales para garantizar su durabilidad.

Los materiales utilizados deben a la vez ser buenos conductores, conservar una superficie conductora y resistir finalmente a la corrosión para cuidar su integridad física. El hierro no protegido no se admite al igual que los metales ligeros (aluminio ⁽¹⁾).

Los metales recubiertos de una envoltura de plomo son utilizables así como el acero galvanizado (estacas, flejes ⁽²⁾). Finalmente se recomienda el cobre (cables, flejes).

Riesgos de corrosión especiales e importantes deben temerse en los terrenos recorridos por corrientes permanentes (circuito de vuelta de tracción por ejemplo). Las tomas de tierra serán objeto de estudios específicos.

Las tomas de tierra pueden ser establecidas por conductores ocultos horizontalmente (trincheras, cierres a fondo de excavación), por placas finas (flejes) enterradas verticalmente, por unas o más estacas conectadas ocultadas verticalmente.

Cada método presenta calidades e inconvenientes pero es posible utilizarlos conjuntamente para hacer bajar el valor de la toma de tierra.

Los conductores ocultos horizontalmente pueden constituir un encintado sobre todo el perímetro del edificio, favorable en términos de CEM y de conexión de los pararrayos (grandes superficies de influencia). Colocados en la construcción, no requieren nivelación específica pero hacer el relleno de las trincheras con cuidado, sin esfuerzo mecánico y con tierra arable susceptible de retener la humedad; evitar piedras, arenas, cementos y distintos residuos de obra. Las placas finas permiten aumentar la superficie de contacto de la toma de tierra en los terrenos poco conductores pero requieren la excavación de trincheras.

Por último, las estacas permiten el establecimiento de toma de tierra, sin trabajos, y sin modificar la estructura del suelo. Su longitud puede permitir alcanzar capas del suelo de más baja resistencia. Los efectos de la sequía o de la helada que puede aumentar peligrosamente la resistencia de tierra pueden ser evitados por estacas profundas (3 m).

(1) La alúmina formada en superficie es aislante

(2) Prever un grosor de zinc suficiente (> 100 µm) en suelo con tendencia ácidas (arcillas).
Evitar en suelos ácidos (turbas).



La corrosión en el hormigón

La alcalinidad del hormigón prohíbe su contacto directo con el aluminio o los revestimientos a base de aluminio. Un tratamiento estanco y continuo debe entonces aplicarse sobre el metal.

La utilización de refuerzos o el sellado de elementos zincados (o galvanizados) se recomiendan si el hormigón sigue estando muy seco (fuera de agua, en capa o pintado) o si no es contaminado por cloruros (agua de mar).

Los revestimientos de zinc pasivos o cromatados son también preferibles ya que limitan el comienzo de la corrosión. La corrosión de los refuerzos en acero desnudo en el hormigón es objeto de normas de puesta en vigencia precisas (vínculos, distancias de las caras externas). La corrosión puede ser detenida o también retrasada por medios hidrófugos (membranas, pinturas) que impiden la penetración del agua, del oxígeno y de los cloruros o por protecciones catódicas más o menos elaboradas: ánodos hechos con trenzas de titanio, de capas conductoras, de pinturas con grafito o metalización del zinc.

La circulación de corriente eléctrica espontánea (polarización galvánica) o aplicada (por un generador externo) dirige la corrosión del refuerzo en acero sobre el ánodo que se sacrificará.

2 LA CONCEPCIÓN PRACTICA DE LOS ELEMENTOS A PROTEGER

Las instalaciones eléctricas requieren a menudo realizar y poner en ejecución obras metálicas destinadas al soporte de los conductores (garfios, escuadras...), a la fijación de las cajas y armarios (pórticos, postes...) y a muchas otras funciones que son necesarias de adaptar en cada caso. Las siguientes recomendaciones, datos como consejo, no tienen valor contractual frente a la resistencia a la corrosión; llaman simplemente la atención sobre algunas precauciones elementales que hay que tener.

1 Formas, estorbos y accesibilidad de las piezas

Según el método de protección elegido (baño de galvanización, proyección térmica, pintura al cepillo o pintura a pistola...) las partes concebidas deberán permitir una manipulación y un acceso fáciles. En la medida de lo posible, los cuerpos huecos deberán poder ser

alcanzados por la protección: entrada de zinc, evacuación de gases y drenaje para la galvanización, dimensiones máximas del cuerpo hueco para la pintura a pistola.

Para los cuerpos huecos inaccesibles (tubos, perfiles), la corrosión interna puede prácticamente limitarse volviéndolos completamente estancos por soldadura continua. Atención, en caso de protección por galvanización, el taponado total no deberá hacerse hasta después del tratamiento (riesgo de explosión), tapones u obturadores flexibles pueden utilizarse. Las piezas no deberían presentar zonas de retención susceptibles de acumular agua y contaminación. Esto debe comprobarse especialmente para los intervalos estrechos.

Si deben armarse superficies planas, será preferible proteger separadamente antes del montaje; penetraciones posteriores por capilaridad siempre pueden producirse.

Los juegos entre piezas deberán tener en cuenta los grosores de tratamiento y, en particular, de galvanización. Eso es especialmente verdadero para las partes traslapadas que deben trabajarse a máquina o elegirse con una tolerancia suplementaria.

Las aristas vivas son la principal causa de esbozo de corrosión. Por una parte, los tratamientos y pintura se depositan en cantidad más escasa, y por otra parte son sensibles a las agresiones mecánicas. Utilizar de preferencia secciones arqueadas o dobladas y redondear todos los ángulos vivos (pulir, amolar) antes del tratamiento de superficie.



Aristas vivas y tornillos son la sede a menudo de las salidas de corrosión

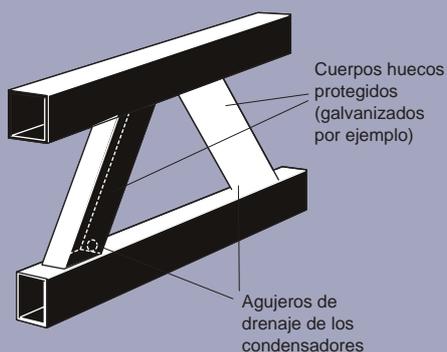


Corrosión de un cuerpo hueco mal protegido

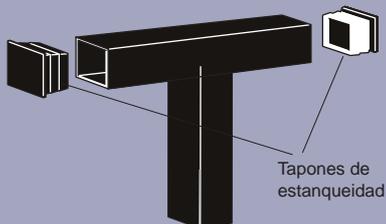


Corrosión debida a la retención entre partes unidas y no apretadas

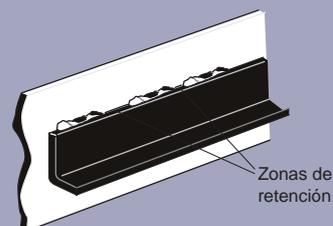
Ejemplos prácticos



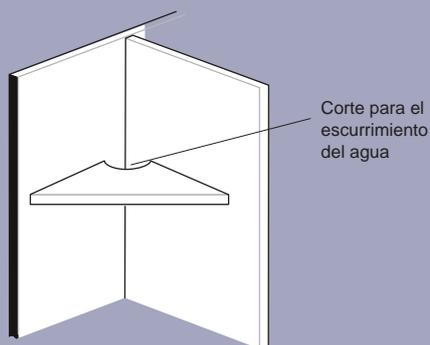
Elemento de pórtico



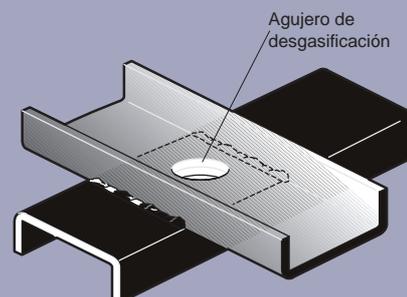
Cuerpo hueco no protegido



Instalación de un refuerzo: realizar un cordón de soldadura continuo o depositar un cordón de estanqueidad entre las dos piezas



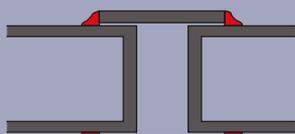
Soportes y refuerzos



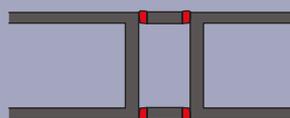
Montaje de perfiles: los agujeros de desgasificación son indispensables para la galvanización en caliente (galvanización)



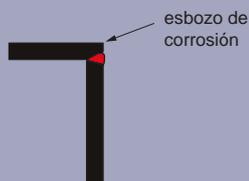
Evitar las zonas de recubrimiento...



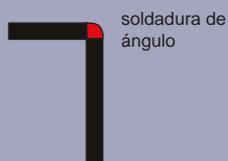
preferir la soldadura borde a borde



evitar los ángulos vivos...



preferir las soldaduras de ángulo o los ángulos doblados



2 Preparación de la superficie

El estado de preparación deberá corresponder a las exigencias del tratamiento de protección aplicado.

En todos los casos, las superficies deberán estar limpias, secas, libres de polvo y manchas. Deberá efectuarse un desengrasado aseado. Los solventes, no aconsejados por su toxicidad, podrán ser sustituidos por soluciones acuosas alcalinas (lavaza de soda) seguidas de varios enjuagues y de un cuidadoso secado.

Se retirará toda forma de herrumbre. Los rastros de herrumbre adherentes podrán ser lijados o químicamente convertidos por tratamiento. Estos consejos se refieren esencialmente a una preparación manual; resultados superiores son obtenidos por tratamientos de superficies industriales (fosfatación, cromatación...) pero requieren de medios más pesados.



La norma ISO 8501-1 propone distintos modelos que permiten determinar el estado de preparación visual de una superficie después de operaciones de descalaminado, chorro con gravilla o arenado.

La norma ISO 8503-1 permite determinar el perfil de superficie buscada.

3 Soldaduras y montajes

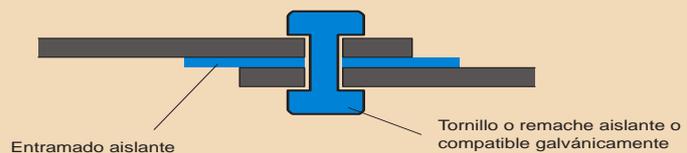
Aunque estén realizadas por soldadura, por tornillos, por remaches, las uniones entre elementos son muy a menudo fuente de corrosión por varias causas. Las operaciones de soldadura, excepto si se hacen bajo atmósfera controlada (argón) aportan y queman mucho oxígeno, corren el riesgo de desarrollarse zonas de corrosión preferenciales en las soldaduras. Si se efectúan algunas soldaduras después del tratamiento de superficie, esto que se desaconseja, será imprescindible restaurarlo (zinc a frío en aerosol, pintura rica en zinc...).

Los montajes crean muy a menudo zonas de retención o volúmenes cerrados en los cuales las protecciones son difíciles de aplicar pero donde se acumulan el agua y los agentes.

Las fabricaciones (perforaciones, en particular) para la instalación de remaches o pernos son causas también de iniciación de corrosión: destrucción local de los tratamientos (raramente restaurados en los agujeros), creación de virutas y polvo difíciles de eliminar y muy reactivas a la corrosión, ángulos vivos e incluso rebanados sobre los bordes trabajados a máquina.

Por la yuxtaposición de metales diferentes, los montajes pueden crear pares electroquímicos especialmente desfavorables (aluminio/acero, zinc/inox, cobre/zinc...). Una reflexión que debe considerarse también para la quincallería utilizada: tornillos (acero, inox, latón...) remaches (cobre, aluminio, acero...) discos...

Recomendaciones para montajes de los metales



Naturaleza de los elementos que deben armarse	Naturaleza de las piezas de montaje ⁽¹⁾		
	Recomendado	Posible	No aconsejable
Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Latón riquelado Cobre	Acero zincado Aluminio Acero desnudo Latón estañado
Acero Desnudo	Latón Acero estañado	Cobre Aluminio	Acero inoxidable
Cobre	Cobre Latón desnudo Latón riquelado Latón estañado	Latón estañado Acero estañado Acero zincado bicromatado Acero inoxidable	Acero zincado Aluminio
Acero Zincado o Galvanizado	Acero zincado Acero zincado bicromatado	Acero estañado Latón riquelado	Acero inoxidable Cobre Latón

(1) materiales más corrientes para la fabricación de los tornillos, remaches, discos y quincallería.

Las recomendaciones dadas serán más importantes mientras la atmósfera sea más húmeda o corrosiva.

3 ESTIMACION DE LA DURACION DE VIDA PROVISIONAL

El término mismo de duración de vida es poco seguro por lo tanto, es importante precisar bien si designa:

- la duración antes del primer mantenimiento
- la duración antes de las primeras reparaciones importantes
- la duración antes del cambio de elementos
- la duración antes del estado de ruina.

Contratos y garantías a menudo no son bastante explícitos sobre este punto. Está claro que la duración de los sistemas de protección, pinturas y tratamientos de superficie es muy dependiente de la calidad, la preparación y la realización inicial y a la continuación de las condiciones precisas de exposición a las cuales dificultades suplementarias pueden añadirse (choque, manipulación, abrasión, agentes corrosivos particulares...).



Desprendimiento radial de la película de pintura a raíz de un choque
 Este tipo de fenómeno accidental puede disminuir notablemente la duración de vida de la protección



Desprendimiento de la pintura de acabado debido a una incompatibilidad entre las capas



Duración de vida provisional

- **"antes del primer mantenimiento"**
designa la duración antes de las primeras pequeñas reparaciones (retoques sobre ángulos, raspadura y relleno sobre algunas ampollas, re pintado de algunos elementos (tornillos por ejemplo). Las operaciones de limpieza, de sacar la espuma, dependiendo del mantenimiento corriente, ni se refieren las reparaciones vinculadas a un ataque accidental
- **"antes de las primeras reparaciones importantes"**
designa la duración al término de la cual será necesario volver a poner generalmente la pintura sobre la totalidad o parte de la obra. Éste encontrará entonces su destino inicial y una nueva duración de vida que será necesario precisar
- **"antes del cambio de elementos"**
designa la duración antes de la sustitución normal o prevista (partes de desgastes) de algunos elementos. Ánodos sacrificados (de zinc o magnesio) pueden estar incluidos en tal operación
- **"antes del estado de ruina"**
designa la duración más allá de la cual se considera que la obra no garantiza ya su función correctamente y ya no es reparable.

Tratamiento y recubrimientos en función de las condiciones de exposición

El siguiente cuadro da "con carácter orientador" algunos ejemplos de tratamientos de superficie o recubrimientos y sistemas de pinturas por un período de tiempo de vida objetivo de 10 años antes del primer mantenimiento.

Condiciones de exposición (véase la página 61 - 62)	Tratamientos de superficie	Recubrimientos y sistemas de pintura ⁽¹⁾
Exterior Marino	Z > 70 μm	2 capas primarias en zinc (50 μm) + 2 capas intermedias (60 μm)
Exterior industrial	Z > 100 μm	+ 2 capas de terminación (150 μm) 2 capas primarias ricas en zinc (50 μm) + 2 capas intermedias (60 μm)
Exterior urbano	Zn 20 C Z 350/Z 450	+ 2 capas de terminación (150 μm) 1 capa primaria rica en zinc (30 μm) + 1 capa intermedia (30 μm)
Exterior rural	(25 a 30 μm) Zn 15 C Z 275/Z 350 (20 a 25 μm)	+ 2 capas de terminación (120 μm) 1 capa primaria rica en zinc (30 μm) + 2 capas de terminación (120 μm) Z 140 + capa primaria (30 μm) + 2 capas de terminación (120 μm)
Interior agresivo	Zn 15 C Z 200/Z 275 (15 a 20 μm)	Z 140 + capa primaria (30 μm) + 2 capas de terminación (120 μm)
Interior húmedo	Zn 10 C Z 140 (10 μm)	Ez 5 + 2 capas de terminación (120 μm) Z100 + 1 capa primaria (30 μm) + 1 capa de terminación (50 μm)
Interior seco	cEz 5 Zn 5C Zn 10B Z 100	EZ 2,5 + 1 capa de terminación 1 capa primaria (20 μm) + 1 capa de terminación (50 μm)

(1) Acabado a base de resina gliceroftálico en interior y a base de poliuretano en exterior

Designación de las abreviaturas:

Zn xxB o Zn xxC: galvanización electrolítica de grosor mínimo xx en μm según los valores preferenciales la norma NFA 91010, cromatación B (blanco) o C (irisada amarilla verde o bicromada) según NF A 91472
EZxx: electro zincado de grosor nominal xx en μm .
Zxxx: galvanización en caliente con peso de capa xxx en g/m² doble faz.



Sistema de pintura

La superposición de capas de pintura no debe hacerse sin precauciones. Argamasas y pigmentos, algunas de entre ellas, son incompatibles. Por esto, los fabricantes pusieron a punto "sistemas de pintura" adaptados a los distintos usos.

- **Capa primaria:** se aplica directamente sobre el metal, su papel es inhibir el proceso de corrosión y garantizar la fijación de las capas siguientes (impresión fosfatada sobre acero, pintura reactiva o mano de fondo antioxidante sobre galvanizado...)
- **Capa intermedia:** garantiza la conexión entre la capa primaria (si existe) y la capa de terminación. A menudo se encarga de pigmentos o coadyuvantes destinados a reforzar su impermeabilidad y su carácter anticorrosivo (polvo de zinc, aluminio...)
- **Capa de terminación:** debe resistir a los agentes del medio ambiente (UV, agua, gas...) y a las dificultades mecánicas. Debe ser lo más estanca y continua posible. La multiplicación de las capas de terminación es pues siempre ventajosa para el comportamiento del sistema.

La película seca de pintura nunca es perfectamente estanca y el grosor total debe ir creciendo con la agresividad del medio, por ejemplo: 70 μm en interior seco, 180 μm en exterior urbano y 250 μm en exterior marino.



El sistema de pintura de los armarios Altis y XL-A, de grosor total 90 μm , tiene resultados a los menos equivalentes a un sistema clásico de grosor total 200 μm .



Tipos de corrosión

Las normas ISO 14713 (recubrimientos de zinc y aluminio) e ISO 12944-2 (anti corrosión de las estructuras en acero por sistemas de pintura) establecen una clasificación de la corrosión del medio basada en la velocidad de disolución del zinc: pérdida de masa o de grosor por año de exposición.

Tipos de corrosión	Pérdida de masa (g/m^2)	Pérdida de grosor (μm)
C5 M muy elevado (marina)	> 30 y ≥ 60	$> 4,2$ y $\geq 8,4$
C5 I muy elevado (industria)	> 30 y ≥ 60	$> 4,2$ y $\geq 8,4$
C4 elevado	> 15 y ≥ 30	$> 2,1$ y $\geq 4,2$
C3 medio	> 5 y ≥ 15	$> 0,7$ y $\geq 2,1$
C2 escaso	$> 0,7$ y ≥ 5	$> 0,1$ y $\geq 0,7$
C1 muy débil	$\geq 0,7$	$\geq 0,1$



Recubrimientos de pintura sobre el acero zincado o galvanizado

Al ejemplo de las chapas perfiladas o pre pintadas, utilizadas para la elevación y la cobertura de los edificios, los sistemas de protección (tratamiento al zinc + pintura) activados en procesos industriales permiten una excelente durabilidad. Por el contrario, el ponerlo en pintura de superficies zincadas y además las superficies galvanizadas requieren precauciones para evitar el desprendimiento total de la película de pintura.



Desprendimiento típico de las películas de pintura depositadas sobre el acero galvanizado.

El zinc es un metal que sigue siendo muy reactivo. Las capas de recaudación deben ser perfectamente estancas para evitar la penetración del agua y del oxígeno.

Se aconseja esperar que el zinc se apacigüe (véase página 68) y esté cubierto de una pátina natural antes de pintarlo. El comportamiento de la pintura sobre galvanización puede ser comprometido por la presencia de plomo antiadherente por naturaleza. Ésta puede ser vista por el polvo de la superficie.

En todos los casos, se recomienda la aplicación de una capa primaria específica sobre zincado o galvanizado. Según los fabricantes, se hará con o sin avivamiento de superficie.

4 LAS PRUEBAS DE CORROSIÓN

Las posibilidades de exposición a las condiciones reales del medio ambiente, los medios de medirlos y de registrarlos y sobre todo el tiempo necesario hacen que la búsqueda de pruebas aceleradas representativas siempre han estado presente en el estudio de los mecanismos de corrosión.

Se sabe que la exposición de los materiales o la utilización de los productos prueban éstos en función de factores múltiples y complejos: geometría, porosidad, estado de superficie, adherencia, manchas, abrasión, agente químicos, frecuencia y procedimiento de limpieza, exposición solar, variaciones de temperatura y humedad... Para eso, es primordial elegir una prueba acelerada que simula mejor a la exposición real pero por la misma razón, es inútil pensar que la prueba acelerada será perfectamente representativa de ésta.



En cuanto a pruebas aceleradas de la corrosión, la prudencia incita a menudo a decir que no existe relación directa entre los resultados obtenidos y el comportamiento real de los productos sujetos a las condiciones de utilización sino que malos resultados permiten predecir un comportamiento mediocre.

El enfoque de las pruebas de corrosión es sobre todo comparativo. El análisis de los resultados se hace por informe con soluciones previas, conocidas y probadas o por la elección entre dos soluciones en una prueba simultánea.



La calificación de un sistema de tratamiento o recubrimiento debería, preferiblemente, hacerse sobre productos enteros y completos para tener en cuenta los fenómenos de corrosión debidos a la acumulación de agua, a los pares galvánicos o al confinamiento húmedo. En la práctica, se utilizan a menudo probetas por tanto, es necesario estar consciente del límite de su representatividad.

1 Los métodos de prueba

Se cuenta al menos una veintena. Algunas recurren a un único agente de agresión (sal, ácido, gas) generalmente en combinación con la humedad, mientras que otros se basan en secuencias que alternan los períodos de exposición (niebla salina, luego ultravioleta, luego humedad, luego dióxido de azufre... por ejemplo). Estos segundos tipos, nombrados pruebas compuestas quieren ser más representativos, pero su interpretación es aún más difícil. Numerosas pruebas han sido y son aún desarrolladas por las automotoras (General Motors, Scab Prueba, Volvo prueba, prueba Hoogovens).



una de las zonas de envejecimiento natural de los envoltorios Legrand con estación meteorológica de registro.



Se exploran varias vías de investigación para un mejor conocimiento de la corrosión y su simulación en laboratorio:

- "el enfoque metalúrgico" que se refiere al estudio estructural y analítico de los productos de corrosión y la interfaz metal/capa de pasividad
- el desarrollo de "monitores de corrosión" constituidos de distintos metales asociados en condiciones determinadas (electrolito, temperatura, duración...) de los cuales se mide la producción de corriente galvánica
- estudios sobre un enfoque termodinámico de los equilibrios película humedad atmósfera a la superficie del metal.

El tema corrosión está en permanente actualidad.



Si la rapidez de las pruebas de simulación es indispensable en el desarrollo y en el control de la calidad, la exposición en atmósfera real in situ establece indudablemente las respuestas más seguras. ¡Desde luego que toman tiempo, pero los años pasan rápidamente!



Las principales pruebas de corrosión

- La prueba a la niebla salina (BS): es la prueba más ampliamente utilizada y también el que tiene las aplicaciones más extensas.

Resultante de la norma americana ASTM B 117 y recogidas por las normas NFX 41-002, CEI 60068-2-11 (pruebas Ka) e ISO 9227 (pruebas NNS), consiste en la pulverización de una solución salina (5% de NaCl) en una habitación mantenida a 35°C y a una saturación de humedad. Los resultados se obtienen en algunas horas para los sistemas menos protectores y hasta varios centenares de horas para los más potentes.

- La niebla salina se adapta especialmente para evaluar las calidades de adherencia de las pinturas, y para probar la corrosión de los aceros inoxidables y los recubrimientos de anodización del aluminio. Se utiliza también para los recubrimientos de zinc, níquel, cromo sobre los minerales, pero la interpretación debe ser prudente ya que pueden producirse los fenómenos de relleno. Las pruebas ASS (niebla salina acética) y CASS (niebla salina cítrica) también descritas por la norma ISO 9227 (NF A 05-101) son alternativas de la prueba de base. La primera se utiliza para aumentar la severidad de la prueba, más especialmente sobre los no ferrosos o incluso los plásticos, la segunda se utiliza para los depósitos de cobre/níquel/cromo.

- La prueba al dióxido de azufre (SO₂): basada en un mecanismo de ataque ácido, esta prueba tiene la ventaja de desarrollar aspectos de corrosión similares a los que se observan sobre partes que sufren la exposición atmosférica industrial. La interpretación debe seguir siendo muy prudente ya que la prueba es agresiva (formación de ácido sulfúrico) y no considera a los numerosos otros agentes (óxido nitroso, cloro, amoníaco, halogenuros...) presentes en la atmósfera. La prueba al dióxido de azufre se describe en la norma ASTM B 605, en la norma DIN 50018 (prueba Koesternich), a ISO 3231, NF T 30-055 y CEI 6068-2-42 (prueba Kc). Algunas diferencias pueden tenerse en cuenta entre estas normas, en particular, sobre la duración de exposición y su periodicidad, continua o alterna o la concentración en gas. Las pruebas al dióxido de azufre se utilizan sobre los depósitos de estaño/níquel sobre los minerales y no ferrosos, en particular, para los materiales de contacto eléctrico (pruebas KC a muy baja concentración de CEI 60068-2-60). Las pruebas SO₂ son útiles para detectar muy rápidamente las imperfecciones o discontinuidades de la superficie por la aparición de picaduras. Ponen en relieve también una posible contaminación del acero inoxidable por minerales.

- Las pruebas en atmósferas húmedas:

Encuentran una amplia aplicación para todos los recubrimientos destinados a usos interiores o en lugares húmedos albergados donde el agua puede condensarse.

Numerosas alternativas de estas pruebas existen según los productos, con o sin la adición de agentes complementarios y según las modalidades de prueba. Se pueden citar las pruebas sin interrupción (CEI 60068-2-3 y 60068-2-56), las pruebas cíclicas (CEI 68-2-30) o las pruebas compuestas (CEI 68-2-38) con alternancias de calor, humedad y frío.

La acción corrosiva de tales pruebas permanece generalmente limitada, pero pueden afectar algunas características (aislamiento) o deteriorar materiales orgánicos (pinturas, plásticos).

NOTA: Las indicaciones normativas de este cuadro son de origen internacional.



Prueba a la niebla salina



Prueba al dióxido de azufre



Prueba en atmósfera húmeda

2 La duración de exposición en prueba

A pesar de la dificultad de establecer una relación directa con las condiciones reales, es necesario establecer una gradación en la severidad de la prueba destinada a reflejar la agresividad de los distintos medios de utilización: la duración de exposición se considera generalmente como parámetro de ajuste. Las normas de pruebas no estipulan duraciones de prueba; éstas deberían ser fijadas por las normas de productos. Recomiendan simplemente valores preferenciales, por ejemplo: 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h, 1000 h, para la niebla salina.



La duración de exposiciones refleja también los valores objetivos de comportamiento y el nivel de calidad contemplado por los fabricantes.

Valores indicativos de duración de pruebas aplicables en función de las condiciones de exposición

Condiciones de exposición	Niebla salina (prueba Ka)	Dióxido de azufre (prueba Kc)
Exterior marino	2000 h	
Exterior industrial severo	1000 h	1000 h
Exterior industrial	1000 h	500 h
Exterior urbano	500 h	250 h
Exterior rural	250 h	
Interior húmedo agresivo	500 h	168 h
Interior húmedo		
Condensación frecuente	168 h	96 h
Interior seco		
Condensación temporal	48 h	
Interior seco	24 h	

3 La interpretación de resultados

La naturaleza de la prueba y duración de exposición no son suficientes para fijar los resultados que deben obtenerse: muchas condiciones son demasiado vagas sobre este punto, dejando la libertad a la sensibilidad o a la interpretación de cada uno.

- La aparición de "herrumbre blanca"
Esencialmente destinada a evaluar las capas pasivas de los tratamientos a base de zinc, aluminio o cadmio, la aparición de herrumbre blanca se evalúa en porcentaje de superficie deteriorada después de pruebas de exposición a la niebla de 6 a 168h.

- La aparición de "herrumbre roja"
Permite evaluar la calidad de las capas de protección catódicas como el zinc aplicado sobre el hierro. El resultado se expresa en porcentaje de superficie atacada después de aplicación de la prueba.



Criterios de medida e interpretación de los resultados deben precisarse para la prueba elegida con la duración de exposición, el estado de las partes que deben probarse y las condiciones de muestreo.

- El grado de picaduras
Se caracteriza por el número de lesiones del revestimiento por unidad de superficie. La medición se realiza según los patrones de la norma internacional ISO 1462. Esta medida está destinada a los revestimientos anódicos como níquel, cromo sobre hierro, por ejemplo.

- El grado de moho
Este método de evaluación puede utilizarse para los tratamientos anódicos o catódicos pero se adapta sobre todo a los recubrimientos de pinturas. La valoración del grado de moho RI 0 a RI 5 se hace según los tópicos de la norma internacional ISO 4628/1 (NF T 30-071).

- El grado de abolladura
Se caracteriza por el número de ampollas

y sus dimensiones aparecidas sobre una superficie (porosidad, discontinuidades, insuficiencias de grosor o mala preparación). Los patrones tipos son igualmente descritos en la norma internacional ISO 4628/1 (NFT 30-071).

- El grado de desconchadura
Aplicable a las pinturas que se quitan por películas. Los criterios de valoración son dados por la norma internacional ISO 4628/5 (NF T 30-080).

- El grado de maquila
Valoración cualitativa bastante difícil (norma Francesa NF T 30-081).

- A partir de una herida, la propagación de la muestra probada se excluye previamente con una punta (apoyo). Después de la exposición a la prueba, niebla salina en general, la propagación de la corrosión es evaluada por la anchura de metal puesto al desnudo a partir de la cruz.

El medio de desprendimiento del recubrimiento no adherente debe precisarse (cinta adhesiva, aire comprimido, raspador...). Este criterio es difícil pero representativo de condiciones reales de heridas o choques.



Ejemplos de tópicos-tipo extraídos de la norma ISO 4628

Grado de moho



RI 1



RI 3



RI 5

Grado de abolladura (ampollas de dimensión 5)



Grado 3



Grado 4



Grado 5

Protección contra el rayo

Por naturaleza, energético e inesperado, el choque de rayo tiene a menudo consecuencias dramáticas para las instalaciones eléctricas. Y aunque los métodos no son completamente infalibles, la evaluación de los riesgos y de sus consecuencias es indispensable.

Los pararrayos, contra los efectos directos, y los limitadores de sobretensión contra los efectos indirectos estos ofrecen una protección eficaz si son elegidos juiciosamente y han sido instalados correctamente; planteamiento que debe pasar cuanto antes por una consideración de la concepción para integrar las exigencias: longitudes de líneas, tomas a tierra, redes equi-potenciales...

1 LA ESTIMACION DE RIESGOS Y LAS CONSECUENCIAS

Preliminar a la instalación de dispositivos de protección contra el rayo, la estimación del riesgo se basa en el análisis de varios criterios:

- La probabilidad de fulminación de la zona
- El método de propagación del choque de rayo
- La topografía del lugar
- La naturaleza de los materiales que deben protegerse y su sensibilidad propia
- El costo de las consecuencias de la no disponibilidad de los equipos.



La instalación de pararrayos de punta corre el riesgo de aumentar los efectos indirectos: debe acompañarse, entre otros, de la instalación de pararrayos de línea.



La guía Española UTE C 15-443 (julio de 1996) en curso de revisión, proponía un método de evaluación del riesgo basado en una fórmula empírica de cálculo que permitía determinar el factor F de exposición al riesgo:

$$F = Ng (1 + 2 BT + HTA + \delta)$$

Ng: densidad de fulminación local
BT: longitud de la línea aérea que abastece la instalación en km (más allá de 0,5 km, BT = 0,5)
HTA: factor vinculado al tipo de red que abastece el puesto. Tomar 1 aérea, 0 subterránea
 δ : coeficiente que tiene en cuenta la situación de la línea aérea y la de los edificios de valor 0 a 1.

Un segundo factor G vinculado a las consecuencias es calculado por la fórmula:

$$G = S + M + I$$

S: factor (de 1 a 3) a vinculado a la sensibilidad del material
M: factor (de 1 a 3) a vinculado al precio del material
I: factor (de 1 a 3) a vinculado al costo de la no-disponibilidad de los equipos.

En función de los valores calculados de F y G la guía recomienda la instalación o no de un limitador de sobretensión. Si son necesarios, su capacidad (corrientes de descarga) se determina según el valor de F. Para las instalaciones de comunicación, un análisis complementario según el Anexo A1 de la misma guía puede efectuarse. El factor de exposición al riesgo, aquí nombrado H, reanuda el valor del factor F anteriormente determinado al cual se aplican algunas ponderaciones en función de la situación de la línea aérea y la resistencia del suelo. Se calcula un factor G de consecuencias según los mismos criterios.



Por principio, si se aconseja un limitador de sobretensión sobre la alimentación en energía, se aconseja él disponer también en las líneas de comunicación.

Basada en un enfoque simple y realista, el planteamiento Legrand descrito a continuación permite determinar fácilmente el nivel de protección que debe preverse a la cabeza de la instalación.

Este nivel de protección se califica de:

- estándar (★)
- elevado (★★)
- muy elevado (★★★)

Se determina según 2 criterios:

- el nivel de exposición del lugar (consultar al servicio de meteorología más cercano)
- la situación de la instalación:
 - situación del edificio
 - naturaleza de la red de alimentación
 - presencia de un limitador de sobretensión de punta

El planteamiento descrito sólo se refiere a la protección en el origen de la instalación.

Protecciones complementarias pueden resultar necesarias en función de su amplitud (longitudes de línea) y la sensibilidad de los materiales que deben protegerse (informática, electrónica...)

En el caso donde se instalan varios limitador de sobrete, se recomiendan algunas normas muy precisas de coordinación que deben ser aplicadas (ver página 127)

Niveles de protección que deben preverse a la cabeza de una instalación

Situación de la instalación	Densidad de fulminación		
	1 choque/2 km ² /año 	2 choques/2 km ² /año 	4 choques/2 km ² /año 
Situación del edificio			
Construcción densa	★	★★	★★
Construcción dispersa	★	★★	★★
Construcción aislada en montaña, cerca de un plano de agua o sobre una punta	★	★★	★★★
	★★	★★★	★★★
Red de alimentación			
Aérea	★	★★	★★★
Subterránea		★★	★★
Presencia de un pararrayos	★★★	★★★	★★★

La elección debe hacerse según el criterio más vinculante, el que preconiza el nivel de protección más elevado.



Aunque la presencia de un limitador de sobretensión no se recomienda expresamente, el costo de su instalación sería, en todos los casos, muy inferiores al de los daños que generarían un posible choque de rayo.

2 LA PROTECCIÓN CONTRA LOS EFECTOS DIRECTOS

1 El modelo electro geométrico

Después de la evaluación del riesgo de fulminación y sus posibles consecuencias en términos económicos, la elección de los dispositivos de captura del rayo (pararrayos) va a requerir un estudio de implantación consustancial a cada lugar. En este enfoque, el objetivo será comprobar que el rayo tenderá preferencial "a caer" sobre puntos precisos y predeterminados y no sobre otras partes de los edificios u obras.

Para esto, se utiliza un método denominado "electro geométrico" que define la zona esférica "teóricamente" protegida por un pararrayos en función de la intensidad de la corriente de descarga del 1er arco. Cuanto más elevada es esta corriente, más probable es la captura y más amplia es la zona protegida.

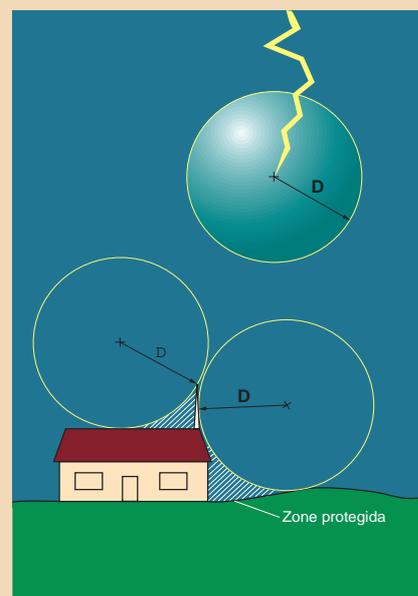


Principio general del modelo electro geométrico

Se considera que la punta de la traza líneas (o cursor) representa el centro de una esfera ficticia, de radio D . Esta esfera se acompaña la marcha aleatoria del traza líneas.

El enfoque del primer elemento en contacto con esta esfera determinará el punto de impacto del rayo: un árbol, un techo, el suelo o un pararrayos si está dispuesto uno.

Más allá de los puntos de tangencia de esta esfera, la protección ya no está garantizada por el pararrayos.



El rayo teórico (D) de la esfera es definido por la relación:

$$D = 10 \times I^{2/3} \text{ con } D \text{ en metros e } I \text{ en kA}$$

D (m)	15	29	46	96	135	215
I (kA)	2	5	10	30	50	100

Para una protección óptima que integra los valores probables de corrientes de rayo más escasas (nivel de protección I), se considera una esfera de 20 m ($I = 2,8 \text{ kA}$).



El modelo electro geométrico debe adaptarse en función del dispositivo de protección: pararrayos de tronco simple, jaula enmallada, hilo tenso cuyos volúmenes protegidos se definen en la norma Francesa NF C 17-100 (CEI 61024-1). Ésta define cuatro niveles de protección en función de la probabilidad de captura.

Niveles de protección según NFC 17-100 (Francia)

Nivel	I	II	III	IV
Probabilidades de captura (%)	98	95	90	80
Corriente mini de captura (kA)	2,8	5,2	9,5	14,7
Distancia de cebo máximo D (m)	20	30	45	60

Para los pararrayos activos con dispositivo de cebo, es necesario reportarse a las documentaciones de los fabricantes así como a la norma NF C 17-102 (Francia).



2 Los pararrayos de punta

Tienen por objetivo proteger las obras contra los golpes de rayo directos. Al capturar el rayo y al pasar a la tierra la corriente de descarga de ésta, evitan los daños vinculados al impacto mismo del rayo y a la circulación de la corriente asociada.

Los pararrayos se clasifican en cuatro categorías.

- Los pararrayos de tronco simple (o de Franklin) están constituidos por una punta, de uno (o de varios) conductores de pendiente y de una toma a tierra.

- Los pararrayos con dispositivo de cebo Representan una evolución del tronco simple. Se equipan con un dispositivo de cebo que crea un campo eléctrico en su punta que favorece la captura del rayo y que mejora su eficacia.

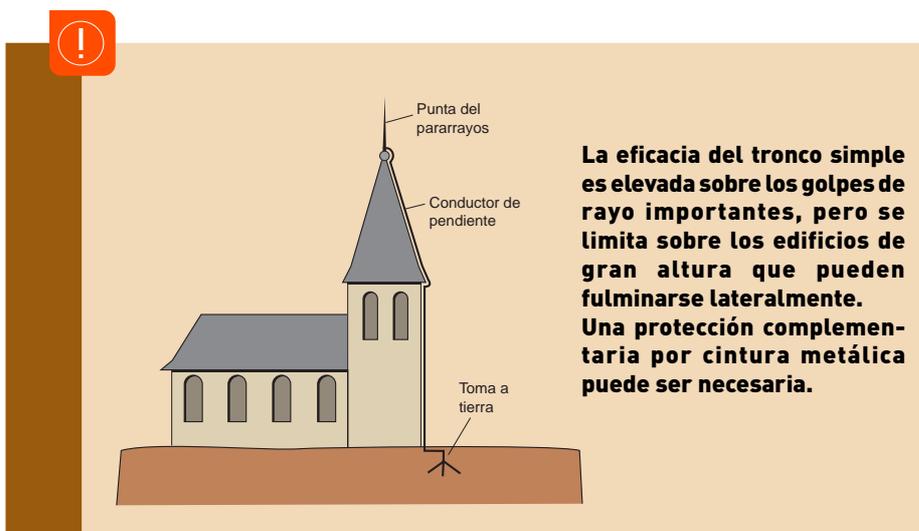
Varios pararrayos pueden instalarse sobre una misma estructura. Éstos deben entonces ser interconectados así como sus tomas a tierra.

- Los pararrayos de jaula enmallada.

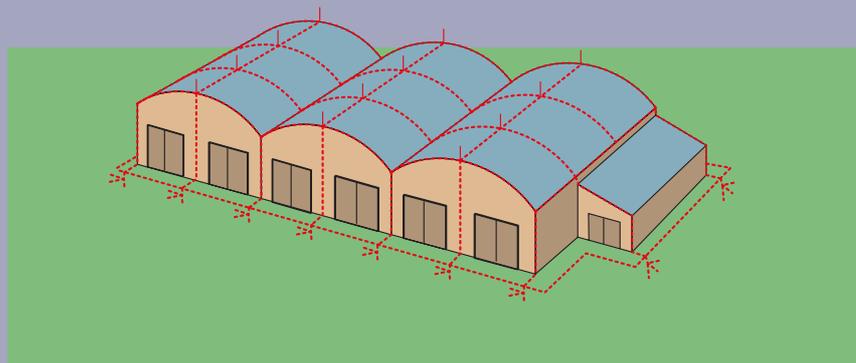
La jaula enmallada está constituida por una red de conductores dispuestos fuera del edificio para circunscribir completamente su volumen. Esta red puede completarse de troncos de captura (0,3 a 0,5 m de altura) regularmente dispuestos sobre los puntos destacados del edificio (cimas, canales...).

El conjunto de los conductores interconectados se conecta a la red de tomas a tierra (fondo de excavación) por varios conductores de pendiente.

El nivel de protección es definido por el



Los pararrayos de jaula enmallada



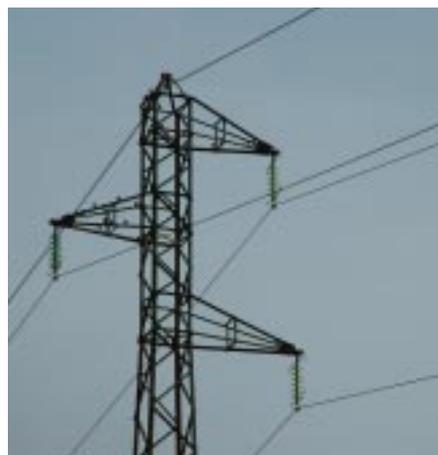
Completan las disposiciones de dimensión de la malla de los edificios contra los campos electromagnéticos irradiados a los cuales deben interconectarse (véase equipotencialidad de nivel 4 página 94)

tamaño de las mallas. Por ejemplo, para un nivel de protección I (esfera de radio $D = 20$ m) la malla no debe superar 5 m.

- Los pararrayos de hilos tensos.

Este sistema se utiliza en las partes de algunos edificios, zonas de almacenamiento exteriores, líneas eléctricas (hilo de guardia)...

El modelo electro geométrico de la esfera es aplicable.



En presencia de un pararrayos, un pararrayos de tipo 1 debe instalarse a la cabeza de la instalación. Puede ser sustituido por pararrayos de tipo 2 instalados en el origen de cada una de las instalaciones derivadas, en el mismo edificio (edificio de apartamentos)

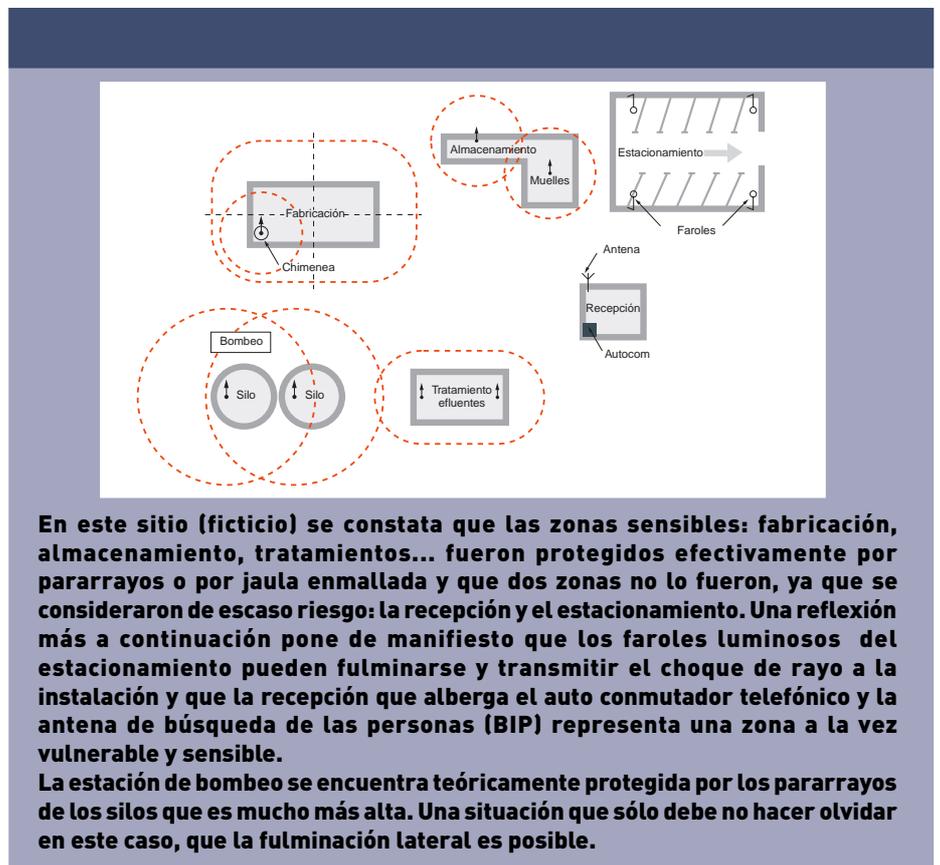
3 El plan de protección: las superficies de captura

Cuando el lugar que debe protegerse está constituido por varios edificios o que su amplitud no puede estar cubierta por un único dispositivo de captura (pararrayos), es necesario establecer un plan de protección de los lugares yuxtaponiendo las distintas superficies de captura teóricas.

La cobertura total de un lugar sigue siendo difícil si éste está constituido por obras de alturas diferentes.

El plan de protección superpuesto a la implantación de los lugares permite imaginar las zonas no cubiertas, pero sobre todo debe ayudar a una verdadera reflexión que integra:

- La probabilidad de fulminación por la determinación de los puntos de impactos privilegiados (vuelcos, chimeneas, antenas, farolas, mates...)
 - La sensibilidad de los equipamientos albergados por los edificios (comunicaciones, informáticas, autómatas...)
 - El riesgo potencial vinculado a la actividad o a la naturaleza de los materiales almacenados (incendio, explosión...)
- Por último, no se olvidará que las conexiones múltiples entre los edificios (redes informáticas, tele vigilancia, comunicaciones, alarmas, y energía) pueden convertirse en vectores de



perturbaciones bajo el efecto del campo electromagnético del rayo o bajo el del gradiente de potencial generado en el suelo.

Las protecciones de estas conexiones pueden ser de dos órdenes:

- el blindaje o faradización que va, además de la protección contra los

campos, esencialmente a consistir en mantener la equipotencialidad de la conexión (conductor de masa unido, trenzado, pantalla conductora...)

- el desacoplamiento galvánico que va a separar eléctricamente los edificios (auto acopladores, fibras ópticas, transformadores de separación...).



El plan de protección debe considerar los edificios y las obras que deben protegerse contra los choques directos del rayo, pero debe también tener en cuenta los elementos o las zonas no construidas cuya fulminación puede inducir efectos destructivos.

4 Los conductores de pendientes

Garantizan la conexión entre el propio pararrayos (tronco, jaula, hilo) y la toma a tierra.

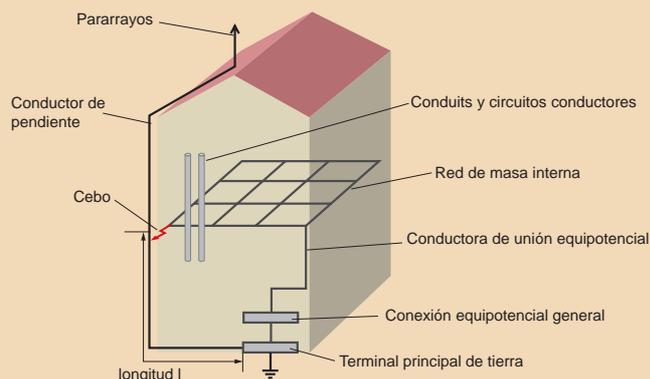
Son sometidos a corrientes intensas y por lo tanto deben ser de sección suficiente, de forma plana, y seguir el recorrido más corto posible. No deben presentar, ni aumento, ni codos vivos. Los conductores pueden ser equipados de contadores de choques de rayo.



Se aconseja multiplicar los conductores de pendiente con el fin de disminuir las corrientes en cada uno ellos y los efectos térmicos, electrodinámicos inductivos asociados. Las pendientes deben conseguir un circuito de tierra enmallado y equipotencial.



Interconexión de los conductores de pendiente con las redes de masa de los edificios.



En los edificios que son de varios pisos, se recomienda conectar al (o los) conductor (es) de pendiente del pararrayos a las redes de masa de cada piso. Si esto no se hace, la diferencia de potencial que aparece entre el conductor de pendiente y las masas internas podría producir un cebo a través de las paredes del edificio.

En efecto, la circulación de la corriente de rayo HF corre el riesgo de generar una muy importante subida en potencial del conductor de pendiente (varios centenares de kV) a causa del aumento de su impedancia en alta frecuencia (ver página 142).



Las consecuencias en la instalación de los efectos inducidos por la circulación de la corriente de rayo en los conductores de pendiente pueden minimizarse:

- multiplicando el número de pendientes con el fin de dividir la corriente y limitar sus efectos inducidos
- garantizando la interconexión de los conductores de pendiente con las redes de masas a todos los niveles del edificio
- constituyendo redes de masa equipotenciales que integran verdaderamente todos los elementos conductores incluso los inaccesibles: conductos de fluidos, circuitos de protección, refuerzos del hormigón, estructuras metálicas... ver página 90
- evitando colocar los conductores de pendiente cerca de locales o aparatos sensibles (informático, telecomunicación...)



Toma a tierra de pararrayos

5 La red de tierra

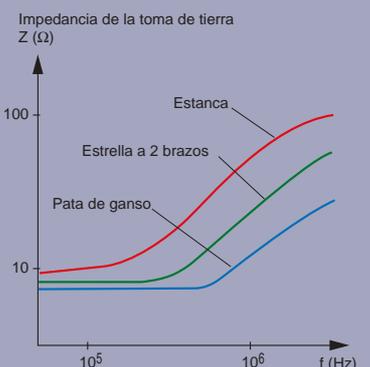
Constituye un elemento esencial de la protección contra el rayo: por una parte, todas las masas, ellas mismas interconectadas, deben ser conectadas; por otra parte, deben estar en condiciones de pasar la corriente de rayo evitando la subida de potencial de la propia red de tierra y del suelo circundante. Aunque deba ser suficientemente escaso ($< 10\Omega$), el valor de la resistencia en baja frecuencia de la toma a tierra importa menos que su forma y su dimensión en lo que se refiere a la conducción de la corriente de rayo de alta frecuencia. Generalmente, cada pendiente debe conseguir una toma a tierra que puede estar constituida por conductores (tres como mínimo) dispuestos como patas de ganso ocultos al menos a 0,5 m de profundidad o por estacas de tierra, dispuestas preferiblemente en triángulo. Las modalidades y longitudes de conductores ocultos se definen en la norma NFC 17-100 (Francia).



La red de tierra debe ser única. Deben prohibirse circuitos distintos e independientes (informático, pendiente de pararrayos) lo que no excluye tomas a tierra (electrodos) múltiples si están muy interconectadas.



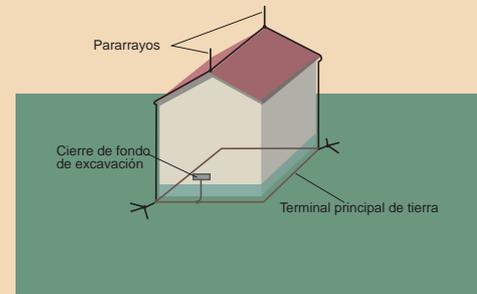
Las tomas a tierra se conciben generalmente para pasar las corrientes de defecto en baja frecuencia. La resistencia de los conductores ocultos, incluso si son de gran longitud es desdeñable ante la resistencia de la toma a tierra (algún mili ohms a comparar a algunos ohmios). Entonces de un choque de rayo, la corriente que debe pasarse es de naturaleza HF (> 1 MHz) y la impedancia de la toma a tierra implica entonces un componente inductivo preponderante. Para limitar este efecto, la geometría de la toma a tierra debe adaptarse: la experiencia pone de manifiesto que la pata de ganso es la mejor disposición. Como por los conductores de pendiente, uniones y conexiones deben efectuarse con conductores planos.



Interés de la consideración de la protección contra el rayo a partir desde su concepción

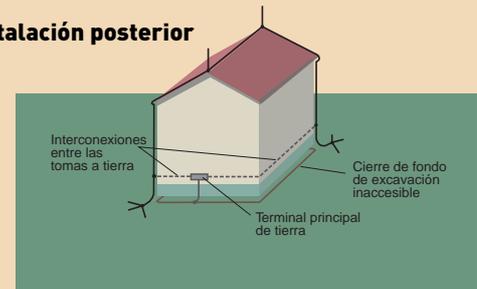
Puede ser difícil reconciliar la implantación óptima del pararrayos, la circulación del conductor de pendiente y su conexión a la red de tierra. De ahí la importancia de una consideración de la protección ante el rayo desde el principio del proyecto.

Instalación en la construcción



Las pendientes de los pararrayos se conectan directamente al cierre de fondo de la excavación. Patas de ganso en los puntos de unión mejoran la impedancia en alta frecuencia.

Instalación posterior



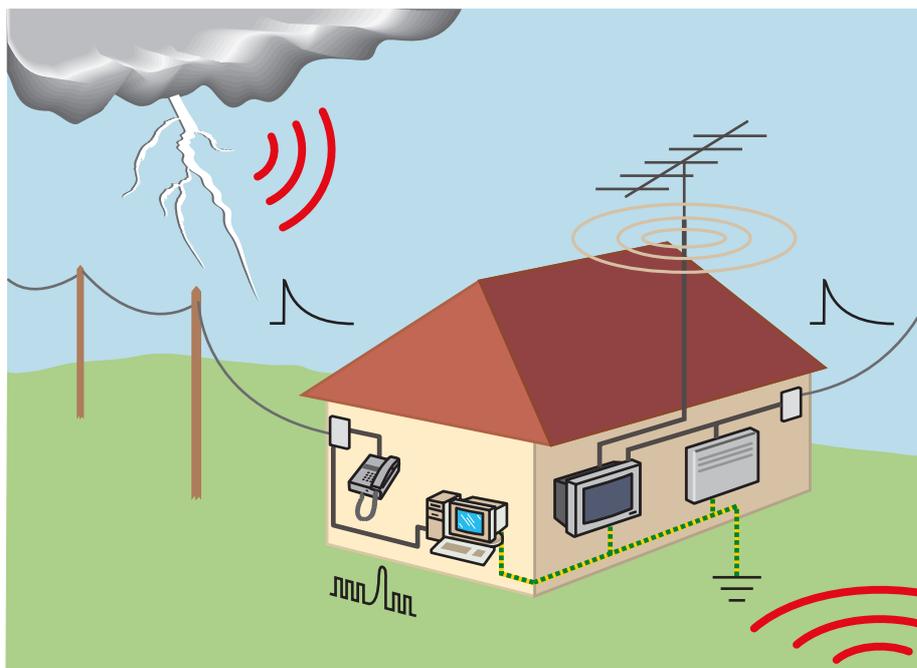
La inaccesibilidad al cierre de fondo de excavación implica la realización de interconexiones difíciles y gran longitud.

3 LA PROTECCION CONTRA LOS EFECTOS INDIRECTOS

Se designa por efectos indirectos, las consecuencias de un choque de rayo que puede haber tenido lugar sobre la propia obra, y también a la distancia o en las líneas a las cuales se conecta.

Se considera que la corriente de rayo y sus efectos pueden alcanzar la instalación por tres métodos de acceso:

- todas las líneas eléctricas (energía, telecomunicaciones, televisión...) entrando o saliendo del edificio
- el suelo, a raíz de su subida de potencial, mediante las masas, la red de tierra y los conductores de protección,
- todos los cierres conductores (estructuras del edificio...), redes internas (energía, telecomunicación...) que pueden ser la sede de tensiones inducidas bajo el efecto del campo magnético generado por la corriente de rayo.



1 Principios generales

El principio de la protección contra los efectos indirectos del rayo consiste en impedir que la energía perturbadora, o incluso destructiva, puede alcanzar los aparatos y equipos. Para ello, tres condiciones son necesarias.

- limitar la subida de potencial de la instalación derivando la corriente hacia el potencial de referencia bajo (red de masa y tierra), es el papel de los pararrayos
- evitar la aparición de sobre tensiones peligrosas entre los aparatos mismos y entre los circuitos de protección y las distintas masas metálicas, es el papel de la red de masas equipotencial
- minimizar los efectos de inducción debidos a los campos generados por el propio impacto del rayo y por los conductores de pendiente de los pararrayos en todos los cierres conductores (líneas eléctricas de energía y comunicaciones) y también estructuras de los edificios; es la localización

pertinente de los equipos y de su cableado lo que permite limitar las tensiones inducidas.

Cualquiera sea el método de acceso, la energía del choque del rayo va a traducirse en una señal impulsada característica de tensión y corriente cuyos valores serán en función incluso de la estructura de la instalación y del sitio en cuestión. La elección de los niveles de pruebas se establece a partir de estas condiciones.

El choque de rayo entregado por un generador especial, llamado híbrido ,generalmente está simulado por una señal combinada o compuesta, de tensión 1,2/50 μ s y de corriente 8/20 μ s (pararrayos de tipo 2) según la definición de la norma internacional CEI 60060-1.

La 1º cifra designa el tiempo de subida (duración del frente) y la segunda calcula el tiempo de bajada de la señal a la mitad de su valor (véase página 53).

Ondas de corriente 10/350 son utilizadas por los limitadores de sobretensión muy a alta energía (tipo 1) o bien se aplica una onda de tensión 10/700 (CCITT) para las líneas y los accesos de los circuitos de telecomunicación a larga distancia.



La elección de poner una protección por limitadores de sobretensión, debe basarse en la adecuación entre el valor potencial de la tensión de choque y el valor de la sobre tensión que debe superarse para la clase de instalación. La tensión de choque definida por la norma internacional CEI60664-1 es en función de la tensión de alimentación y del sitio en la instalación en cuestión.

Valores prescritos de comportamiento a los choques para los materiales en red 230/400 V

Categoría en sobre tensión	Situación en la instalación	Tipo y características de los materiales	Uimp (kV)	
			Situación controlada(1)	Situación natural (2)
IV	Orígenes/conexión	Materiales instalados aguas arriba del tablero de distribución: contadores, medidores, cortacircuitos y cortacircuitos de cabeza (AGCP)...	6	4
III	Distribución/repartición	Materiales que pertenecen a la instalación fija: equipo, cortacircuitos, tomas corriente, canalizaciones, cajas de enchufes, o materiales de uso industrial conectados a residencia: motores, hornos...	2,5	
II	Cargas/aparatos	Materiales de utilización destinados a conectarse a herramientas y aparatos domésticos	2,5	1,5
I	Especiales/protegidos	Materiales sensibles de comportamiento reducido implica circuitos electrónicos. Una protección próxima o integrada puede ser deseable	1,5	0,8

(1) designa en situación controlada, una instalación donde las sobre tensiones transitorias son reducidas ($> U_{imp}$) por una protección en la propia línea o al origen de la instalación (ejemplo: red aérea protegida).

(2) La situación natural se considera para las instalaciones donde el riesgo es naturalmente escaso. La protección pararrayos generalmente no se juzga necesaria (ejemplo: red enteramente subterránea). Valores más bajos (valores no normalizados) del comportamiento de los aparatos pueden aceptarse en esta situación (NF C 15-100 capítulo 443-3).

La clase de instalación (5 clases) es definida por la norma internacional CEI 61000-4-5.

Los equipos deben haber sido calificados para las tensiones de choques que corresponden a sus condiciones de instalación.

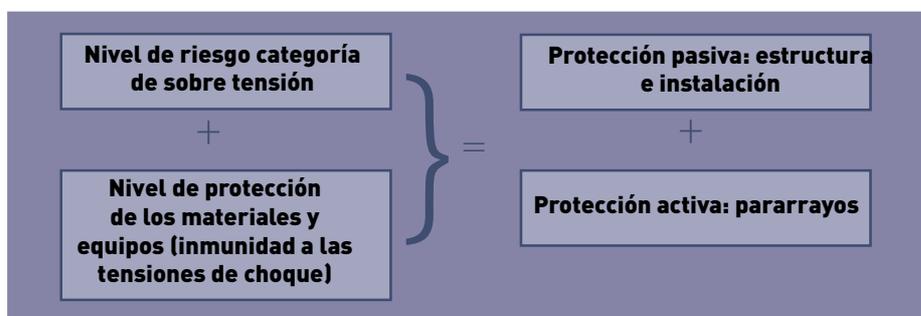
Clasificación según la marca CEI 61000-4-5

Clase	Tensión de choque máximo	Condición de instalación
0	25 V	Bien protegidos: se equipa a todos los conductores de llegada de pararrayos. Los materiales se conectan a una red de masa poco influida sobre por las perturbaciones. El material electrónico está dotado con su propia alimentación. En general, sala o instalación especial.
1	500 V	Parcialmente protegidos: condiciones similares a la clase 0 pero donde maniobras de conmutación pueden producir sobre tensiones.
2	1 kV	De cableado separado: la alimentación eléctrica se separa bien de los otros circuitos. La red de masa de los circuitos de energía se someten a las perturbaciones de la instalación o el rayo.
3	2 kV	De cableado común: los cursos de los conductores de energía y señales son paralelos. El material electrónico protegido y el material eléctrico se conectan a la misma red de alimentación. La red de masa se somete a perturbaciones importantes.
4	4 kV	De interconexión por cables exteriores y cableado común entre conductores de energía y señales. La instalación se conecta a la red de masa del circuito de energía. La red de alimentación es común a todos los circuitos.
5	4 kV (1)	De conexión en líneas aéreas. El material eléctrico y electrónico se somete a las perturbaciones de las líneas pero éstas se proporcionan de una protección primaria. No existe red de masa o dispositivo conveniente de puesta a tierra.
X	x kV	Condiciones específicas que deben definirse.

(1) 6 kV aconsejada

La inmunidad a los choques de rayo declarado de un componente no garantiza la del equipo al cual se integra y no supone de sus condiciones instalación.

Por lo tanto, es indispensable una visión global.



El riesgo vinculado a los efectos indirectos del rayo no es nunca completamente nulo. El costo excesivo de las protecciones, y las pérdidas potenciales, es desdeñable y reembolsado al 1er accidente. Pero los pararrayos no son una panacea si se ponen en una instalación mal concebida. La mejor protección pasará por las precauciones tomadas en la estructura y la puesta en marcha de ésta (protección pasiva).

2 La protección pasiva

Los términos de estructura y puesta en marcha de la instalación designan:

- la equipotencialidad que es realizada por la red de masa y cuyos cinco niveles se proponen (véase página 90),
- la separación eléctrica de las alimentaciones entre los circuitos llamados "sensibles" y los circuitos de potencia (véase página 95).
- La separación geométrica de los circuitos destinada a limitar los acoplamientos por diafonía entre los conductores de estos circuitos (véase página 96).

Nota: la existencia de cierres de acoplamiento sensibles al campo electromagnético generado por el rayo revela aspectos dimensionales (superficie del cierre sujeto al campo) y geométrica (curso de los conductores) y debe distinguirse del concepto de distancia de cohabitación entre los propios conductores (distancia de separación).

- los esquemas de conexión a tierra (o regímenes de neutro) cuyo tipo tiene una influencia sobre el comportamiento de la instalación (véase página 195) y por consiguiente sobre la elección de los pararrayos.



Red de masa o toma a tierra

La normalización utiliza el término de dispositivo de puesta a tierra para designar, sin distinguirlos, a la vez los conceptos de redes equipotenciales y toma de tierra.

Contrariamente a los prejuicios, el valor de la toma de tierra no tiene una influencia significativa para la protección pararrayos. Es incluso posible establecer tal protección en su ausencia (véase página 195). En la práctica, no se puede impedir la subida local del potencial del suelo al cual se conecta la toma de tierra. En efecto, su impedancia tiende mucho a aumentar bajo el efecto de la corriente de choque de rayo (forma de onda con impulso y elevada frecuencia).

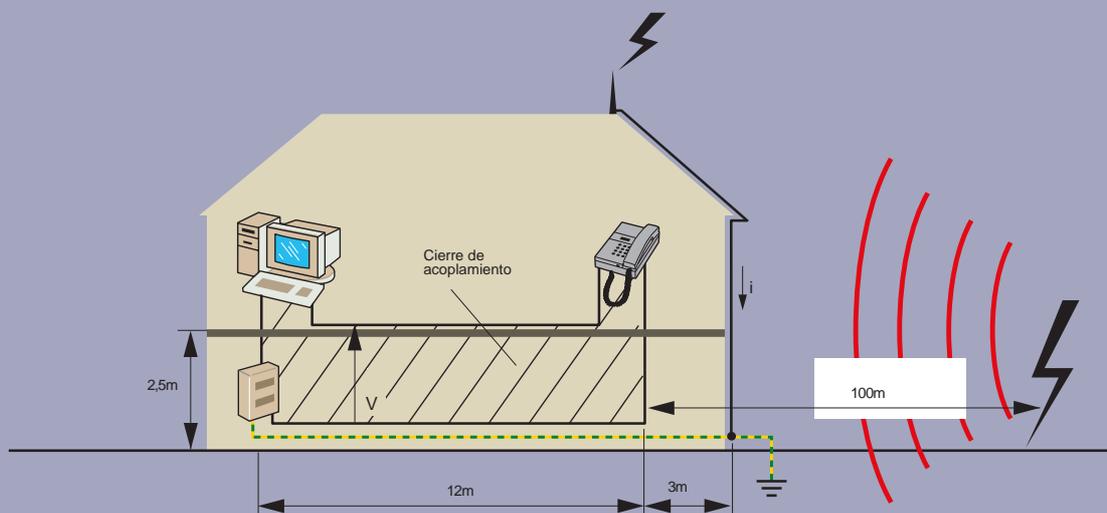
Es pues a la red de masa que corresponderá mantener un potencial de referencia bajo, sensiblemente equipotencial sobre toda la amplitud de la instalación y es a esta red que será necesario conectar los pararrayos (ver página 198).



El campo electromagnético irradiado

La corriente de descarga del rayo por impacto directo o transportado por el conductor de pendiente de un pararrayos genera un campo cuyos componentes eléctricos y magnéticos alcanzan valores considerables: varios kV/m y varias decenas de micro teslas (μT).

Todos los conductores reciben estas radiaciones, formando una antena más o menos adaptada, que se convierten en la sede de corrientes inducidas. Es sobre todo sobre los conductores que materializan cierres de gran superficie (véase página 59) que el efecto de la inducción magnética (campo H) es preponderante.



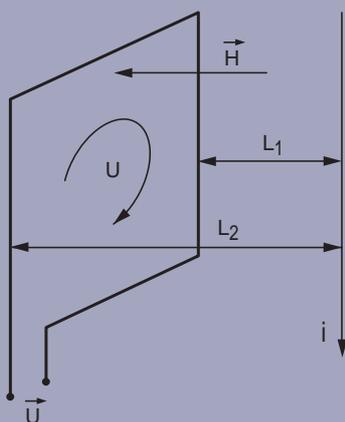
El campo generado por la corriente i (varios kA) en la pendiente del pararrayos se acopló sobre el cierre formado por los conductores en el edificio generando una tensión V de varios kV.

Este reducido fenómeno, se produce también para un impacto distante, incluso a varios centenares de metros.

Como ejemplo una corriente de rayo de 10 kA a 100 m generará una sobre tensión de 600 V en un cierre de 30 m². La misma corriente de rayo en la pendiente de pararrayos (situada a 3 m) generará una sobre tensión superior a 15 kV.

En el 1er caso, la sobre tensión puede absorberse sin demasiados daños, en el segundo será indudablemente destructiva.

Ésta es la ilustración que muestra la presencia de un pararrayos sólo es posible si se instalan algunos pararrayos en la instalación.



Acoplamiento inductivo de un único conductor sobre un cierre: la tensión V vale:

$$V = M \times \frac{di}{dt}$$

M es un coeficiente que caracteriza el acoplamiento en función de las distancias L_1 y L_2 , de la superficie del cierre y la permeabilidad magnética del medio. En la práctica, se considera que el plan del cierre está ortogonal a la corriente i (por lo tanto $L_1 = L_2$) y que la distancia es grande con relación a la dimensión del cierre.



La protección pasiva

Lógica de configuración: estructura y puesta en marcha de la instalación

La protección pasiva es definida por conceptos independientes cuyo valor, para algunas, es cualitativo y difícil de apreciar con precisión: alcance de la instalación, separación de los circuitos, nivel de equipotencialidad. El lógico grama siguiente debe pues leerse como un indicador del nivel de la protección pasiva:

- buena cuando un máximo de criterios está en la zona verde,
- mala cuando una mayoría está en rojo,
- y media en los casos intermedios (niveles anaranjados o niveles verdes y rojos presentes juntos, por ejemplo régimen TN para un lugar enorme).

Clase de instalación de los equipos (tensión de choque de rayo)

5 (6 kV)	4 (4 kV)	3 (2 kV)	2 (1 kV)	1 (8500V)	0 (25 V)
----------	----------	----------	----------	-----------	----------

Régimen de neutro

TT	IT	TN
----	----	----

Amplitud de la instalación (cierres)

enorme (lugar)	gran (edificio)	Pequeña (casa)
----------------	-----------------	----------------

Separación geométrica de los circuitos

no separados (acoplamiento)	separados	blindados (poco acoplamiento)
-----------------------------	-----------	-------------------------------

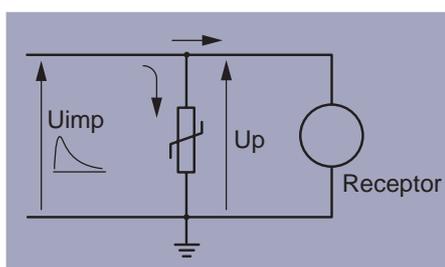
Separación de la alimentación de los circuitos sensibles

misma alimentación	alimentación separada	fuente separada
--------------------	-----------------------	-----------------

Nivel de equipotencialidad

0 conductores de protección	1 conductores de masa	2 conexiones equipotenciales	3 malla isla	4 malla total
-----------------------------	-----------------------	------------------------------	--------------	---------------

3 Principio de la protección por rayos



La tensión de impulso U_{imp} , debida al choque de rayo, corre el riesgo de propagarse en una instalación con sus efectos destructivos.

El limitador de sobretensión va entonces a comportarse como un verdadero cortocircuito para la mayor parte de la energía sobre la red de masa equipotencial. La toma a tierra va a llevar de inmediato el potencial a 0V con un decalage temporal debido a su impedancia. Para tener eficacia, el limitador de sobretensión debe ser conectado con los conductores más cortos posible (como para un cortocircuito

voluntario).

En efecto, la corriente de descarga, de alta frecuencia, es rápidamente reducida por la impedancia de los conductores insertos en el circuito del pararrayos.

En la práctica, se recomienda que la longitud total del circuito limitador de sobretensión no exceda 0,5 m. Una exigencia no siempre fácil de cumplir, pero que el uso de las masas disponibles en proximidad ayudan a satisfacer.



Norma de los 0,5 m

En teoría, en un choque de rayo, la tensión U_t aplicada al receptor es igual a la tensión de protección U_p del limitador de sobretensión (por su I_{max}) pero en la práctica ésta es más elevada.

En efecto, debemos añadir, las caídas de tensión debidas a las impedancias de los conductores de conexión del limitador de sobretensión y de su dispositivo de protección:

$$U_t = U_{I_1} + U_d + U_{I_2} + U_p + U_{I_3}$$

Como ejemplo, la caída de tensión en 1 m de conductor recorrido por una corriente a impulso de 10 kA durante 10 μ s alcanzará 1.000 V

$$\Delta u = Lx \frac{di}{dt}$$

di: variación de corriente 10000 A

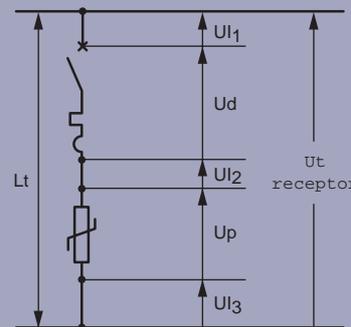
dt: variación de tiempo 10 μ s

L: inductancia de 1m de conductor = 1 microhenry

Valor Δu que debe añadirse a la tensión U_p

La longitud total L_t debe ser la más corta posible; en la práctica se recomienda no sobrepasar 0,5 m.

En caso de dificultad, la utilización de conductores amplios y planos (trenzas aisladas, barras flexibles aisladas) puede resultar útil (ver página 142).



Sección mínima de los conductores de conexión de los pararrayos

Capacidad del pararrayos	Sección (mm ²)
estándar: I_{max} 15 kA	6
elevada: I_{max} 40 kA	10
alta: I_{max} 70 kA	16



Contrariamente a los prejuicios, no es indispensable conectar el limitador de sobretensión al terminal principal de tierra cuando está demasiado distante. La conexión a la unión equipotencial local más cercana y la más accesible resulta más eficaz respetando la norma del 0,5 m. (véase página 198 "Estructura de la red de protección").

La sección mínima recomendada de los conductores de conexión toma en cuenta el valor máximo de la corriente de descarga y las características del dispositivo de protección de final de vida (disyuntores DX) (véase página 128). Es ilusorio aumentar esta sección para compensar una distancia de conexión demasiado grande.

En alta frecuencia, el aumento de la impedancia de los conductores está directamente vinculado a su longitud (véase página 142).



Limitador de sobretensión de alta capacidad (40 kA), a la cabeza de un armario de automatismo industrial: la placa llena de montaje (acero galvanizado) garantiza la conexión equipotencial y la conexión a tierra.



La utilización de un repartidor Lexic permite conectar fácilmente un limitador de sobretensión para la protección de un grupo de circuitos.



Los elementos de los chasis, montantes y rieles, de los envoltorios XL, poseen una conductibilidad que garantiza la continuidad equipotencial necesaria para la conexión del borne de tierra de los limitador de sobretensión, aquí un modelo de alta capacidad 70 kA.



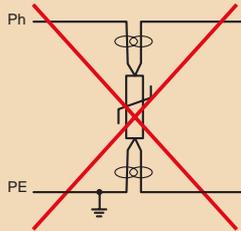
La utilización de las masas con fines de conexión equipotencial de los limitadores de sobretensión debe por supuesto acompañarse de precauciones de construcción y puesta en marcha (véase página 134). La continuidad de las masas de las dotaciones XL/XL-A fue objeto de medidas de eficacia y equivalencia de sección eléctrica (véase página 593) que permite utilizarla como conductor PE y también para la conexión de los limitadores de sobretensión. Por otra parte, se debe tener en cuenta que además de ser fácilmente accesibles y respetar la norma de los 0,5 m, las masas de las dotaciones XL/XL-A presentan una impedancia en alta frecuencia mucho más escasa (inductancia típica $< 0,01 \mu\text{H/m}$) que las de un conductor.



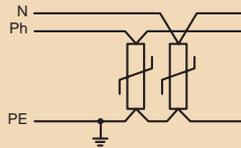
La utilización de las masas de otros envoltorios que XL/XL-A o de rieles, en particular, en aluminio, para la conexión de los limitadores de sobretensión no debe hacerse sin validación previa. En caso de duda, es entonces preferible conservar un conductor de hilo para una conexión al borne o al colector de los conductores de protección.



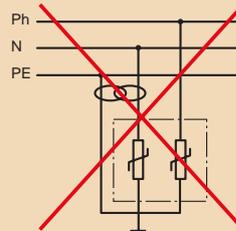
Algunas configuraciones de cableado pueden crear acoplamientos entre los conductores aguas arriba y aguas abajo del limitador de sobretensión favoreciendo así la propagación de la onda del rayo en la instalación.



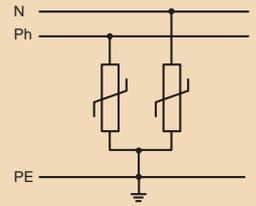
Conductores aguas arriba y aguas abajo conectados sobre el terminal del pararrayos con curso común.



Conductores conectados sobre el mismo borne pero bien separados (limitador de sobretensión de circuito).



Conductor de vuelta del borne de tierra del limitador de sobretensión cercano a los conductores de entrada.



Conductores de conexión del limitador de sobretensión separados y los más cortos posibles (pararrayos cabeza).

4 Las longitudes protegidas

La elaboración de una buena protección por limitador de sobretensión debe absolutamente tener en cuenta la longitud de las líneas que abastecen a los receptores que deben protegerse. En efecto, más allá de una determinada longitud *d*, la tensión aplicada al receptor puede, por fenómeno de resonancia, superar ampliamente la tensión de limitación prevista.

El riesgo de resonancia está vinculado a las características de la instalación (conductores, redes de masa) y el

aumento de la sobre tensión potencial está vinculada al valor de la corriente de choque.

Las normas de longitud máximas preconizadas están incluidas pues en el

determinado empirismo el que se puede basar en tres claves de entrada:

- posición del pararrayos
- constitución de la red de masa
- sección de los conductores.

Longitud de línea máxima entre el limitador de sobretensión y el aparato que debe protegerse

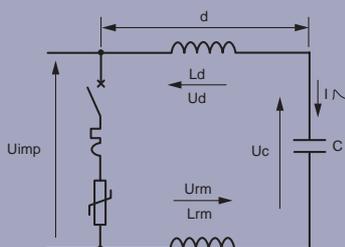
Posición del pararrayos	a la cabeza de la instalación		no a la cabeza de la instalación		
	doméstica (cable de hilo)	industrial (grandes cables)	doméstica (cable de hilo)	industrial (grandes cables)	
Sección de los conductores					
Constitución de una red de masa	conductor PE	< 10 m	10 m	10 m ⁽¹⁾	20 m ⁽¹⁾
	malla/ equipotencial	10 m	20 m	20 m ⁽¹⁾	20 m ⁽¹⁾

(1) protección aconsejada para a punto de utilizar si la distancia es superior



Más allá de una determinada longitud *d*, el circuito protegido por el limitador de sobretensión va a entrar en resonancia cuando inductancia y capacidad sean iguales: La impedancia del circuito se reduce entonces a su resistencia.

$$(L \omega = - \frac{1}{C \omega})$$



A pesar de la parte absorbida por el limitador de sobretensión, la corriente de rayo *I* residual sobre el circuito, sigue siendo a impulso. Su aumento, debido a la resonancia va a traducirse en subidas importantes de las tensiones *Ud*, *Uc* y *Urm*. La tensión aplicada al receptor puede duplicarse en estas condiciones.

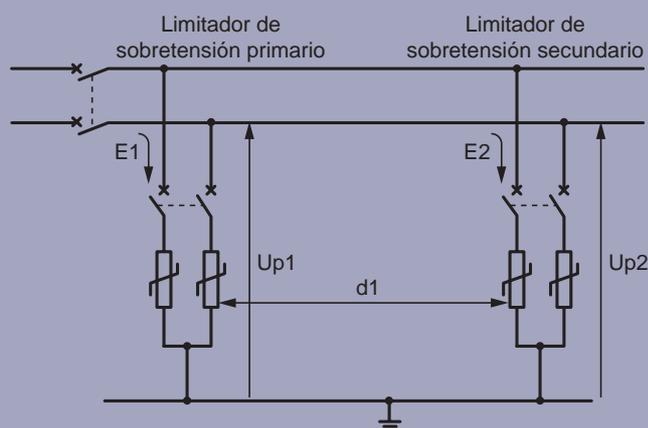
C: capacidad que representa la carga
Ld: inductancia de la línea de alimentación
Lrm: inductancia de la red de masa

5 La coordinación de los limitadores de sobretensión

A menudo se hace necesaria la instalación de varios limitadores de sobretensión cuando la distancia entre el limitador de sobretensión y el material es demasiado grande y también cuando el nivel de supresión del limitador de sobretensión de cabeza no es suficiente, lo que sucede en cuanto se trata de proteger materiales sensibles. Para los materiales muy sensibles, un tercer nivel llamado de proximidad, es incluso necesario. Esta disposición de varios limitadores de sobretensión requiere su coordinación para que cada uno de ellos absorba de manera óptima la energía y limite lo más posible la propagación del choque de rayo en la instalación. La coordinación de los limitadores de sobretensión es un concepto complejo que debe ser objeto de estudios y pruebas. Los fabricantes aconsejan distancias mínimas entre los limitadores de sobretensión o la interposición de inductancias de desacoplamiento.



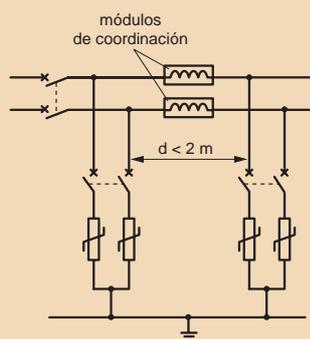
Coordinación de los limitadores de sobretensión



Limitadores de sobretensión primario y secundario deben coordinarse para que la energía total que debe disiparse ($E1 + E2$) se distribuya sobre cada uno de ellos en función de su capacidad de flujo. La distancia $d1$ permite desacoplar los limitadores de sobretensión evitando así que una parte demasiado importante de la energía pase directamente al limitador de sobretensión secundario con el riesgo de destruirlo. Una situación que, de hecho, depende de las características de cada uno de los pararrayos. Dos limitadores de sobretensión idénticos (por ejemplo $Up: 2\text{ kV}$ e $I_{max}: 40\text{ kA}$) pueden instalarse sin exigencia de distancia $d1$: la energía se distribuirá por igual sobre los dos pararrayos. Pero dos limitadores de sobretensión diferentes (por ejemplo $Up: 2\text{ kV}/I_{max}: 40\text{ kA}$ y $Up: 1\text{ kV}/I_{max}: 15\text{ kA}$) deberán alejarse al menos 10 m para evitar que el segundo limitador de sobretensión esté demasiado exigido.



Los módulos de coordinación Legrand Ref. 039 62/63 permiten coordinar dos limitadores de sobretensión en un mismo tablero (hasta 63 A), sin tomar en cuenta las distancias entre éstos. Es necesario instalar 1 módulo por conductor activo del circuito que debe protegerse



Norma empírica

En ausencia de indicación, tomar $d1$ (en metros) al menos igual al 1% de la diferencia entre $Up1$ y $Up2$.

Por ejemplo:

$Up1 = 2,5\text{ kV}$ y $Up2 = 1,4\text{ kV} \Rightarrow Up1 - Up2 = 1100\text{V} \Rightarrow d1 = 11\text{m}$ mínimo.

$Up1 = 1,4\text{ kV}$ y $Up2 = 1\text{ kV} \Rightarrow Up1 - Up2 = 400\text{V} \Rightarrow d1 = 4\text{m}$ mínimo.



La instalación de limitadores de sobretensión no debe perjudicar a la continuidad de servicio, lo que sería contrario al objetivo que se persigue. Éstos deben pues instalarse, en particular, en cabeza de instalación doméstica o asimilada en régimen TT, de acuerdo con un dispositivo diferencial retrasado modelo S. Una precaución que no debe hacer olvidar que para elevados choques de rayo (> 5 kA), el diferencial correrá el riesgo sin embargo de desconectar.

• Final de vida

Los limitadores de sobretensión deben protegerse contra los efectos térmicos y los cortocircuitos.

Después de cada golpe de rayo, la corriente de fuga aumenta ligeramente. Con el tiempo, el componente de varistancia envejece y se recalienta.

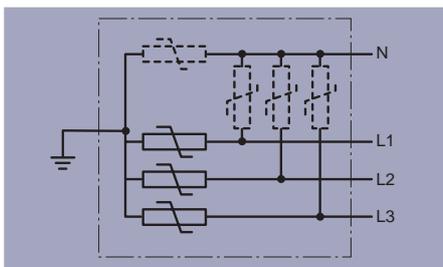
Un dispositivo de desconexión interno pone el pararrayos fuera del circuito en final de vida; un indicador o un contacto muestra el estado de desconexión para proceder al cambio del módulo.

El valor I_{max} caracteriza la corriente que el limitador de sobretensión puede hacer pasar.

Más allá de este valor, se destruirá con un cortocircuito.

Por ésta razón, un disyuntor externo, en serie con el limitador de sobretensión, deberá instalarse según las indicaciones. Todos los limitadores de sobretensión Legrand deben ser protegidos por disyuntores DX 6.000 calibre 20 A para las capacidades normales y elevadas y Dx-h 10000 calibre 40 A para los modelos de alta capacidad.

6 Constitución de los limitadores de sobretensión y del régimen de neutro



La constitución de los limitadores de tensión (número y posición de los dispositivos limitadores) en función de los regímenes de neutro, es comúnmente objeto de reglas admitidas (véase cuadro siguiente).

Presencia mínima de dispositivos limitadores de sobretensión

Régimen de neutro	Dispositivos limitadores		
	fases/tierra	neuro/tierra	fases/neuro
TT	●	●	● (2)
IT	●	● (1)	
TN - C	●		
TN - S	●	● (2)	● (2)

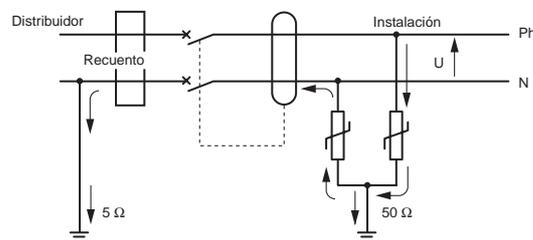
(1) si neutro distribuido

(2) ver a continuación

Sin embargo, deben tomarse precauciones ya que las condiciones de las sobretensiones de modo común (fases/neuro), pueden variar en función del sitio de la protección en la instalación (protección primaria, secundaria o terminal) y características propias de esta instalación.

Así pues, la protección fases/neuro en régimen TT se justifica cuando el neutro de la parte del distribuidor se conecta a una toma de escaso valor (algunos ohmios) mientras que la toma a tierra de la instalación es de algunas decenas de ohmios. El circuito de vuelta de la corriente corre el riesgo entonces de hacerse por el neutro de la instalación más bien que por la tierra.

La tensión U de modo diferencial, entre fase y neutro podrá crecer hasta un valor igual a la suma de las tensiones residuales de cada elemento del pararrayos, o sea al doble del nivel de protección en modo común.

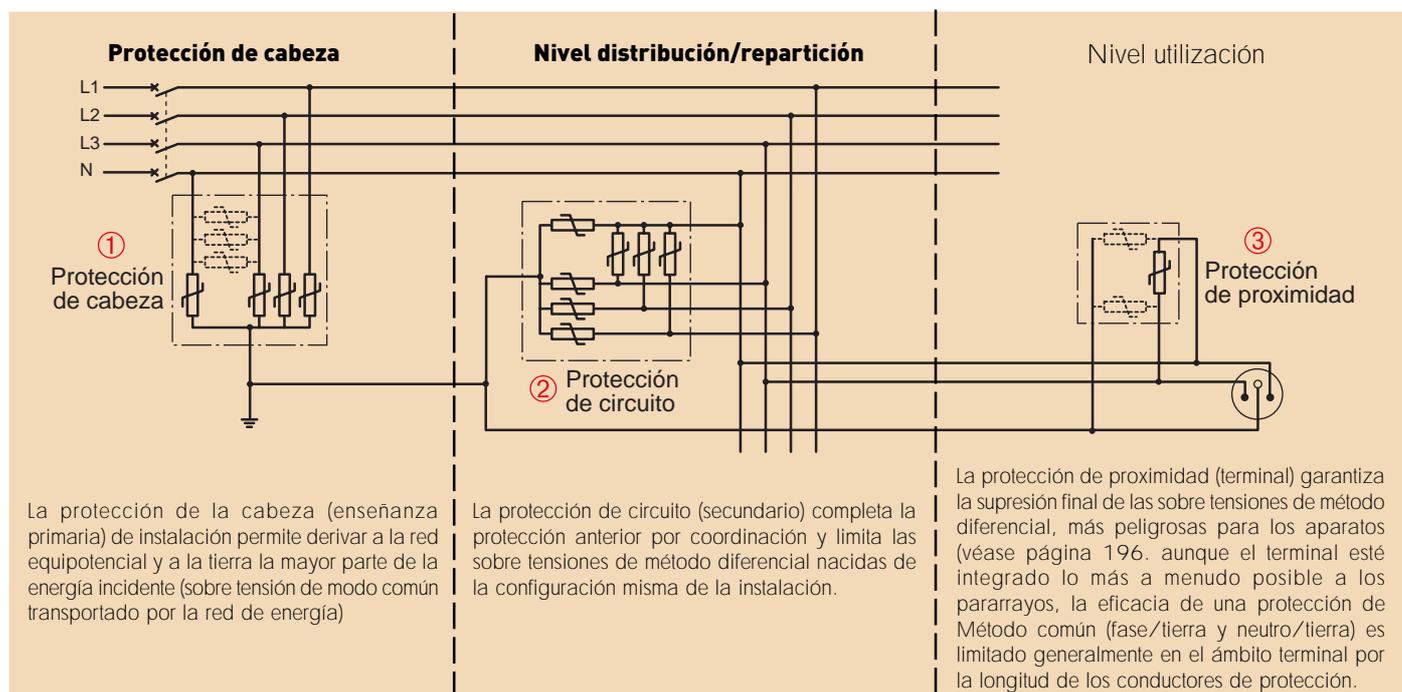


Un fenómeno similar puede producirse en TN-S si los dos conductores N y PE se separan o son mal equipotencializados. Nos arriesgamos a que la corriente tome como camino de vuelta al conductor de neutro en vez de tomar el conductor de protección y la red de masa.



Es esencial verificar que los pararrayos puestos en marcha sean compatibles con el régimen de neutro. Los regímenes compatibles están dados por cada uno de los pararrayos Legrand.

Puede definirse un modelo teórico de protección óptimo, aplicable a todos los regímenes de neutro, aunque en los hechos, los limitadores de sobretensión asocian prácticamente siempre protección de modo común y protección de modo diferencial (excepto en modelos IT o TN-C).



La protección activa Lógica de configuración: localización de los pararrayos

Un limitador de sobretensión debe siempre instalarse lo más cerca posible del material que debe protegerse, pero una protección terminal ③, sola, no está en condiciones de limitar suficientemente la energía.
Un limitador de sobretensión colocado a la cabeza de la instalación ①, permite solamente derivar la mayor parte de la energía pero no protege toda la instalación y los materiales que se conectan allí.
La protección de circuito ②, complementaria a la protección de cabeza, asegura una protección dependiente de la amplitud de la instalación y la naturaleza de los riesgos (exposición/sensibilidad de los materiales).
Una protección limitador de sobretensión eficaz requiere generalmente la combinación de varios limitadores de sobretensión.

Sensibilidad de los materiales	Nivel de protección (ver página 113)		
	Estandar ★	Elevado ★★	Muy elevado ★★★
Muy sensible (informática, electrónica)	① + ③	① + ③	① + ② + ③
Sensible (electrodomésticos)	①	① + ②	① + ② + ③
Poco sensible (motores, calefactores)	①	①	① + ②

Elección números, tipo y posición de los pararrayos página 296



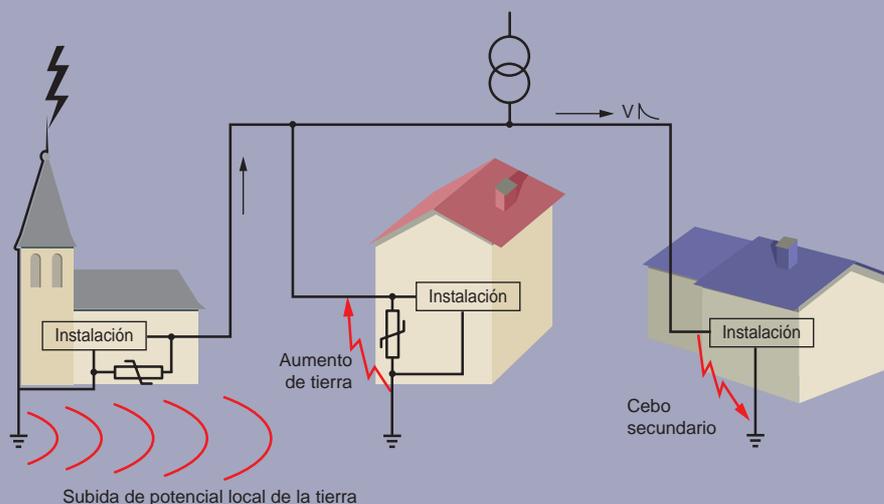
La abreviatura **imp** (del inglés **impulso**) se utiliza para designar las características de impulsión de tensión V_{imp} y de corriente I_{imp} . Para los limitadores de sobretensión, se recomienda ajustarse a la norma Francesa NF C 61-740 (EN 61-643-11).

La sigla **SPF** designa de manera sintética el "Sistema de Protección Rayo" que incluye toda la instalación exterior (limitadores de sobretensión) e interior (pararrayos) que protege una obra o una estructura.



El aumento del potencial de tierra

El rayo que cae sobre un pararrayos o incluso directamente sobre el suelo, causa un aumento local del potencial de tierra. Éste se propaga entonces a las instalaciones vecinas mediante sus tomas a tierra y sus redes de masa, y a las instalaciones más distantes mediante la red de distribución.



Cerca del choque del rayo, una sobre tensión, llamada aumento de tierra, se propaga de la tierra hacia la red, o a través de la instalación (con efectos destructivos), o por cebo de los pararrayos. En este último caso, la instalación se protege, pero otras instalaciones abastecidas por la misma red no lo son inevitablemente. La sobre tensión V , que se propaga, puede entonces causar cebos secundarios destructivos entre conductores activos y forma, en instalaciones más distantes cuya tierra se hace referencia a un diferente potencial.

Este tipo de fenómeno puede constatarse en las instalaciones de los edificios próximos a una iglesia cuyo campanario se fulminó.

Para limitar las consecuencias de tales fenómenos siempre difíciles de prever, sería necesario:

- equipar de limitadores de sobretensión todas las instalaciones abastecidas por una misma red BT
- volver equipotenciales todas las redes de masa mediante tomas a tierra interconectadas. Una solución realizable sobre edificios agrupados (fábricas), pero ilusorio en el sector habitacional.

Debemos tener en cuenta que el conductor neutro, regularmente puesto a tierra asegura una determinada equipotencialidad de la red, pero ésta no se extiende a la instalación aunque las tomas a tierra estén separadas (régimen TT). Una distribución en régimen TN sería a este respecto más favorable.

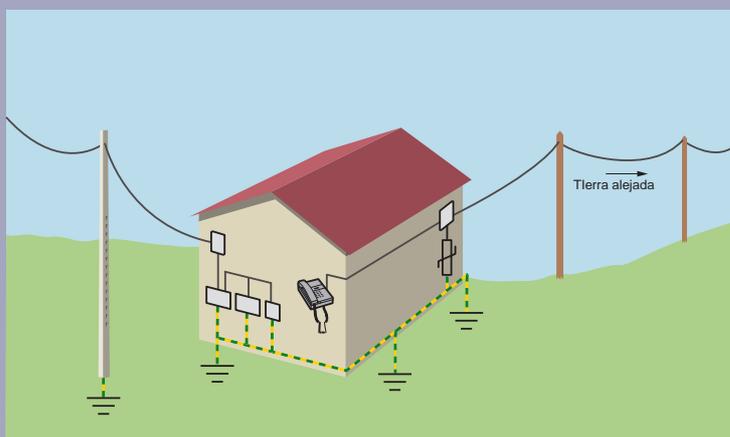
Agreguemos finalmente que, aunque estén protegidas naturalmente contra los efectos directos, las redes de distribución subterráneas pueden también inducir aumentos de tierra.



Si las instalaciones eléctricas se refieren a una red de masa conectada a una tierra local, las instalaciones telefónicas generalmente se refieren a una "tierra alejada" cuyo potencial no está influenciado por el de la "tierra eléctrica".

Entonces de un choque de rayo, aparecerá una sobre tensión entre las masas de la instalación y la línea telefónica, con peligro para el usuario del teléfono. El riesgo existe en cualquier parte que sea fulminada la red, telefónica o la de energía.

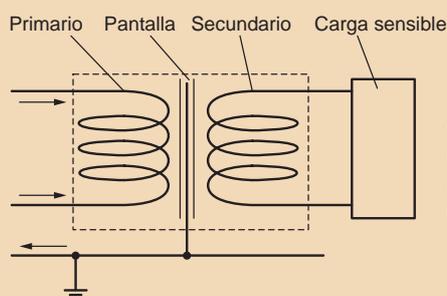
La solución consiste en los casos extremos en separar galvánicamente la red de teléfono o simplemente instalar pararrayos específicos cuyos bornes de tierra deben estar bien conectados a la red de masa de la instalación.



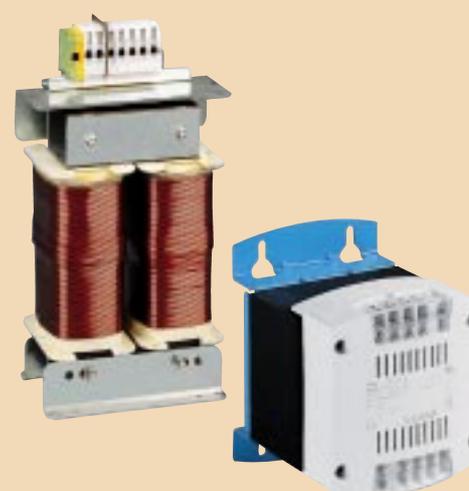
Los pararrayos Legrand Ref. 038.28 para líneas analógicas y Ref. 038.29 para líneas numéricas son muy indicados para las aplicaciones telefónicas (a pedido)

La separación eléctrica de los circuitos sensibles

Los transformadores de separación de circuito permiten aislar galvánicamente los circuitos sensibles en una gama de frecuencia bastante bajo (≤ 100 kHz) para los modelos sin pantalla, y hasta frecuencias más elevadas (1 a 30 MHz) para los modelos con pantalla.



el transformador debe colocarse lo más cerca posible del aparato que debe protegerse.



Transformadores de comando y de separación de circuitos con pantalla

Atención: la protección por separación eléctrica no debe conectar las masas del circuito separado de un conductor de protección (véase página 86). Se dan algunos ejemplos de resultados de atenuación de los transformadores (página 96).

Reglas de construcción

Los fabricantes en general, y Legrand en particular, asumen la responsabilidad de la construcción de los aparatos y equipamientos.

La conformidad con normas internacionales, el aspecto reglamentario, los medios y las indicaciones de puesta en marcha y de uso acompañan todos los productos. Pero la buena elección de éstos con relación a las condiciones reales, su posible preparación, su cohabitación, su integración en instalaciones a menudo complejas están en los conocimientos técnicos de los profesionales electricistas. Y allí, numerosas normas no se escriben...

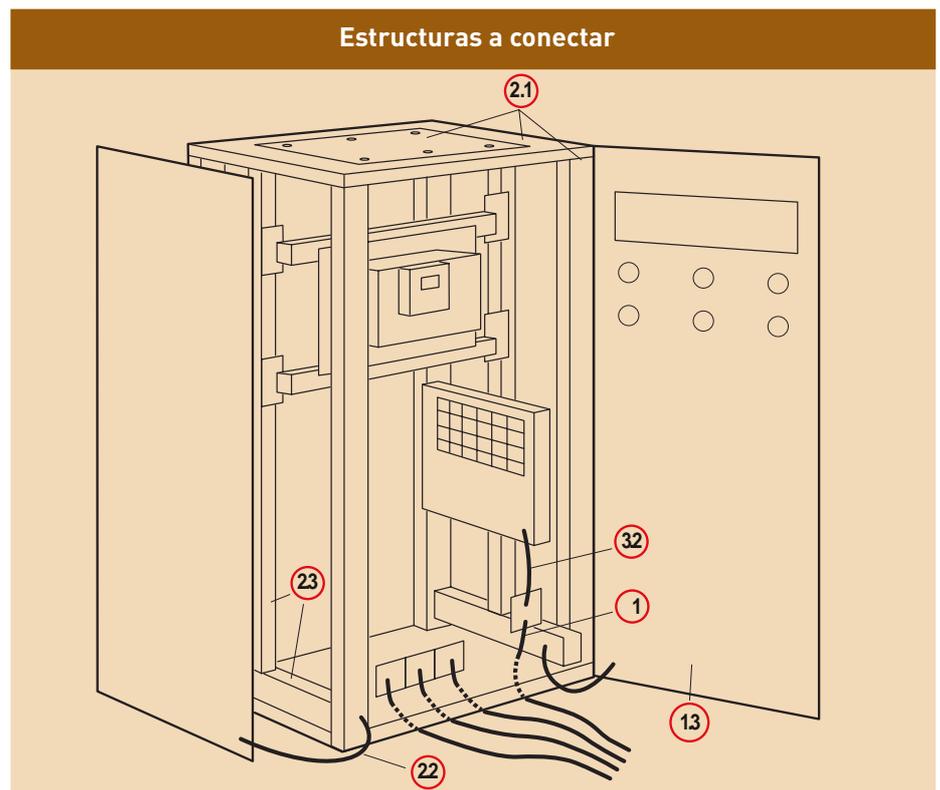
1 REGLAS DE CONSTRUCCION DE ENVOLVENTES DE CLASE I

Las reglas descritas a continuación sintetizan las exigencias de las normas internacional EN 60204-1, EN 60439-1, CEI 1140 y las recomendaciones constructivas del buen hacer.

Se consideran masas todas las partes metálicas directamente accesibles por el usuario, aunque estén recubiertas de pintura o de otro revestimiento, salvo si demuestran poseer cualidades de aislamiento reconocidas y probadas con el espesor depositado (ejemplo: película pegada).

El concepto de masa se extiende igualmente a todas aquellas partes metálicas inaccesibles por el usuario pero accesibles a un operario, aunque esté calificado, incluso tras el desmontaje, en la medida en que sus posiciones o dimensiones presenten un riesgo de contacto no despreciable (ejemplos: rieles, pletinas, soportes de aparatos, ...), así como aquellas partes metálicas intermedias inaccesibles pero en contacto mecánico con masas, en la medida en que puedan propagar un potencial (ejemplo: transmisión de un mecanismo). Las partes totalmente inaccesibles (al usuario y a los operarios), las masas que por sus pequeñas dimensiones (menos de 50 x 50 mm) no pueden estar en contacto

con el cuerpo (salvo si pueden agarrarse con los dedos o caben en la mano), los núcleos de contactores, electroimanes, ... no se consideran masas y pueden no estar conectados a un conductor de protección.



1 Conexión del conductor de protección

Conexión del conductor de protección Borne principal: borne conectado al (a los) chasis o a la estructura principal, destinado a la conexión del conductor de protección de la línea de alimentación. Debe estar situado cerca de los bornes de entrada.

Este borne debe calibrarse para recibir un conductor de protección de la sección definida en la tabla I y marcarse con el símbolo 

La reconexión bajo un mismo punto de apriete no está autorizada. En caso necesario, se colocarán dos bornes independientes. A excepción de las barras colectoras de los conjuntos de potencia destinadas a su conexión mediante terminales, un simple orificio roscado o una lengüeta para clavija soldable no se consideran suficientes. No es admisible la necesidad de raspar la pintura o de retirar un revestimiento.

2 Equipotencialidad de masas

Las masas deben estar eléctricamente conectadas entre sí a fin de que no pueda crearse ningún potencial peligroso entre masas simultáneamente accesibles. Dicha continuidad puede obtenerse mediante el propio método de construcción o utilizando conductores de conexión equipotencial.

2.1 – Continuidad de masas por construcción

Deberá estar bien protegida contra deterioro mecánico y químico. La compatibilidad electroquímica entre metales se comprobará según lo indicado en el cuadro de la página xxx. El desmontaje de un elemento no deberá implicar discontinuidad en la conexión. A tal efecto, las masas no deberán estar conectadas «en serie».

En la medida de lo posible, la conexión eléctrica deberá depender de la fijación mecánica (por ejemplo, utilizando un mismo tornillo), de modo que la segunda función no pueda desempeñarse sin la primera.

Se recomienda la redundancia de los

puntos de conexión. En lo que se refiere a las tapas, placas y piezas similares, se consideran suficientes las fijaciones metálicas, tornillos, pasadores, remaches, siempre que se haya eliminado todo resto de pintura y que no haya ningún equipo eléctrico (sin su propio conductor de protección) fijado a dichos puntos. Los sistemas de garras, clavos, arandelas de picos, remaches acanalados que atraviesan el revestimiento de superficie, deben comprobarse según el ensayo de continuidad del punto 4.

2.2 – Continuidad de masas mediante conductores de conexión equipotencial

Cuando las masas (puerta, pantalla de protección, panel de cierre,...) no soportan ningún material o equipo, la conexión equipotencial de dichas masas debe efectuarse mediante un conductor con una sección mínima de 2,5 mm² si está protegido mecánicamente (conductor de un cable multiconductores, conductor aislado con funda de protección, conductor fijado a lo largo de todo su recorrido...). Esta sección será de 4 mm² si el conductor de conexión no está protegido o si está sometido a maniobras repetidas (apertura de una puerta, manipulación).

Las conexiones de este conductor deberán tener un contacto fiable con las

masas conectadas (pintura eliminada, protección contra la corrosión y el aflojamiento); la comprobación de la continuidad se efectuará según las modalidades del punto 4.

NOTA: las conexiones equipotenciales efectuadas con conductores son generalmente independientes de las funciones mecánicas y, por lo tanto, podrían quedar sin conectar después de una operación de mantenimiento. Para limitar dicho riesgo, las conexiones estarán lo más cerca posible de las fijaciones e irán marcadas de modo inequívoco:

conductores con doble coloración verde/amarillo, o marcadas en cada uno de sus extremos con dichos colores y con el símbolo cerca de las conexiones 

2.3 – Conexión de equipos

Cuando haya aparatos o equipos fijados a las masas y, especialmente, cuando éstas sean amovibles (puertas, paneles, placas...), el equipo fijado deberá conectarse directamente con un conductor de protección si éste posee un borne previsto al efecto. La sección de este conductor se determinará en función de la de los conductores de fase que alimentan el aparato en cuestión según lo indicado en la tabla I. Los bornes para los conductores PE no deben desempeñar otras funciones, por ejemplo de fijación mecánica.

Tabla I (según tabla 10.22 de la NCH Elec. 4/84)

Sección nominal de los conductores activos mm ²	Sección nominal del conductor de protección mm ²
1,5	1,5
2,5	2,5
4	2,5
6	4
10	6
16	6
25	10
35	10
50	16
70	16
95 hasta 185	25
240 hasta 300	35
400 o más	50

3 Utilización de las masas como conductor de protección

Se permite esta utilización siempre y cuando se respeten ciertas precauciones. Sin embargo, cabe distinguir la aplicación localizada o puntual (punto 3.1) de la aplicación general o sistemática (punto 3.2), según la importancia del uso de dicha medida. Las masas utilizadas como conductores de protección deberán presentar una conductancia suficiente y equivalente a la que resultaría del empleo de conductores de cobre. Esta característica se comprobará me-

dante los ensayos del punto 4 (comprobación de la continuidad) y del punto 5 (comprobación del comportamiento ante cortocircuitos).

Las eventuales conexiones entre los diferentes elementos deberán protegerse del deterioro mecánico, químico y electrodinámico. El riesgo de desmontaje de un elemento que pueda provocar la interrupción del circuito de protección debe limitarse por alguno de los siguientes procedimientos:

– asociando una función indispensable a la conexión eléctrica de modo que el aparato o equipo no pueda funcionar normalmente, o que aparezca como incompleto en un sencillo examen visual



El uso de rieles y de bornes Viking verde/amarillo facilita la llegada de los conductores, pero permite, también, que la conexión de los “limitadores de sobre tensión” se haga “au plus court” para respetar las reglas de los 0,5 metros (ver página 124).



Equivalencia de sección de los rieles de apoyo en acero utilizados como conductores de protección

Sabiendo que pueden ser interconectados perfectamente por su montaje y conectados por los bloques Viking adaptados, los rieles de fijación (riel DIN en lenguaje corriente) pueden utilizarse como conductor de protección.



Tipo de riel (o perfil) según la norma EN 60715	Sección equivalente en cobre (conductor PE)
perfil sombrero TH 35 x 5,5	10 mm ²
perfil asimétrico G 32	35 mm ²
perfil sombrero TH 35 x 7,5	16 mm ²
perfil sombrero TH 35 x 15 normalizado grosor 2 mm.	50 mm ²
perfil sombrero TH 35 x 15 Legrand no normalizado grosor 1,5 mm. Llamado riel Omega	35 mm ²

Los bornes Viking garantizan con el riel una conexión de excelente calidad, de una resistencia del orden de 1mΩ. Las partes se conciben para resistir a los esfuerzos mecánicos y no presentan dificultades internas. Están protegidos contra la corrosión. La conductibilidad de los rieles de apoyo utilizados se ajusta a las reglas de determinación de las normas internacionales NF C 15-100 y CEI 947.7.2. Y certificada por el informe LCIE 285380.

Los bornes Viking sólo son desmontables del riel con la ayuda de una herramienta y no pueden interrumpirse.

Los bornes Viking para conductores de protección se estudiaron específicamente y se probaron para el uso definido. Se ajustan a la norma internacional CEI 947.7.2, UL 1059, UL 467, CSA 22-2.

Es importante destacar que la utilización de un perfil de acero, como conductor PEN, no está permitido por las normas internacionales CEI 947.7.2 § 7.1.7 y CEI 364 § 543.2.5.

En otros términos la circulación permanente de una corriente entre el (los) conductor (es) y el riel de acero está prohibida. Esta aplicación sólo se admite sobre rieles de cobre o de aluminio.

Por esto, ninguna intensidad nominal (I permanente) se indica sobre estos bloques.


NF C 15-100 (Francia) capítulo 543-2

No está permitido el uso de elementos metálicos como conductores de protección, o de equipotencialidad:

- caminos de cable y análogos
- canalización de fluidos (agua, gas, calefacción...)
- elementos estructurales del edificio
- cables portadores de conductores

– limitando el número de piezas que constituyen el circuito de protección a una sola, en el caso de una aplicación localizada de esta medida (punto 3.1)
 – utilizando únicamente la estructura o el chasis principal del aparato o del equipo, en el caso de una aplicación generalizada (punto 3.2).

3.1 – Utilización localizada de una masa como conductor de protección

Esta medida se aplica generalmente cuando uno o varios aparatos que no disponen de borne de conexión para un conductor de protección propio (ejemplo: pilotos luminosos con base metálica, órganos metálicos de maniobra...) están fijados a un elemento como puede ser una carcasa, panel, puerta... Además de las reglas generales ya definidas, deberán tomarse las siguientes precauciones:

- el contacto eléctrico entre el elemento soporte y el aparato (o aparatos) debe tratarse a fin de garantizar su fiabilidad (eliminación de la pintura, protección contra la corrosión, apriete continuo...)
- la conexión equipotencial complementaria

entre el elemento soporte y el circuito principal de protección (tanto constituido por masas como por conductores) debe dimensionarse en función de la corriente máxima, igual a la suma de las corrientes de cada aparato fijado, según lo indicado en la tabla II.

El valor de la corriente de cortocircuito (punto 5) se limitará a la que corresponda a la alimentación del aparato fijado más potente.

3.2 – Utilización generalizada de masas como conductor de protección

Esta medida puede aplicarse cuando se dispone de una estructura conductora continua de dimensiones suficientes como para efectuar la interconexión de las otras masas y de los conductores de conexión equipotenciales. Por lo tanto, deben preverse dispositivos de conexión o medios de conexión en consecuencia, incluso para los aparatos que pudieran instalarse posteriormente (por ejemplo, en el caso de conjuntos de armarios).

• 3.2.1

La sección equivalente S deberá permitir la conducción de

una eventual corriente de cortocircuito, calculada sobre la base de la corriente máxima limitada por el dispositivo que protege la alimentación del equipo, así como del tiempo de corte de dicho dispositivo.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

S: sección del conductor de protección en mm²

I: valor eficaz de la corriente de falla en A
 t: tiempo de funcionamiento del dispositivo de corte en seg

K: coeficiente dependiente de las temperaturas admisibles, del metal que lo compone y del aislamiento.

Generalmente, puede considerarse un valor de K=50, correspondiente a un incremento de temperatura del acero de 80 °C.

• 3.2.2

Si no se conoce el eventual bucle de falla o, lo que es lo mismo, el dispositivo de protección (lo que ocurre generalmente con los armarios y cajas que se venden «vacíos»), deberá comprobarse que la sección conductora equivalente del material componente es al menos igual a la del conductor de protección de cobre necesario para la potencia instalada (véase la tabla I).

En la práctica, se podrá comprobar la sección equivalente al cobre del material utilizado mediante la fórmula:

S material = n x S cobre (válida únicamente para condiciones de temperatura y de instalación similares).
 Con n = 1,5 para el aluminio, n = 2,8 para el hierro, n = 5,4 para el plomo y n = 2 para el latón (CuZn 36/40).

Tabla II (EN 60439-1)

Corriente nominal de uso (A)	Sección mínima del conductor de equipotencialidad (mm ²)
le ≤ 25	2,5
25 < le ≤ 32	4
32 < le ≤ 63	6
63 < le ≤ 80	10
80 < le ≤ 160	16
160 < le ≤ 200	25
200 < le ≤ 250	35

4 Comprobación de la continuidad de las masas

La resistencia del circuito de protección se verifica entre el borne principal de conexión del conductor de protección y cualquier masa del aparato o del equipo. La medición se lleva a cabo utilizando el método voltímetro amperímetro o un micro-ohmiómetro, haciendo pasar una corriente alterna de 50 Hz durante al menos 10 s.

La resistencia debe medirse (o calcularse) para un valor de corriente de 25 A y no debe ser superior a 0,05 Ω .

NOTA: estos valores no tienen en cuenta eventuales exigencias de equipotencialidad ligadas a la compatibilidad electromagnética (ver página 141).

5 Comprobación del comportamiento ante cortocircuito

5.1 – Conductores de protección y masas utilizadas como tales

Estos se someten a una corriente de cortocircuito definida en función de las siguientes modalidades:

– o bien basándose en la sollicitación térmica I^2t limitada por el dispositivo de protección, aplicando un valor I_{cw} durante un segundo igual a $\sqrt{I^2t}$ (punto 3.2.1)

– o bien aplicando un valor igual al de la sollicitación térmica máxima admisible por el conductor de protección necesario para el equipo, o la parte afectada, cuando no se conoce el dispositivo de

protección (punto 3.2.2). La corriente de ensayo I_{cw} durante 1 s es entonces igual a $\sqrt{I^2t}$ (ver página 223).

5.2 – Masas accidentalmente bajo tensión como consecuencia de la separación de un conductor

Aunque la probabilidad de que esto suceda es baja, debe tenerse en cuenta en aquellos equipos alimentados con una red en régimen de neutro TN o IT que no posean protección diferencial complementaria.

En caso de falla entre fase(s) y la parte metálica conectada al conductor de protección, se puede generar la circulación de una corriente de cortocircuito limitada únicamente por los dispositivos de protección contra

sobreintensidades. (Bajo el régimen IT, este riesgo sólo se presenta en la 2ª falla sobre otra fase y la corriente de cortocircuito es inferior a la del régimen TN).

En tales aplicaciones, deberá comprobarse que las masas en cuestión, así como las conexiones equipotenciales y su conexión al conductor de protección, son capaces de dejar pasar la corriente de falla limitada por el aparato de protección para el caso de una corriente igual al 60% de la I_{cc} trifásica que se supone.

El valor de la sollicitación térmica I^2t limitada permitirá determinar la corriente de prueba I igual a $\sqrt{I^2t}$ durante 1 seg. A título indicativo, se pueden tomar los valores de ensayo I_{cw} de la tabla III según la corriente de falla fase/PE.

Tabla III

Corriente de falla fase/PE (kA)	Corriente de ensayo I_{cw} (A)	Aparato de cabeza
3	200	modular $I_n \leq 63$ A
6	250	modular $63 < I_n \leq 125$ A
10	700	caja moldeada $I_n \leq 125$ A
15	1000	caja moldeada $125 < I_n \leq 400$ A
20	2000	caja moldeada $I_n > 400$ A
35	3800	caja moldeada $I_n \leq 1000$ A

6 Compatibilidad electroquímica de los metales

Un límite máximo de 300 mV se considera aceptable para limitar el fenómeno electroquímico entre dos metales (zona verde de la siguiente tabla). Este valor puede incrementarse hasta 400 mV en condiciones secas permanentes (zona azul).

Ámbito de compatibilidad electroquímica de los metales (en el agua al 2% de NaCl)

	Oro	Inoxidable 18/8	Plata	Níquel	Cobre	Latón	Estaño	Plomo	Acero 25 % Ni	Duraluminio	Fundición	Cuproaluminio	Aluminio	Acero	Alumag	Cadmio	Hierro	Cromo	Aluzinc	Zinc	Magnesio
Oro		100	220	300	440	470	670	710	800	810	820	870	960	965	970	970	975	1070	1095	1270	1820
Inoxidable 18/8	100		100	180	320	350	550	590	680	690	700	750	840	845	850	850	855	950	975	1150	1700
Plata	220	100		80	220	250	450	490	580	590	600	650	740	745	750	750	755	850	875	1050	1600
Níquel	300	180	80		140	170	370	410	500	510	520	570	660	665	670	670	675	770	795	970	1520
Cobre	440	320	220	140		30	230	270	360	370	380	430	520	525	530	530	535	630	655	830	1380
Latón	470	350	250	170	30		200	240	330	340	350	400	490	495	500	500	505	600	625	800	1350
Estaño	670	550	450	370	230	200		40	130	140	150	200	290	295	300	300	305	400	425	600	1150
Plomo	710	590	490	410	270	240	40		90	100	110	160	250	255	260	260	265	360	385	560	1110
Acero 25% Ni	800	680	580	500	360	330	130	90		10	20	70	160	165	170	170	175	270	295	470	1020
Duraluminio	810	690	590	510	370	340	140	100	10		10	60	150	155	160	160	165	260	285	460	1010
Fundición	820	700	600	520	380	350	150	110	20	10		50	140	145	150	150	155	250	275	450	1000
Cuproaluminio	870	750	650	570	430	400	200	160	70	60	50		90	95	100	100	105	200	225	400	950
Aluminio	960	840	740	660	520	490	290	250	160	150	140	90		5	10	10	15	110	135	310	860
Acero	965	845	745	665	525	495	295	255	165	155	145	95	5		5	5	10	105	130	305	855
Alumag	970	850	750	670	530	500	300	260	170	160	150	100	10	5		0	5	100	125	300	850
Cadmio	970	850	750	670	530	500	300	260	170	160	150	100	10	5	0		5	100	125	300	850
Hierro	975	855	755	675	535	505	305	265	175	165	155	105	15	10	5	5		95	120	295	845
Cromo	1070	950	850	770	630	600	400	360	270	260	250	200	110	105	100	100	95		25	200	750
Aluzinc	1095	975	875	795	655	625	425	385	295	285	275	225	135	130	125	125	120	25		175	725
Zinc	1270	1150	1050	970	800	735	600	560	470	460	450	400	310	305	300	300	295	200	175		550
Magnesio	1820	1700	1600	1520	1380	1350	1150	1110	1020	1010	1000	950	860	855	850	850	845	750	725	550	



Esta tabla debe considerarse como una ayuda para la elección de soluciones. No permite prejuzgar completamente el comportamiento real, que será influido también por numerosos otros factores: composición del electrolito, pH, aspecto de corrosión química, cantidad de agua, temperatura, oxigenación del medio... (ver página 64).

2 CONSTRUCCION DE CONJUNTOS DE CLASE II

Únicamente las envolventes realizadas con material aislante pueden acogerse a la denominación «protección por aislamiento total»: se las designa con la clase II A.

Esto no excluye que carcassas metálicas puedan igualmente pretender aportar un nivel de seguridad equivalente al de la clase II. A estas carcassas se las designa con la clase II B.

Por el contrario, una carcassa aislante no pertenece obligatoriamente a la clase II. Por ejemplo, puede estar realizada en clase I si las partes metálicas, o los aparatos que contiene, están conectados a un conductor de protección.

1 Carcassas de clase II A

1.1 – Continuidad de la protección aislante

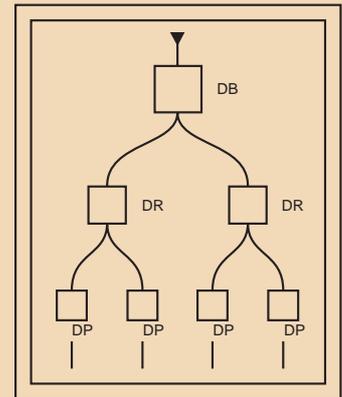
La carcassa debe estar diseñada de tal manera que ninguna tensión de falla pueda transmitirse al exterior. Debe aportar un grado de protección igual al menos a IP 3XD en situación de instalación.

Esta continuidad de protección debe igualmente estar garantizada en las caras inaccesibles (por ejemplo, caja empotrada) si existe riesgo de contacto, incluso fortuito (conductor suelto), con un elemento exterior conductor tal como una estructura metálica o construcción de obra. En este caso particular, la protección se comprobará desde el interior del producto hacia el exterior con un grado igual a IP 3x (ó 2xC) como mínimo.

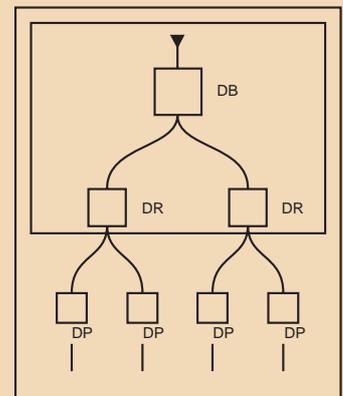
Este nivel de protección podrá limitarse a IP 2x (riesgo de penetración de animales) si se aplican medidas que eviten cualquier tipo de desplazamiento de los conductores (punto 2.2).

Disposiciones según capítulo 558 de la norma NFC 15 - 100 (Francia)

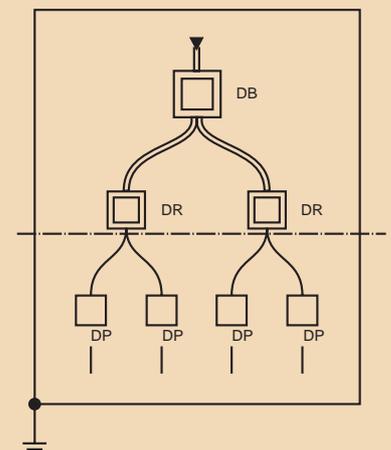
**Clase II A
de carcassa aislante
No se toma ninguna
disposición en particular**



**Clase II B
de carcassa metálica
Los materiales que no son
de clase II se separan
mediante
un aislamiento
complementario**



**Clase I con una parte en
clase II
La parte situada antes de los
dispositivos DR está
fabricada
con materiales de
clase II y/o un
aislamiento complementario**



DB: automático de conexión no diferencial
DR: dispositivo de corriente diferencial residual
DP: dispositivo de protección contra
sobrecorrientes (fusibles, automáticos)

Si la carcasa va a ser atravesada por partes conductoras, cual quiera que sean sus dimensiones (mandos de aparatos, cerrojos, bisagras, remaches, fijaciones murales...), estas últimas deberán estar preferentemente aisladas en el interior de la carcasa a fin de que no puedan quedar bajo tensión como consecuencia de una falla. Los tornillos aislantes no deben poder ser sustituidos por tornillos metálicos si esto perjudica al aislamiento.

1.2 – Chasis y partes metálicas internas

No deben estar conectados al conductor de protección ni en contacto eléctrico con partes que atraviesen la carcasa. Debe colocarse la marca de manera visible en el interior y el exterior de la carcasa.

Si por razones funcionales fuese necesaria una conexión a tierra (CEM), dicha conexión no se marcará con la doble coloración verde/amarillo (generalmente se utiliza el negro), sino que el borne o los bornes se marcarán con TE o con el símbolo TH . Deberán añadirse las explicaciones complementarias correspondientes (modo de empleo, documentación técnica). Para aquellos conjuntos en los que exista riesgo de conexión inesperada al conductor de protección (chasis, barra, colector...), o una conexión posterior (mantenimiento, evolución de la instalación...), se colocará una advertencia del tipo: «Atención, conjunto de doble aislación. Masas no conectadas al conductor de protección».

Los chasis y las partes metálicas del interior de la carcasa deben considerarse potencialmente peligrosos, incluso para un operario calificado, en caso de falla del aislamiento principal de los aparatos que soportan o en caso de que se suelte un conductor. En la práctica, dicho riesgo puede limitarse incorporando únicamente aparatos de clase II (incluyendo placas de bornes, repartidores...), o presentando un aislamiento equivalente con relación a dichos chasis y partes metálicas (asimilables en tal caso

a masas accesibles), y tratando la circulación de los conductores como se describe en el punto 2.2.

2 Carcasas de clase II B

La clase II B puede obtenerse mediante dispositivos constructivos (punto 2.1) o mediante aislación complementaria de la instalación (punto 2.2).

2.1 – Disposiciones constructivas

La cara interna de la carcasa está recubierta con un revestimiento aislante continuo hasta la penetración de los conductores. Barreras aislantes rodean todas las partes metálicas en la que pudiese producirse un contacto fortuito. Los aparatos, conexiones y todos los materiales instalados, garantizan distancias de aislación y líneas de fuga entre la carcasa y las partes peligrosas (partes activas, conductores y borne PE, partes metálicas separadas solamente por una aislación funcional) en cualquier circunstancia, accidentes incluidos (desprendimiento de un conductor, aflojamiento de los bornes, desplazamiento bajo el efecto de un cortocircuito).

2.2 – Aislación complementaria de la instalación

Esta disposición puede utilizarse para cajas y armarios metálicos instalados en origen (T.G.B.T) y, más especialmente, para la parte comprendida entre el origen de la instalación y los bornes de salida de los dispositivos diferenciales que garantizan la protección de las salidas. La normalización prevé la posibilidad de conseguir una seguridad equivalente a la de la clase II dotando a los aparatos de un aislamiento complementario al de la instalación: separadores aislantes, aislamientos de las guías de soporte... Esos dispositivos teóricos son difíciles de instalar y, frecuentemente, poco industriales.

Por lo tanto, es también preferible en este caso incorporar exclusivamente materiales de clase II, limitándose el tratamiento del aislamiento a los cables y conductores.

A menos que estos últimos sean de clase II, deberán disponerse en conductos o canaletas aislantes. Pueden ser suficientes sistemas tales como guías de cables, abrazaderas o incluso trenzado mediante bridas, siempre que la fijación que aseguran pueda evitar cualquier contacto fortuito con la carcasa. El mantenimiento de las zonas próximas a las conexiones puede efectuarse mediante protectores de bornes apropiados. Los sistemas con varios puntos de conexión simultáneo (peines) se consideran como inmóviles.

3 Conductores de protección (PE)

Si uno o varios conductores de protección, así como sus bornes, están protegidos por la carcasa, deberán estar completamente aislados de las partes activas, partes metálicas y chasis.

Incluso en el caso de que los aparatos situados en la carcasa tengan bornes para conductor PE, estos últimos no deberán estar conectados.

Esta medida no se opone a que conductores de equipotencialidad conecten las masas de los aparatos entre sí por razones funcionales, siempre que dichos enlaces no estén conectados al conductor de protección. Si hubiese que instalar un borne de masa exterior, deberá identificarse inequívocamente mediante el símbolo  completado con el símbolo .

Los conductores de protección y sus bornes estarán protegidos como las partes activas y, por lo tanto, deberán presentar un grado de protección IP xxB (ó xxA con protector de bornes si $> 16 \text{ mm}^2$) cuanto la tapa de la carcasa esté abierta. Podrá ser necesaria la instalación de tapas para limitar los riesgos de contacto mutuo con conductores provistos de un aislamiento principal (conductores de cableado) y/o los riesgos de contacto fortuito con un conductor desprendido.

4 Comprobación de las propiedades dieléctricas

Por construcción, las características de aislamiento de las carcasas no deberían verse afectadas por las solicitaciones de servicio capaces de disminuirlas (choques e impactos mecánicos, lluvia, chorreo de agua, contaminación y depósitos ocasionalmente conductores, corrosión...).

Los ensayos de aislación consisten en aplicar las siguientes tensiones.

- Tensión de ensayo de frecuencia industrial (umbral de detección 10 mA): 1mn a 3.750 V para las carcasas con tensión de aislación $\leq 690 \text{ V}$, 1mn a 5.250 V para las carcasas con tensión de aislación $\leq 1.000 \text{ V}$.

- Tensión de ensayo de choque (onda 1,2/50 μs), 3 veces por cada polaridad:

6 kV para las carcasas con tensión de aislación $\leq 690 \text{ V}$

8 kV para las carcasas con tensión de aislación $\leq 1.000 \text{ V}$.

Las tensiones de ensayo se aplican:

- entre una lámina metálica que materializa la superficie de acceso exterior y todas las partes interiores de la carcasa conectadas entre sí (partes activas, chasis y partes metálicas, tornillos, inserciones, dispositivos de cierre y conductores de protección).

Aplicada sobre toda la superficie exterior, incluyendo la cara trasera, la lámina metálica se empuja eventualmente con una palanca de ensayo normalizada, debiendo estar igualmente conectada a los tornillos o elementos de fijación de la carcasa.

- entre todas las partes interiores de la carcasa conectadas entre sí (partes activas, chasis y partes metálicas, tornillos, inserciones, dispositivos de cierre...) y los conductores de protección y sus bornes.

NOTA: cuando las partes interiores o su ubicación no están claramente identificadas (armarios y cajas suministrados «vacíos», cajas, canales, conductos...), pueden materializarse mediante una lámina metálica aplicada a la cara interna, llenando con bolas conductoras el volumen interior, aplicando una pintura conductora, o mediante cualquier otro sistema representativo.

Los ensayos no deben provocar contorneo, saltos de arco ni perforaciones.

3 PRECAUCIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS CONJUNTOS CONTRA PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

En materia de compatibilidad electromagnética, las precauciones que se tomen para la instalación de los aparatos son tan importantes como las propias características de dichos aparatos. Las normas que se describen a continuación deben aplicarse en la realización de los conjuntos de aparatos y no cabe pensar en solucionar correctamente un problema de CEM si dichas normas no se respetan.

1 Equipotencialidad

La equipotencialidad consiste en la creación de una referencia de potencial común a varios elementos. No debe confundirse con la conexión a tierra, necesaria para la seguridad de las personas.

El propio concepto de masas distingue entre seguridad y CEM.

- Bajo el punto de vista de la normativa, designa los elementos metálicos accesibles de los materiales que pudiesen ser peligrosos como consecuencia de una falla. Lo que resulta peligroso es la diferencia de potencial entre dos masas, una de las cuales puede ser la tierra.
- En el marco de la CEM, este concepto es mucho más amplio y todos los elementos metálicos, incluyendo los inaccesibles, formen parte o no de los materiales (estructuras, chasis, armaduras...), que deban estar referenciados con el potencial común, se asimilan a masas.

Los técnicos en electrónica conocen bien este concepto y vienen aplicándolo desde hace mucho tiempo al diseñar sus tarjetas y en la conexión de chasis, utilizando pantallas y cables blindados.

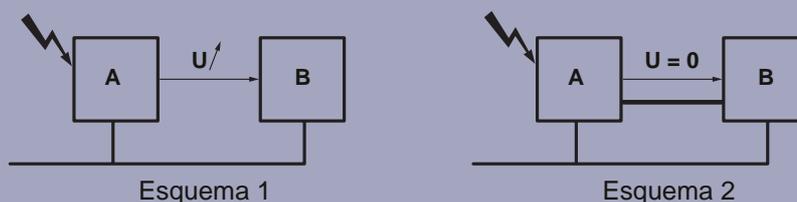


Actualmente, la mayoría de las normas de productos incluyen los requisitos de la CEM (directiva CEE / 89 / 336) y la conformidad con los mismos se autentifica con la marca CE. Si las características de un aparato aislado son justificables mediante ensayos, las de un conjunto de aparatos lo son mucho menos y las de una instalación completa menos aún. Dicho de otro modo, los ensayos no pueden simular la diversidad de todas las instalaciones y de las características específicas de su entorno.

Por lo tanto, la presunción de conformidad se basará en gran parte en las precauciones tomadas durante la instalación: las aplicables a la instalación en su totalidad se describen en el capítulo I.C.2 (redes de masas, separación eléctrica, separación geométrica) y estos mismos principios aplicados a los conjuntos son los que se describen en el presente capítulo I.C.2



Equipotencialidad... o distribución de las perturbaciones



Si no existe ningún conductor de masa que conecte los equipos (esquema 1), una perturbación que afecte al equipo A (por ejemplo, una sobretensión) no afectará al equipo B o, en todo caso, lo hará de forma muy atenuada, lo que podría ser considerado positivo en sí mismo. Sin embargo, esta situación habrá inducido una diferencia de potencial entre los equipos, la cual podrá decodificarse como una señal de mando o una variación de valor, o como de cualquier otro tipo no deseable.

Por el contrario, si los dos equipos son perfectamente equipotenciales gracias a la instalación de un conductor de masa (esquema 2), esta perturbación se equilibrará, disminuyendo frecuentemente su nivel. El incremento de potencial será el mismo en los dos equipos y no habrá falla. Ejemplo de la prueba diaria de este concepto de equipotencialidad:

el automóvil. Integra funciones que utilizan una gran diversidad de señales (alta tensión para el encendido, alta frecuencia de bajo nivel para la radio, señales digitales de la gestión de la alimentación, sensores analógicos de caudal, de temperatura, corrientes muy elevadas para el arranque, corriente continua de la batería, corriente alterna del generador...) con una «profusión» de perturbaciones (sobretensiones, interrupciones de corriente, parásitos de los colectores del motor, descargas electrostáticas...) y todo ello sin que su buen funcionamiento se vea afectado. Pero todos estos elementos tienen un punto común, una referencia: la masa del vehículo (y eso sin toma de tierra). Y todo el mundo conoce las molestas consecuencias de una mala masa, aunque sólo sea de un intermitente.

La mayor dificultad reside en el hecho de que las diferentes conexiones galvánicas (alimentación, conductor de protección...) proporcionan una buena equipotencialidad en baja frecuencia (lo que puede comprobarse con los ensayos de continuidad para la seguridad de las personas), pero su eficacia se vuelve ilusoria cuando aumenta la frecuencia. El cálculo de la impedancia de los conductores de masa es delicado, ya que el concepto de equipotencialidad es

únicamente un valor relativo en cuanto a la impedancia de los circuitos que deben hacerse equipotenciales y al ámbito de la frecuencia en cuestión.

En un circuito de impedancia media 100Ω una conexión de 1Ω garantiza, en efecto, un cierto concepto de equipotencialidad. Esta misma conexión, en un circuito de baja impedancia de $0,1 \Omega$ no sería de ninguna utilidad.

Orden de magnitud de los valores de impedancia de algunos conductores

Conductores	a 1 MHz	a 100 MHz
Maya cuadrada de 20 cm en lámina de cobre 20 x 1	0,001 Ω	0,1 Ω
20 cm de lámina de cobre 20 x 1	0,1 Ω	10 Ω
20 cm de trenzado plano	0,5 Ω	50 Ω
1 m de hilo conductor	5 Ω	500 Ω



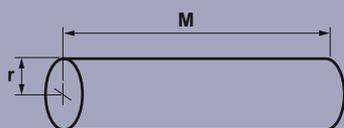
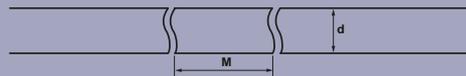
Cálculo de la impedancia de un conductor a alta frecuencia (AF)

$$Z = 2\pi f L$$

La impedancia aumenta proporcionalmente con la frecuencia f (en Hertz) y la inductancia L (en henrios) del conductor, directamente ligada a la longitud M de este último.

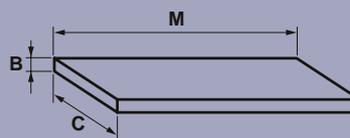
La inductancia lineal (efecto de self) de un elemento conductor rectilíneo es aproximadamente de $1 \mu\text{H}/\text{m}$. Puede descender hasta valores de $0,1$ a $0,5 \mu\text{H}/\text{m}$ para conductores anchos y muy cortos (láminas, trenzas), en donde la relación M/d es ≤ 5 .

Hay que señalar igualmente que si los conductores se enrollan (bucles o espiras), la inductancia lineal puede aumentar hasta $10 \mu\text{H}/\text{m}$, lo que implica una impedancia aún mayor. Por el contrario, si el conductor de retorno está muy cerca del de ida (horquilla), la inductancia lineal se divide por 3. De ahí el interés que existe en agrupar en un mismo recorrido los conductores de alimentación, los de protección y, eventualmente, de hacer que los conductores de masa vayan lo más cerca posible de las masas a las que están conectados.



$$L = K \times M (\log 2 \times M / r)$$

Influencia de la forma de los conductores en el valor relativo de la inductancia



$$L = K \times M (\log 2 \times M / B + C)$$



La CEM implica nuevos requisitos prácticos de instalación que van más allá de las prácticas habituales. Es muy recomendable utilizar todos los elementos metálicos disponibles, armaduras, estructuras, chasis, armarios de equipos, multiplicando las conexiones mediante conductores cortos o, mejor aún, mediante ensamblaje directo, para que el valor de la conexión equipotencial descienda, principalmente en AF.

Se utilizarán preferentemente conductores anchos y lo más cortos posible (láminas o trenzas) y se situarán lo más cerca posible de las masas.

En la práctica, su longitud no debería ser mayor de 1 m en aplicaciones industriales corrientes ($f < 1 \text{ MHz}$) ni de 0,5 m en aplicaciones de transmisión de datos ($f < 100 \text{ MHz}$). Deberá limitarse la utilización de conductores redondos con frecuencias inferiores a 10 MHz.

Las corrientes de AF circulan fundamentalmente por la superficie de los conductores, recibiendo el nombre de efecto pelicular. Su espesor en milímetros es:

$$\delta = \frac{0,066}{\sqrt{F \times \mu r \times \rho}} \quad (\text{con } F \text{ en MHz})$$

A título de ejemplo: $\delta = 0,0066 \text{ mm}$ a 100 MHz.

El propio diseño de las carcasas Legrand evita recurrir a soluciones complejas y caras.

En cuanto a los tableros y conjuntos de mecanismos para la obtención de equipotencialidad:

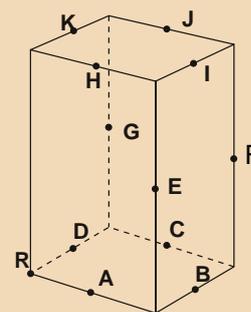
- La utilización de la estructura metálica permite crear una referencia de potencial fiable.
- Todos los sistemas de montaje de los equipos proporcionan una excelente continuidad con esta referencia.
- La utilización de placas de montaje y de chasis galvanizados permite garantizar un contacto directo con los equipos que poseen un chasis metálico conductor.
- La utilización de tornillos especiales para AF, con arandela de contacto ref. 367 75/76, así como las tuercas clip de picos ref. 347 48/49, permite garantizar un excelente contacto sobre las superficies pintadas y tratadas mediante agujereado del revestimiento.

Valores típicos de resistencias de contacto

Tornillo con rosca sobre placa maciza	0,2 a 0,3 mΩ
Tornillo autorroscante sobre placa maciza	0,3 a 0,4 mΩ
Contacto metal/metal sobre placa galvanizada	0,2 a 0,25 mΩ
Tornillo con arandela de contacto sobre pintura	0,3 a 0,5 mΩ
Tuerca-clip sobre montantes Altis pintados	0,4 a 0,6 mΩ
Tornillo y arandela plana sobre tratamiento zincado bicromatado	0,6 a 0,8 mΩ

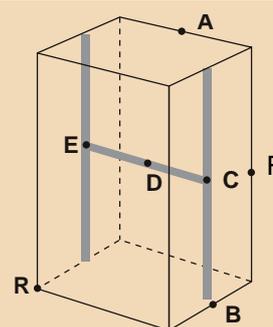
Valores de equipotencialidad de un armario Altis/X-A⁽¹⁾

Puntos	R mΩ
R/A	0,58
R/B	0,61
R/C	0,64
R/D	0,39
R/E	0,74
R/F	0,79
R/G	0,66
R/H	0,65
R/I	0,63
R/J	0,80
R/K	0,65



Valores de equipotencialidad de un armario XL⁽¹⁾

Puntos	R (mΩ)
R/A	0,97
R/B	0,61
R/C	0,65
R/D	0,79
R/E	0,61
R/F	0,71



(1) Los puntos de medición están situados en el centro de los montantes y de los travesaños.



Los valores de equipotencialidad comúnmente admitidos son del orden de: < 5 mΩ por contacto de conexión, y < 20mΩ entre cualquier punto de una estructura de dimensiones ≤ 2 m.

Las mediciones realizadas sobre todos los elementos constructivos, estructura y chasis, de las carcasas XL y XL-A, ponen de manifiesto niveles muy superiores.

2 Separación de las barras de potencia de potencia

Contrariamente a lo que cabría esperar, las fuentes principales de campo magnético en los conjuntos no están constituidas por productos de «función magnética» (transformadores, contactores...), sino por las líneas de alimentación de energía constituidas por capas de cables o juegos de barras.

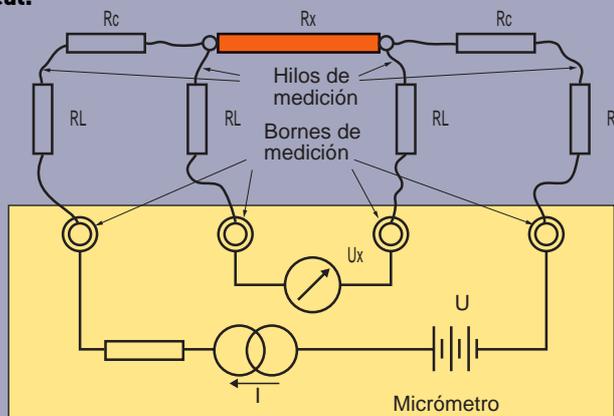
La circulación de corrientes permanentes de valor elevado crea campos magnéticos a la frecuencia de red (50 Hz), cuya intensidad es proporcional a la corriente e inversamente proporcional a la distancia (disminuyendo en $1/r$).

Por lo tanto, pueden crearse f.e.m. inducidas en cualquier bucle conductor que intercepte dichos campos.



En la práctica, la medida de la impedancia en AF no puede realizarse sobre elementos conductores instalados.

Por lo tanto, debe realizarse una simulación efectuando la medición en baja frecuencia, pero debido a los pequeños valores que deben medirse es necesario utilizar un micro-ohmetro «de cuatro cables». Este método permite independizarse de las resistencias de los hilos y de las pinzas de medición, así como de su contacto. Los valores de estos elementos pueden llegar a ser considerables en relación con el elemento a medir. Una medición con ohmetro de dos cables sobrevaloraría completamente el valor real.



Partiendo de una fuente de tensión U , un generador suministra una corriente de valor I y de forma determinada ($\sim \circ \text{---}$). Un voltímetro mide la caída de tensión U_x en los bornes R_x de la resistencia que va a medirse e indica el resultado $R_x \times U_x/I$. El resultado es independiente de las otras resistencias del bucle de corriente (R_L resistencias de los hilos de medición, R_C resistencias de los contactos de medición) al tiempo que la caída de tensión que provocan con R_x sigue siendo inferior a la tensión que puede suministrar la fuente U .



Los campos permanentes detectados alcanzan valores muy superiores a los niveles prescritos por las normas genéricas de inmunidad (EN 50082-1/2), que indican respectivamente 3 A/m en entorno residencial y 30 A/m en entorno industrial. De hecho, estos valores se aplican al entorno exterior, mientras que los valores en el interior de los tableros son mucho más elevados.

Intensidad (A)	H a 10 cm del centro del juego de barras (A/m)	H a 30 cm del centro del juego de barras (A/m)	H a 60 cm del centro del juego de barras (A/m)
90	165	35	10
160	300	65	15
400	750	160	45
630	1200	260	65
1600	3000	650	170

Cabe señalar que, en régimen de cortocircuito, estos valores pueden aumentar considerablemente durante el tiempo necesario de interrupción.

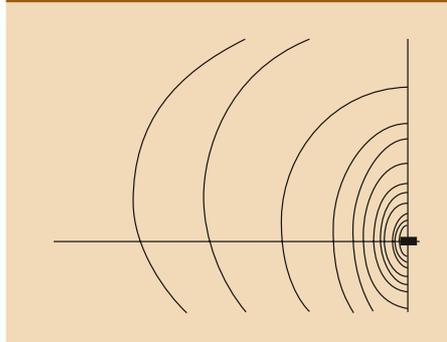
A igual distancia, el valor del campo es superior en el sentido de la cara ancha de las barras.

Los grupos de barras (varias barras en paralelo por polo) no modifican sensiblemente esta distribución.

A igual corriente, la radiación de un juego de barras trifásica es aproximadamente la mitad de la de un juego de barras monofásica, lo que confirma la importancia de un agrupamiento regular y simétrico de los conductores (ver página 576).

La presencia de una barra neutra reduce considerablemente la radiación global. El lado de la barra neutra está claramente menos expuesto.

Aspecto indicativo de las líneas de igual campo en torno a las barras



El conocimiento de los valores reales de exposición en los tableros constituye un elemento importante en el diseño de los productos. Las gamas de productos Lexic integran este requisito con características que van mucho más allá de los mínimos exigidos en las normas.

Por regla general, y más aún al aumentar la potencia, se recomienda respetar algunas reglas de distanciamiento entre aparatos y barras:

- ninguna distancia preconizada (fusibles, interruptores sin diferencial, conexiones...)

- 30 cm como mínimo (magnetotérmicos, incluidos diferenciales, relés, aparatos de medición, transformadores...)

- 60 cm como mínimo (electrónica digital, sistemas de buses, teledandos, interruptores electrónicos...).

Igualmente, deberá respetarse en lo posible la orientación preferente (lado del canto de las barras y proximidad de la barra de neutro).

3 Blindaje de las carcasas

En entornos especialmente perturbados y cerca de fuentes de radiación electromagnética de alta potencia (emisores, hornos de arco, alimentaciones, variadores...), el buen funcionamiento de algunos aparatos puede verse afectado. En algunos casos, la utilización de carcasas blindadas puede aportar una solución que mejore la inmunidad de dichos aparatos, pero hay que ser plenamente conscientes de que esta opción sólo será verdaderamente eficaz si se han aplicado las medidas de base de la CEM.



La utilización de carcasas blindadas solo deberá contemplarse una vez aplicados los siguientes principios básicos de instalación:

- en cuanto a la instalación (ver la página 90), mediante la realización de una red de masas apropiada, la separación de las alimentaciones y el alejamiento geométrico de los elementos perturbadores y perturbados

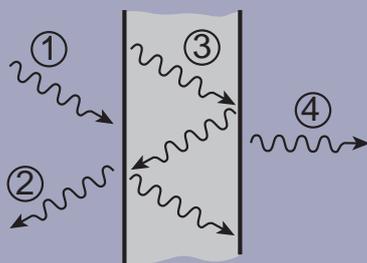
- en cuanto a los conjuntos y tableros (ver página 141), mediante conexiones equipotenciales de calidad y el alejamiento de las fuentes de potencia.

Si los problemas persisten, deberá contemplarse primero la utilización de una carcasa metálica (armario Altis, XL-A, caja Atlantic, Atlantic Inox), cuyas prestaciones estándar son ya elevadas (de unos 20 dB en una amplia banda de frecuencias), antes de pasar, en una última etapa, a las versiones blindadas.



Eficacia del blindaje del material

El efecto de blindaje de una pared es un fenómeno complejo ligado a la interacción de las ondas electromagnéticas con el material. Las fórmulas de cálculo se derivan de las ecuaciones de Maxwell.



- ① Onda incidente aplicada a la pared
- ② Parte de la onda detenida por reflexión
- ③ Parte de la onda absorbida por la materia y disipada en forma de calor
- ④ Parte de la onda transmitida

Las características de blindaje diferirán en función de los materiales y de la frecuencia.

Las bajas frecuencias, predominantemente campos magnéticos, serán fundamentalmente detenidas por absorción y requerirán materiales férricos de elevado espesor.

Las altas frecuencias, campo eléctrico, serán reflejadas por los materiales buenos conductores (cobre, aluminio, zinc...).

Eficacia del blindaje (E) = (A) + (R)

Suma de pérdidas por absorción (A) y pérdidas por reflexión (R)

$$A = K_1 e^{\sqrt{F \mu r p r}}$$

$$R = 10 \times \log \left(\frac{p r}{F \mu r} \right)$$

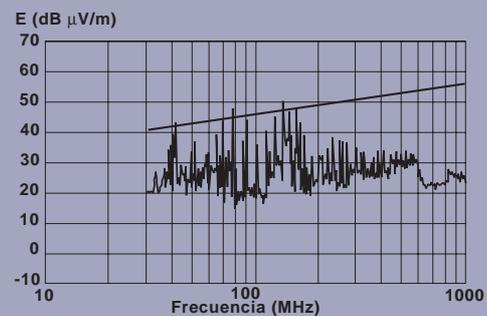
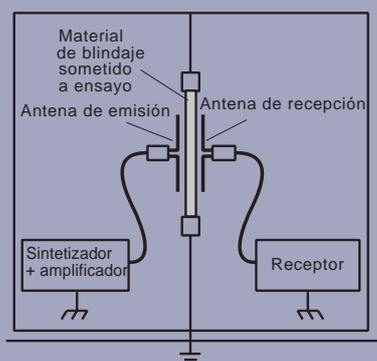
e: espesor del material en mm

F: frecuencia en Hz

μr : permeabilidad magnética relativa

pr: conductividad relativa con relación al cobre

Determinación experimental de la eficacia del blindaje de un material



La eficacia del blindaje de una carcasa completa es mucho más compleja de determinar a causa de la influencia de aberturas, juntas, piezas que la atraviesan, forma y dimensiones.

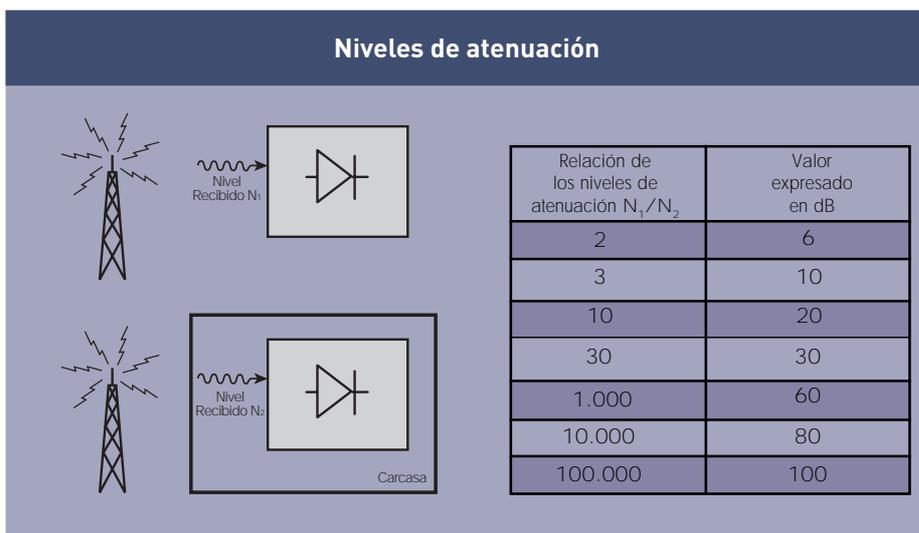
En la práctica, primero se determina el nivel de emisión o de recepción del equipo (o de una antena de referencia) sin carcasa N1, y después con carcasa N2. La diferencia entre las dos medidas expresa el nivel de atenuación.

La atenuación es la diferencia en forma de relación entre N1 y N2 :

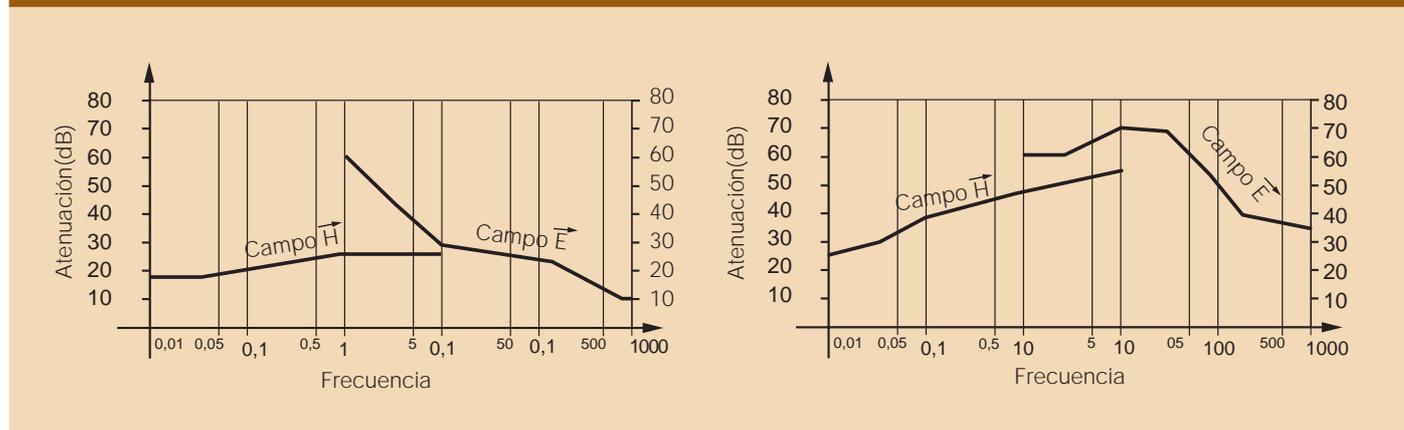
$$A = \frac{N1}{N2} \text{ en amplitud.}$$

La utilización del logaritmo permite expresar esta magnitud en decibeles:

$$A(\text{dB}) = 20 \log\left(\frac{N1}{N2}\right) \text{ en potencia.}$$



Curvas de atenuación típicas



La instalación puede hacer que el nivel de blindaje descienda notablemente. La eficacia del blindaje desciende con la primera fuga (abertura, paso de cables).

Las fugas son especialmente sensibles en alta frecuencia y a menudo difíciles de detectar.

La continuidad del blindaje requiere un contacto continuo de las superficies sin interposición de pintura, por ello las juntas metálicas de blindaje son costosas, delicadas de instalar y frágiles con el uso.

Las grapas u otros dispositivos que sólo garantizan contactos puntuales entre paneles, puertas y estructuras, carecen de eficacia.

4 NORMAS DE CONCEPCION Y ELECCION DE LOS ENVOLVENTES EN FUNCION DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Si la primera norma es garantizar, para todas las instalaciones, que las características de las envolventes y materiales convienen con respecto a las dificultades del medio ambiente, es necesario distinguir:

- las envolventes consustanciales a algunos aparatos e intrínsecamente vinculado a éstos (cajas de corte, bloques autónomos, teclados...)

- las envolventes de uso universal (cajas, armarios...) destinados a recibir muy distintos equipos (comando, señalización, potencia, automatismos...) y todas las funciones que están vinculadas (cableado, conexiones...)

En el primer caso, no habrá realmente elecciones sobre el envoltorio puesto que éste se adaptará a las condiciones más probables de uso del aparato, lo que implica también que para condiciones inusuales o más severas, medidas de protección complementarias podrán ser necesarias.

En el segundo caso, en la elección de la envoltorio estará incluido en el planteamiento que deberá a la vez integrar necesidades dimensionales (tipos de materiales, potencia, numerosas salidas...) y de las dificultades vinculadas a las condiciones de medio ambiente (tipo de locales, medio corrosivo, presencia de agua, de polvo...).

1 Los materiales constitutivos de los envolventes

La diversidad de los materiales disponibles en la oferta de envolventes Legrand permite responder a todas las condiciones ambientales de instalación. A base de materias sintéticas o de metal, he aquí las principales características:

● Los polímeros

Se utilizan para los envolventes de pequeña y media dimensión (cajas modulares por ejemplo).

Las materias básicas utilizadas (poli carbonato, poli estireno, polipropileno...) son objeto de formulaciones químicas específicas (coadyuvantes anti UV, retardadores al fuego, plastificantes anti choques...).

Estos materiales pueden utilizarse en gamas de temperatura habituales (20°C à + 70°C) y en medios húmedos o moderadamente agresivos.



Cajas Plexo, para todas las aplicaciones que requieren estanqueidad y protección a la vez, contra la agresividad y la corrosividad ambiental.



Cualquiera sea la elección de un envoltorio siempre exige una reflexión particular para asegurarse de su adecuación a su medio real de utilización.

Los polímeros técnicos permiten reconciliar exigencias mecánicas, dimensionales, de resistencia a las agresiones y al aislamiento eléctrico.



● **El poliéster reforzado de fibras de vidrio**

El poliéster reforzado de fibras de vidrio presenta, además de sus calidades de aislamiento eléctrico, una elevada resistencia a los agentes químicos y corrosivos, combinada a excelentes resultados mecánicos. Sus calidades de resistencia al fuego y su temperatura máxima de utilización sin interrupción (85°C) le permiten numerosos usos.



Cajas poliéster Marina, perfectamente adaptadas a los ambientes agresivos (borde de mar). Reciben chasis lo que permite el equipamiento modular



Moldeado por compresión de las cajas Marina



Los poliésteres pre-impregnados (en inglés SMC: Sheet Molding Compound) se presentan en forma de tejidos de vidrio impregnado en resina catalizada.

Se forman a presión en un molde que tiene una forma exterior y una contra forma interior, luego se calientan para polimerización. El tiempo de puesta en marcha es bastante largo y los medios industriales son pesados.

● **El acero revestido de poliéster**

El acero revestido de poliéster permite múltiples empleos: en locales terciarios e industriales secos o húmedos (armarios XL/XL-A) o en exterior rural urbano o industrial (cajas Atlantic, Altis monobloques) con dificultades de corrosión normales.

Presenta una excelente resistencia a los choques, a las rayas y al desgaste mecánico en general. La gama de utilización térmica es muy amplia y va de - 40°C a + 100°C (140°C en punta). El comportamiento ante la corrosión de los recubrimientos de poliéster es excelente, pero requiere un control industrial ya que la calidad de los tratamientos de superficie de preparación (fosfatado, cromado) es esencial. Es de la misma naturaleza que las resinas: el poliéster puro presenta los mejores resultados mientras que el epóxipo se deteriora al ultravioleta.



Armario Altis, acero revestido de poliéster



Las pinturas termoestables en polvo (a base de resinas poliéster o epoxi) se depositan sobre la parte que debe pintar por atracción electrostática.

El polvo, cargado anteriormente por un generador de muy alta tensión, se aplica con pistolas robotizadas. La parte pintada se transfiere a continuación a un horno de pre gélido por infrarrojos y luego, a un horno de cocción final a 200°C en donde la película de pintura adquiere su cohesión y su adherencia.



Espolvoreado de los envoltentes

● El poliéster reforzado de fibras de vidrio

Al top de la protección, presenta las calidades de resistencia más elevadas. Se utilizará, en ambiente interior o exterior, para los medios industriales más agresivos (químicos, petróleos, siderurgias...) y también y por supuesto, para las aplicaciones marinas (borde de mar, plataformas...).

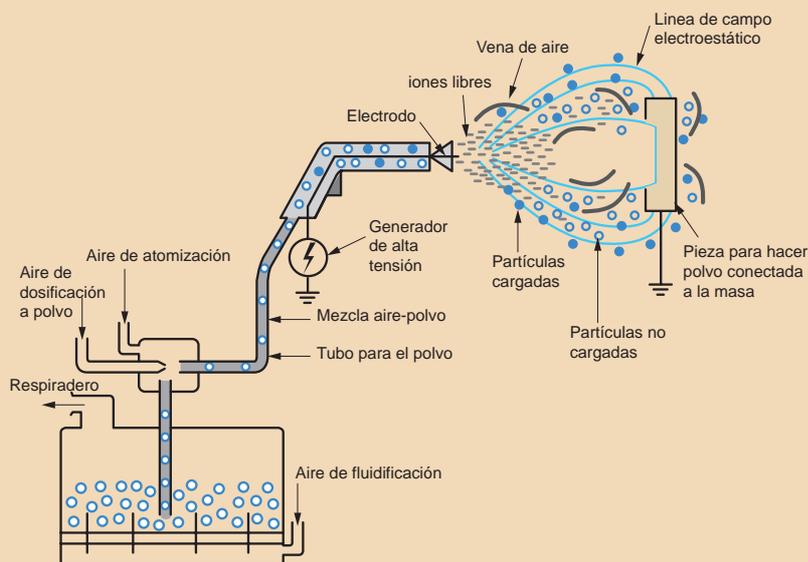


Acero inoxidable 304 L (o 316 L) combinado a un índice de protección IP 66: la caja Atlantic Acero inoxidable ofrece la mejor respuesta posible

El acero inoxidable, tiene también una resistencia excepcional a las bacterias y a los microorganismos (mohos, setas) que lo hace estar presente en todas actividades agroalimentarias, farmacéuticas, hospitalarias o de laboratorios. Tener en cuenta también que contrariamente al acero, no presenta debilitamiento a baja temperatura.

Las cajas Atlantic Acero inoxidable se probaron a -80°C.

Principio de pintura electrostática



De larga data, en donde Legrand fue parte muy a menudo innovadora, el recubrimiento de poliéster y los tratamientos de superficie aplicados a las dotaciones XL, Altis y Atlantic les garantizan una resistencia excepcional.



Los distintos aceros inoxidable

Se distingue esencialmente a tres familias:

- los aceros martensíticos al cromo con elevadas características mecánicas, sus aplicaciones son muy amplias y van desde lo doméstico (cuchillos, grifos...) a la industria vanguardista (extracción petrolífera, nuclear...), su comportamiento ante la corrosión varía según los tranquilizantes utilizados
- los aceros ferrosos al cromo, con un precio menos elevado, de fabricación más clásica pero su comportamiento ante la corrosión es limitado aún cuando se utilizan algunos matices aditivos para hacer cubas o tubos de escape
- los aceros austeníticos de cromo-níquel cuya resistencia a la corrosión es la característica esencial. Los aceros siguientes (designación americana AISI) son los utilizados en esta familia:
 - 303: resistencia idéntica a 304 pero sensibles al medio ácido (industrial) o con cloro (marino)
 - 304: buena resistencia ante los medios naturales y moderadamente agresivos, en presencia moderada de cloruros o ácidos (límites en el sector agroalimentario: vinos, mostaza...)
 - 304 L: excelente resistencia ante todos los medios naturales incluido urbanos, el contenido "bajo carbono" $\leq 0,03\%$ garantiza la resistencia a la corrosión inter cristalina
 - 316: mejor resistencia que el 304 pero no garantizada contra la corrosión inter cristalina
 - 316 L: excelente resistencia en los medios químicos ácidos y clorados.

En función de las empresas siderúrgicas, pueden existir diferencias bastante sutiles en la composición de los aceros. Por regla general, el nombre AISI es el que cubre la tolerancia más amplia. Así el matiz 316 L cubre cinco designaciones francesas cuyo contenido en cromo varía de 17 al 18 %, en níquel de 11 al 14% y en carbono de 0,01 a 0,03 %. La nueva norma europea EN 10088-2 reanuda la designación numérica (werkstoffnu) de la norma alemana DIN 17440/41 así como la designación de la composición química. Debería permitir una comparación directa.

	austenítico al azufre	austenítico	austenítico bajo carbono	austenítico al molibdeno	austenítico al molibdeno bajo carbono
E.E.U.U./AISI	303	304	304 (L)	316	316 (L)
E.E.U.U./UNS	S 30300	S 30400	S 30403	S 31600	S 31603
Europa/ EN 10088-2 (1995)	X8CrNiS 18-9	X5CrNi 18-10	X2CrNi 19-11	X5CrNiMo 17-12-2	X2CrNiMo 17-12-2
Europa: design. numérica	1.4305	1.4301	1.4306 o 1.4307	1.4401	1.4404
UK / BS1554 (1990)	303 S 21	303 S 31	304 S 11	316 S 19	316 S 11
Alemania/ werkstoffnu	1.4305	1.4301	1.4306	1.4401	1.4404
Francia/ NF A35-573 (1990)	Z8 CNF 18-09	Z7 CN 18-09	Z3 CN 18-10	Z7 CND 17-11-02	Z3 CND 17-12-02
Francia: design. habitual		Z6 CN 18-09	Z2 CN 18-10	Z8 CND 17-11	Z2 CND 17-12
Suecia/MNC 9008 (1985)	SIS 2346	SIS 2332	SIS 2352	SIS 2347	SIS 2348
Suecia/JIS G4304 (1987)	SUS 303 Se	SUS 304	SUS 304 L	SUS 316	SUS 316 L

2 Las condiciones de agresividad de los medios: las atmósferas

Fuera de las condiciones climáticas locales (véase página 61), es indispensable comprender las características específicas del lugar de instalación.

La contaminación, la contaminación de la atmósfera natural es causada por los efluvios químicos de las actividades industriales, por los agentes de los vehículos de motor y calefactores y también por los aerosoles salinos de los bordes de mar.

Otras sustancias: esporas, mohos... pueden también transportarse en la atmósfera.

No hay pues una sino varias "atmósferas", con la dificultad real que hay para designar y cuantificar los agentes activos del medio ambiente que sean químicos, o biológicos además por supuesto de los agentes climáticos. Las "atmósferas" que son de naturaleza y composición variable, queda claro que la elección de un producto y de sus características, guardará siempre una parte empírica en donde la experiencia será esencial aún cuando se puedan dar algunas normas generales para las acepciones habituales de atmósfera industrial, marítima, tropical...

• La atmósfera industrial

Se encuentran en cantidad variable a los agentes siguientes:

- óxidos nitrosos,
- óxidos de carbono,
- hidrocarburos,
- derivados del azufre: dióxido de azufre (SO_2) e hidrógeno sulfurado (H_2S)
- del cloro,
- del amoníaco,
- del ozono,
- halogenuros de hidrógeno (bromuros, fluoruros, yoduros).

Las zonas con fuerte contaminación industrial son muy corrosivas. Los óxidos

de azufre (actividad industrial y calefacción) y los óxidos nitrosos (transportes) son los principales precursores de las lluvias ácidas.

Combinado con agua, el cloro es un elemento también corrosivo de los minerales y aceros inoxidables mientras que el amoníaco es causal de ataque de las aleaciones cuprosas. Todos los halogenuros, incluso de escasa concentración, son extremadamente corrosivos.

Todos los elementos cuya agresividad aumenta por la temperatura y la humedad.



La "taza de acidez fuerte "

Para considerar el efecto corrosivo de una atmósfera con tendencia ácida (tipo industrial o urbano), se puede efectuar una aproximación con la "taza de acidez fuerte " del lugar en cuestión. Este dato puede obtenerse en los servicios meteorológicos u organismos locales de vigilancia de la contaminación.

Tazas medianas de menos de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentran en los lugares sin polución o con poca contaminación (nivel 1), tazas de 50 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los lugares con contaminación (nivel 2) y tazas superiores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los lugares con mucha contaminación (nivel 3). Correlaciones a priori pueden hacerse entre estos niveles y el comportamiento ante la corrosión de los envoltentes en exterior.

Las cajas Altantic y los armarios Altis pintados se adaptan a una exposición permanente de nivel 1 y momentánea de nivel 2.

Los envoltentes Marina o Atlantic Acero inoxidable 304L se adaptan a la exposición permanente de nivel 2 y momentánea de nivel 3. La exposición permanente de nivel 3 nos impone un inox 316 L.

● La atmósfera marina

Se caracteriza por la presencia constante de humedad y de agentes químicos como los cloruros de sodio y magnesio, y los sulfatos.

Los cloruros son un peligro importante de corrosión por picaduras.

Toda discontinuidad del revestimiento protector se traducirá en un ataque profundo del metal subyacente. Por lo tanto es primordial sólo utilizar si es posible más que materiales difícilmente atacables (acero inoxidable, aluminio, materiales plásticos o compuestos).

La utilización del hierro sólo es posible cubriéndolo y aislándolo completamente del medio ambiente: tratamiento espeso como la galvanización o sistema de pintura con varias capas renovadas permanentemente (punta de cascos de buques).



Las dificultades de la atmósfera marina son variables y los efectos de corrosión son esencialmente debidos a las brumas.

Éstas pueden ser directas (salpicaduras) o transportadas por el viento. Por esto, la exposición al viento es un elemento muy importante de considerar en borde de mar. De hecho es durante las malas estaciones (lluvias, tempestades) que el ataque corrosivo se da más marcado.

● La atmósfera tropical

Entre los elementos que más influyen sobre el funcionamiento y la durabilidad del material eléctrico instalado en clima tropical, se toman en cuenta:

- la temperatura
- la humedad y el fenómeno de condensación
- los mohos y los microorganismos
- los insectos y las termitas
- la radiación solar
- los vientos, el polvo y la arena que transportan.

La humedad es la causa principal de degradación a mediano y largo plazo:

pérdidas de aislamiento, corrosión, bloqueo de los mecanismos. Los fenómenos se acentúan por la formación de rocío (mucho más abundante) sobre todo cuando se produce en recintos cerrados.

Junto con las condiciones favorables de humedad y temperatura, los mohos se desarrollan mucho más bajo los climas tropicales. Aparecen sobre los materiales orgánicos (maderas, materias plásticas, telas...) y también sobre las superficies metálicas si éstas se cubren de polvo del cual pueden alimentarse. Producto de su crecimiento pueden entonces dañar el tablero.

También difíciles a prever, las degradaciones causadas por los insectos en general, y las termitas en particular, pueden ser muy importantes, en particular, en el suelo (cables bajo tierra).



Las instalaciones en clima tropical, y, en particular, ecuatorial, plantean problemas complejos y múltiples. Se podrá recurrir a pinturas o barnices fungicidas (mohos), a insecticidas locales (termitas) o a protecciones adaptadas (rejillas contra la fauna). Pero en todos los casos, una buena ventilación de los materiales es indispensable para limitar las proliferaciones bacterianas, los efectos de corrosión por confinamiento y las degradaciones de los aislantes por absorción de humedad. Se recomienda la utilización de disecadores de resistencias calientes (gel de sílice) y de ventiladores.



Existen pruebas que permiten comprobar la susceptibilidad de una serie de mohos consustanciales a los climas tropicales (aspergillus niger, penicilium luteum, trichoderma viride...)

Estando presentes los riesgos correspondientes, estas pruebas deben ser efectuadas por un laboratorio especializado.

El consejo y la asistencia de organismos especializados pueden ser necesarios.



● Las aplicaciones agroalimentarias

Éstas entran en la categoría "interior húmedo" y no representan una atmósfera como tal. Sin embargo presentan exigencias particulares útiles de recordar. Los envoltentes de los materiales pueden cubrirse con una contaminación de superficie en forma de polvo, de salpicaduras, de depósitos nutritivos o de grasas volátiles condensadas.

Los mohos pueden entonces obtener sus elementos nutritivos y deteriorar las superficies subyacentes si son de naturaleza orgánica (pinturas, plásticos, maderas...).

Las superficies deberán a la vez no alimentar la flora y permitir una limpieza fácil, de ahí la imposición lógica del acero inoxidable.



Las cajas Atlantic Inox y los armarios Altis Inox reciben un tratamiento de pulido final muy fino (aspereza $\leq 0,3 \mu\text{m}$) lo que permite una limpieza óptima de las superficies conformes a las más altas exigencias de higiene. Su índice de protección IP 66 se adapta al lavado con manguera en los locales alimentarios. Su junta de estanqueidad en poliuretano fue objeto de pruebas de compatibilidad alimenticia con elementos bajo forma de polvo y pastosa.

● Las aplicaciones nucleares

Además de las exigencias de resistencia a la corrosión que dependen del lugar de instalación, interior, bajo refugio, exterior y para las cuales los criterios de elección de la tabla página 158 son utilizables, los materiales y los envolventes utilizados en locales nucleares deben ajustarse a exigencias específicas:

- prueba de comportamiento ante accidente por pérdida del refrigerante primario según NFT 30-900 (Francia),
- prueba de evaluación de susceptibilidad a la contaminación y aptitud a la descontaminación según NF T 30-901 (Francia),
- prueba de comportamiento ante las radiaciones ionizantes según NF T 30-903 (Francia).



La dirección del equipamiento de Electricidad de Francia estableció un manual para los trabajos de recubrimiento. Cada sistema de protección tiene un índice por una codificación que incluye:

- tres mayúsculas con las que se indica el medio de utilización (nuclear o no, atmósfera, suelo, ácidos, agua de mar...)
- tres números arábigos que indican la función según la naturaleza de la superficie que debe cubrirse (decorativo, protección...)
- un número romano que indica el destino del recubrimiento (locales, estructuras, albañilerías...).

Usaremos mucho este documento para conocer las exigencias exactas de cada clasificación.



Numerosos sectores laborales (purificación de las aguas, ingeniería civil, metalurgia, estructura...) hicieron manuales específicos para sus necesidades. Muchos de ellos se han establecido sobre la base de soluciones testeadas y probadas (preparación de superficie, grosor y numerosas capas...) y así estos documentos dan más a menudo soluciones prácticas que las que exigen resultados medidos.

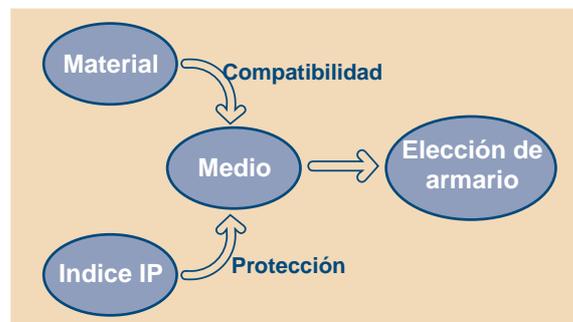
Los tratamientos de superficie y pinturas aplicadas a los envolventes Legrand están a la vanguardia de la tecnología industrial. Entonces son a menudo diferentes de los sistemas ya conocidos aunque sus rendimientos sean iguales o superiores.

Se puede por ejemplo afirmar que el sistema de pintura de los armarios Altis y XL-A: chapa de acero galvanizada Z140 + tratamiento/pacificación al cromo + espolvoreado poliéster, de grosor total 90 µm tiene resultados a lo menos igual a un sistema clásico de pintura húmeda de tipo chorro con granos de desechos + capa primaria al fosfato de cinc + capa intermedia + capa de terminación de grosor total 200 µm. Se recomienda la consulta a los servicios técnicos de Legrand cuando son necesarias comparaciones de resultados.



3 La elección del envolvente

La perpetuidad de una instalación depende en primer lugar de la buena elección de los materiales y envolventes destinados a protegerla de las agresiones externas. Aunque no se precise siempre lo suficiente, el conocimiento del medio en que está la instalación final es esencial (ver las características principales en el cuadro a continuación). En función de éste, las compatibilidades y los límites a las agresiones físico-químicas podrán comprobarse para cada material. Los índices de protección IP e IK permitirán comprobar los niveles de protección habituales polvo, agua, y choques mecánicos.



Propiedades del recubrimiento de los envolventes pintados XL-A, Altis y Atlantic (Francia)

- **Colores**

Envolventes: grises silex RAL 7032 841-GL

Zócalos: gris oscuro RAL 7021 841-GL

Otros colores:

- azul AFNOR 2525 NF X 08-002 a pedido
- naranja AFNOR 2130 NF X 08-002 a pedido
- 180 colores RAL a pedido

Aspecto: textura satinada (que brilla un 60 %)

Grosor nominal: exterior 80 µm, interior 60 µm

Libre de TGIC y de amianto

- **Características mecánicas**

Adherencia: clase 0 a 1 según NF T 30-038

Resistencia a los choques: 1 kg a 0,5 m según NF T 30-017

Doblado: mandril de torno Ø 6 mm según NF T 30-040

Moldeado: profundidad 8 mm según NF T 30-019

Rayado: punta Ø 0,5 mm bajo 1,5 kg

Perforación: Ø 20 mm, exfoliación < 1 mm

- **Resistencia a la corrosión**

Prueba a la niebla salina: 1000 h siguientes NF X 41-002

Prueba al dióxido de azufre (18,5 g/m³): 500 h sin interrupción según NF T 30-055

Grado de moho RI 1 y grado de abolladura 0 (según NFT 30-071) admitida después de las pruebas

- **Resistencia a la temperatura :** 100°C en continuo, 150°C en 3 horas, 200°C en pic

- **Resistencia a los UV :** Excelente (según prueba NF T 51-056)

- **Resistencia a los agentes químicos:** Excelente por regla general excluido los solventes fuertes (cetonas, alifáticos, clorados...) referirse a las fichas técnicas para más detalles

- **Resistencia al fuego:** Clasificación M0 según NF P 92-507 Poder calórico superior a 2,1 MJ/m² según NF P 92-510



Humedad y polvo...
Altis IP 55 en un taller de tallado de piedras



Propiedades de los aceros inoxidables de los envolventes Atlantic y Altis Inox

Acero austenítico con bajo contenido en carbono 304 L (Z3 CN18-10 según NFA 35-573). A pedido, acero austenítico al molibdeno 316 L (Z3 CND 17-12-02)

- Estado de superficie:
 Pulido grano 180 (según NF E 05-015), de aspereza media Ra: 0,25 a 0,35 μm compatible con las exigencias de descontaminación alimenticia de las superficies
- Resistencia a los agentes químicos:
 Excelente resistencia a la corrosión en los medios naturales (atmósferas rurales y urbanas)
 Resistencia elevada ante los ácidos acéticos, cítricos, lácticos

304 L: resistencia limitada en presencia de cloruros (borde de mar), solventes tratados y algunos ácidos diluidos: clorhídrico, sulfúrico. Algunas reservas sobre algunos usos agroalimentarios (vinos, mostaza) y en caso de lavado repetido al hipoclorito de sodio (agua de lejía)

316 L: excelente resistencia en todos los medios alimentarios y en numerosos medios químicos ácidos: fosfóricos, orgánicos, sulfúricos puros, nítricos... Buena resistencia en presencia moderada de cloruros y derivados de cloruros en concentración limitada.



Casco sobre la puerta, recubrimiento total en parte superior y canales sobre todas las aperturas (puertas y los paneles) permiten garantizar el IP 66 sobre los armarios Altis Inox



Propiedades del poliéster con de fibra de vidrio de los envolventes Marina

Resina de poliéster pre impregnado de fibra de vidrio

Características mecánicas:

Resistencia elevada a los choques IK 10 según NF EN 50102

Gran estabilidad dimensional

Resistencia a los agentes químicos

Muy buena resistencia a las soluciones salinas

Buena resistencia a los solventes alcoholes e hidrocarburos alifáticos

Buena resistencia a los ácidos no oxidantes (acético, cítrico, úrico...)

Resistencia limitada a los ácidos oxidantes (nítricos, perclóricos, sulfúricos, fluorhídricos...)

Resistencia limitada a los solventes tratados, a las cetonas y a las bases

Resistencia a la temperatura: -40°C a +85°C en continuo (+ 100°C en punta)

Resistencia al fuego: 960°C con auto extinción < 5 s según CEI 60695-2-1

Elección de los envoltentes

Exterior marino							
Exterior industrial y urbano							
Exterior rural							
Exterior industrial y urbano s/refugio							
Exterior rural s/refugio			②				
Interior húmedo y agresivo			②				
Interior húmedo			①	②			
Interior seco							
Envoltente Legrand	Cajas Plexo	XL 100	XL 135/195	XL 400/600	XL -A 250	XL - A 400/600/800	

- ① Con puerta y junta de estanqueidad
- ② Con Kit de estanqueidad
- ③ Aconsejado usar con techo
- ④ Posibilidad versión 316 L para exposición extrema, o agente agresivo especial

Envoltentes de distribución con plastrón



La clasificación de los diferentes medios ambientes propuestos en el cuadro de arriba se puede simplificar con 3 niveles para las instalaciones interiores, 2 niveles para las instalaciones bajo refugio y 3 niveles para las instalaciones exteriores.

Si son necesarias condiciones más especiales, podrá ver la norma CEI 60721-3-3, "Utilización de puesto fijo protegido contra las inclemencias", que contempla 8 niveles de 3K1 (locales cerrados climatizados en temperatura y humedad) hasta 3K8 (locales abiertos, sin control, sujetos a nieve y a lluvia).

Para las instalaciones no protegidas contra las inclemencias, la norma CEI 60721-3-4 contempla 5 niveles de 4K1 a 4K4L.

Estas clasificaciones se completan con condiciones complementarias: B (biológicas), C (químicas), S y M (mecánicas).



Perforación con sacabocados Greenlee®



Recorte de una caja Atlantic con la sierra de corte vertical con protección previa por pegamento



Recorte de una caja Marina con diamante



Recorte de una caja Marina con sierra- campana



Recorte neto, ausencia de accidentes, conservación del recubrimiento, aunque es una evidencia, la calidad del trabajo está vinculada a la calidad de las herramientas y a su afilado.

Evitar el trabajo con la cortadora de ángulo que quema la pintura, destruye los tratamientos de superficie y genera limaduras que se convierten en fuentes de corrosión y defectos.



Las operaciones de fabricación descubren el metal que se recomienda proteger si el envoltorio debe someterse a la humedad y posteriormente a condiciones agresivas.

Los tornillos y los roscados pueden ser protegidos por una gota de "freno-rod" que permitirá a la vez protección, firmeza y estanqueidad.

Los bordes de chapa recortada (salvo inox) pueden protegerse con un retoque con bomba de pintura o mejor con una aplicación de pintura antioxidante.



Retoque manual de los bordes de chapa al descubierto: recomendada para una utilización posterior en medio húmedo o corrosivo



Las virutas de corte son fuentes de corrosión pero pueden también crear defectos en los aparatos. El polvo generado por el trabajo del poliéster es irritante para las vías respiratorias. En todos los casos, es necesario prever una eliminación aseada de los residuos de corte por aspiración.

● **El trabajo del Inox**

El acero inoxidable es muy sensible a la presencia de partículas ferrosas que contaminan su superficie. Éstas pueden tener varios orígenes: herramientas de corte que sirven para el acero, amolado a proximidad, operaciones de soldadura no descontaminadas... e incluso simplemente ponerlo sobre una máquina. ¡Da la impresión que el acero inoxidable se va a oxidar!

El trabajo del acero inoxidable, perforación, recorte y el mismo plegado sólo debe hacerse con herramientas reservadas para este uso. La utilización de prensa metálica que no sea inox debe prohibirse y preferir el cepillo de nylon. La incrustación de la partícula ferrosa en el inox es difícilmente evitable: por tanto, es necesaria una operación de descontaminación. Se efectúa por lavado o si es posible por remojo en ácido nítrico diluido al 50 %. El ácido nítrico es peligroso, en especial, por su riesgo de explosión con numerosas sustancias.

Pastas desoxidantes estables, listas para su empleo, son utilizables para las pequeñas superficies pero la mejor práctica pasa por la precaución.



Trabajo del inox con la cortadora



Inox oxidado por contaminación



Las cajas Atlantic Inox se suministran, libres de toda contaminación ferrosa. Se realizan en talleres reservados con herramientas dedicadas. Las soldaduras se descontaminan y las superficies internas se limpian con micro esferas de vidrio. Posibles rastros de herrumbre deberían buscarse en las operaciones después de desembalar...



Ideas recibidas: atención

El imán no se pega: es un buen inox!...
 Efectivamente los aceros inox auténticos son a-magnéticos y figuran entre los más resistentes a la corrosión, pero los martilleos locales (plegado, estampado) pueden suprimir esta característica sin que la resistencia sea modificada. Sucede lo mismo con algunos aceros ferrosos, que aunque magnéticos, tienen elevadas propiedades anti corrosión : tubos de escape, conductos...

● La instalación en salas limpias y en los locales con medio ambiente controlado

Bajo el término de salas limpias se agrupan genéricamente locales distintos como:

- salas blancas
 - salas de contaminación controlada
 - salas de empolvamiento controlado
 - salas micro biológicamente controladas.
- Estas salas están destinadas a permitir distintas actividades tales como la micro electrónica, la química fina, la fabricación de partes para la aeronáutica, para la espacial, la micro mecánica.

Las actividades agroalimentarias (cocinas, industrias lácteas, restauración colectiva...) requieren también, por supuesto, salas limpias así como la farmacia (fabricación de los medicamentos, cosmetología...) o la medicina (salas de operaciones, oftalmología...)

En función de las actividades, las exigencias se referirán, a conceptos de renovación de aire (difusión, barrido, producción), polvo y partículas admisibles (número y tamaño por volumen), calidad bacteriológica, empolvamiento de las superficies (salas blancas) y de la higiene en la utilización (sector agroalimentario). La naturaleza misma de los materiales empleados, su estado de superficie y sus formas son esenciales para evitar las retenciones y acumulaciones y facilitar la limpieza



El ultra limpieza: salas blancas para el control de los microprocesadores



Las instalaciones eléctricas o los equipos eléctricos de máquinas que están en las zonas de repercusiones y posteriormente en las zonas alimentarias deben respetar las reglas de fabricación e higiene aplicadas en los materiales agroalimentarios (norma internacional NFU 60-010):

- todas las superficies deben ser fácilmente accesibles
- los elementos cuya limpieza requieren desmontaje deben retirarse fácilmente y sin herramienta
- las superficies no deben presentar asperezas y su estado debe ser al menos igual a N8 ($R_a = 3,2 \mu\text{m}$) según norma internacional NFE 05-051 (Rugotest visotactil).
- la continuidad de las superficies, los ángulos interiores, los montajes y los ajustes deben tratarse para evitar toda retención que sea difícil de limpiar
- los tornillos con impresiones huecas (torx, cruciformes...) deben evitarse
- para las máquinas colocadas en el suelo y no movibles, una junta de estanqueidad debe evitar toda infiltración entre los zócalos fijos y el suelo.



En todos los casos, procederá refiriéndose a los textos aplicables para la instalación estudiada, entre los cuales se puede citar:

- **NF EN ISO 14644:** "salas propias y medio ambiente controlado aparente"
- **NFU 60-010:** "normas de construcción para garantizar la higiene en la utilización"
- **NFS 90-351:** "procedimientos de control y recepción de las salas de operaciones"



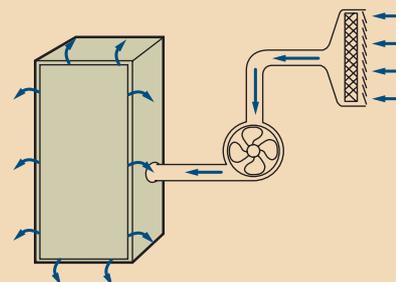
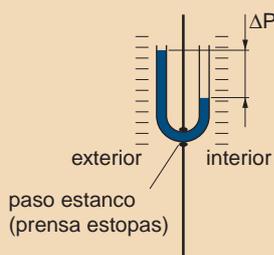
Cajas Atlantic Inox, armarios monobloques y ensamblables Altis Acero inoxidable (a pedido): Una gama completa de envolventes concebidos para responder a las dificultades de higiene del sector agroalimentario

● **La supervisión interna de las envolventes**

La puesta bajo presión permanente del volumen interno de las envolventes permite oponerse a la penetración del aire ambiente cuando éste está muy contaminado, corrosivo o cargado de polvo.

La presurización puede ser realizada por aire comprimido y aflojado para envolventes pequeñas, pero es una fuente costosa y cuya producción permanece limitada.

Será necesario tener muy en cuenta que fugas permanentes son inevitables: se deben a los distintos montajes, a las juntas, a las fijaciones, a las entradas de conductores, a los indicadores y comandos, y son globalmente proporcionales a las dimensiones



La presión interna puede medirse con un manómetro a escala adaptada o también más fácilmente con un tubo de agua (eventualmente coloreada). La presión interna en el envoltorio tiene por valor la diferencia de altura entre las columnas de agua interior y exterior con la equivalencia siguiente : 1 mbar = 10mm de agua = 100 PA (Pascuales)
Una presurización habitual de 3 mbar corresponde pues a un DP de 30 mm de agua

Envolventes	Producción/volumen del envoltorio
Cajas Atlantic	10 m ³ /h/m ³
Cajas Marinas	no presurizables
Armarios monobloques 1 puerta Altis (estándar o inox)	10 m ³ /h/m ³
Armarios monobloques 1 puerta Altis (estándar o inox)	25 m ³ /h/m ³



Para cualquier instalación de envolventes a presión, es necesario precisar el objetivo y las características que se necesitan ante los agentes técnicos Legrand con el fin de tomar disposiciones constructivas específicas si es necesario.

● El repintado de los envolvertes

Por criterios de adaptación estética o para la necesidad de protección complementaria para medios bien específicos, puede ser necesario aplicar una o varias capas suplementarias sobre los envolvertes metálicos o plásticos. Tres soluciones son posibles pero no dan inevitablemente los mismos resultados.

- El repintado directo:

Como consecuencia de sus elevadas propiedades de resistencia de superficie y de anti suciedad, el acabado poliéster RAL 7032 es difícil de pintar directamente.

Sólo las pinturas de poliuretanos bi compuestos para aplicaciones a automóviles o industriales permiten una recaudación directa después de desglaseado ligero con papel abrasivo al agua (grano 240 a 400). En la práctica, estas pinturas son aplicables solamente con pistola. El repintado directo de las cajas Marina (poliéster SMC) tiene las mismas dificultades.

- El repintado con una capa intermedia: También nombrada "apresto" o "impresión" se engancha directamente sobre las bases de los envolvertes (pintura poliéster, poliéster SMC) y permite la adherencia de las pinturas (o sistemas de pintura) más corrientes: caucho y derivados tratados o isómeros, aceites, alkyde, alkydes modificados (uret, epoxi), poliuretanos, epóxicos, poliéster.

- El repintado sobre apresto en fábrica:

A pedido, los envolvertes Atlantic y Altis pueden suministrarse con una capa anticorrosión gris claramente RAL 7035 mate especialmente elaborada para proporcionar una excelente protección y una base de enganche que permita todas las posibilidades de acabado: de celulosa y derivados, de acrílico y metacrílicos, caucho y derivados, aceites modificados, alkydes cortos y medios en aceite, alkydes modificados (epoxi, uret, silicona), poliuretanos, epóxicos, poliéster, silicona, silicona modificada.



El recubrimiento por pinturas "display", alkydes glicero-ftálicos y dispersiones acuosas (vinílicos o de acrílico) no son aconsejables. El apresto de fábrica permite la aplicación de los sistemas de pintura homologados "Puentes y calzadas", "Marina nacional", FED, SNCF...)



Legrand propone un "apresto para pintura al modo" que permite un excelente enganche de todos los tipos de pinturas sobre todos los envolvertes incluido inox.



**180 colores RAL disponibles
A PEDIDO para personalizar los
envolvertes Atlantic y Altis con una
calidad y resultados idénticos al color básico RAL 7032**

● La fijación de los envolventes y de los equipos

Los dispositivos de fijación deben garantizar la interfaz entre el apoyo y el producto soportado: deben resistir a las dificultades mecánicas (choques, vibraciones, movimientos, carga... definidos en el capítulo I.B.2 § 4 a 7) y a la vez garantizar la durabilidad del apoyo.

Si estas dificultades parecen naturales y habituales, de hecho son ampliadas ampliamente por varios factores que constituyen todos los ingredientes para desencadenar fenómenos de corrosión química o electrolítica:

- los materiales de apoyos son muy distintos: madera, cemento, yeso, hierro, inox, aluminio
- las fijaciones son zonas de contacto eléctrico y continuidad de potencial
- las zonas de fijación pueden crear retenciones localizadas
- finalmente las operaciones de montaje pueden haber dañado los tratamientos, en particular, sobre los tornillos y las aristas vivas.



Patas de fijación Ref. 364.01: resistencia a la corrosión muy elevada y aislamiento galvánico permiten su uso universal

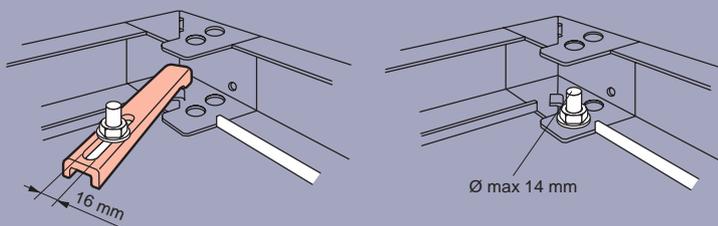


Los kits de fijación sobre poste Ref. 364 46/49 (a pedido) están formados por dos transversales en acero galvanizado fijados por encintado con un fleje inox. La herramienta Ref. 364.45 permite una sujeción eficaz y adaptada



Los zócalos de armarios sufren a menudo choques (pies, carros de manejo mecánico) a los cuales se añaden las operaciones de mantenimiento de los suelos (barridos, lavado al chorro) que son tantos factores de degradación repetitivos.

Para una resistencia óptima los zócalos de los armarios Altis se realizan en acero galvanizado pintado. Para condiciones extremas, es posible subir los armarios RAL 7032 sobre los zócalos Altis inox. Todos los zócalos pueden ser atados al suelo por pasadores sellados, directamente o por medio de las fijaciones desplazadas Ref. 34 549.



Las patas de fijación para cajas

- Ref. 364.01: Zamak pintado poliéster RAL 7032 con embellecedor de terminación para las cajas Atlantic sirve para todos los medios
- Ref. 634.04: Chapa de acero recortada tratada Dacromet para las aplicaciones interiores y exteriores bajo refugio
- Ref. 364.02 y 364.05: Poliamida cargado con fibra de vidrio para las cajas Marina
- Ref. 364.06: acero inoxidable para cajas Atlantic Inox (también pueden utilizarse sobre las cajas Atlantic).



Evitar el empleo de patas de fijación inox en los soportes en aluminio (par galvánico). Para éstos preferir las patas en Zamak Ref. 364.01 o en material aislante Ref. 364 02/05.

● La instalación bajo tejado, refugio y techo

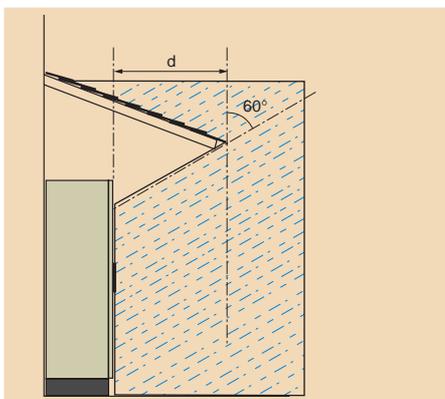
La instalación bajo tejado, refugio y techo en los lugares muy expuestos a la lluvia (terrazas de edificios, paredes que dan a los vientos dominantes, regiones con fuertes precipitaciones...) una protección sobre los envolventes aportará una garantía complementaria significativa contra las penetraciones de agua



La acumulación de distintos residuos (hojas, insectos...) y la permanencia de agua estancada en los bordes de las puertas pueden, con el tiempo, comprometer la estanqueidad por capilaridad. Cuando un mantenimiento regular no es posible o previsto, se recomendará la disposición de un techo.

Las cajas Atlantic y los armarios monobloques pueden equiparse de techos hechos referencia. El cuadro de elección de la página 157 aconseja el uso (nota I) para las exposiciones más difíciles.

Tener en cuenta también que la edificación de refugios o tejados contra la lluvia permiten la utilización exterior de los armarios ensamblables XL-A y Altis.



El desbordamiento (d) del tejado deberá calcularse de tal modo que el agua no esté precipitando sobre la envolvente. Deberá considerarse un ángulo mínimo de 60° bajo el viento.

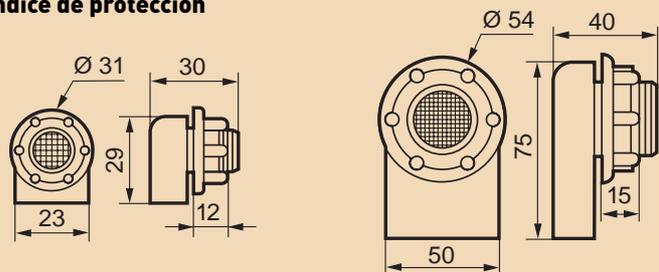
● La prevención de la humedad dentro de los envolventes

Las variaciones importantes de temperatura exterior implican inexorablemente fenómenos de ciclos de evaporación/condensación, las cantidades de agua acumuladas dentro de los envolventes pueden convertirse en considerables y causar fallas eléctricas (véase página 170) además de las degradaciones por la corrosión.

Sistemas de des-humidificación y, en particular, las resistencias de calefacción limitan ampliamente este fenómeno.



Un agujero de drenaje de los condensados puede arreglarse en la parte inferior de los envolventes. Las cajas Atlantic poseen un agujero con un obturador que debe retirarse. Se taladrarán las cajas Marina y de Acero Inox. Aireadores ref 365 78/79 permiten la puesta en la presión atmosférica del interior del envolvente conservando al mismo tiempo el índice de protección



En atmósfera tropical húmeda (llamada también ecuatorial), la prevención de los riesgos vinculados a la humedad será esencial: instalación bajo refugio, desglose y desecación del aire interno, engrase de las bisagras y cerraduras, estanqueidad perfecta de las entradas de conductores serán la norma.

● **La reparación de las superficies dañadas o accidentadas**

Es evidente, mientras más rápido se haga la reparación, más se limitará la propagación de los daños. Un proverbio de sensatez que se aplica igual a los envoltentes pintados que a los que son de poliéster. Toda saltadura de pintura, raya o choque profundo que descubre el metal subyacente corre el riesgo, además del daño estético, de dar nacimiento a un lugar de corrosión y a largo plazo a una propagación más o menos importante.

Las superficies dañadas serán raspadas y se retirará toda la pintura no adherente. Se hará una aplicación primaria anti-corrosión (a base de cinc o aluminio) antes del retoque con una pintura de terminación. Si los daños son importantes y la chapa de acero es atacada por el óxido, deberá hacerse un pulimiento amplio de la superficie antes de la pintura.



La durabilidad de los equipamientos pasa por su vigilancia y su mantenimiento. Los ataques accidentales no forman parte de las condiciones de garantía (véase página 105). De ahí la importancia de poner remedio lo antes posible para no comprometer la durabilidad de la obra o de los equipos



Los aerosoles para retoque RAL 9002, RAL 7032... permiten la reparación de pequeñas superficies dañadas. No tienen cualidades antioxidantes. Los solventes de los aerosoles son especialmente potentes (de celulosa). Si es necesario, se aplicarán algunas capas primarias específicas anti corrosión.



Los ataques del poliéster cargado con fibra de vidrio de los envoltentes Marina deben también repararse cuanto antes.

El desgarramiento de la capa de superficie descubre la matriz y las fibras de vidrio; éstas son higroscópicas y la humedad entra en la materia que corre el riesgo de deteriorarse más y más. Resinas de reparación para automóvil (tipo Sintofer) pueden utilizarse. En caso necesario un poco de pintura en la parte alcanzada podrá hacerse.

5 PRECAUCIONES DESTINADAS A MINIMIZAR LOS RIESGOS Y LAS CONSECUENCIAS DE UN INCENDIO

Las situaciones en el origen de incendios eléctricos se conocen: deficiencia, mala utilización, malevolencia, o incluso causas extranjeras. Pero no es necesario hacer la amalgama entre las fuentes representadas por los aparatos receptores y consumidores (calefacción, motores, alumbrado, máquinas...) y aquéllas constituidas por los elementos fijos de la instalación (cajas, canalizaciones, equipos...).

Los segundos se supervisan un poco o no se supervisan. Generalmente se les oculta o son inaccesibles. El aspirador que humea, se ve y se desconecta, pero ¿la caja en el armario o los cables en el techo?

En cuanto se inicie, la gravedad del siniestro dependerá de condiciones externas al material que habrá sido la causa: cantidad y naturaleza de materiales próximos que podrán alimentar al fuego y propagarlo, medios de detección, de confinamiento, de extinción y condiciones de alerta y de evacuación.



Si es capital limitar el riesgo de incendio en la fuente, es también esencial controlar las consecuencias próximas cuanto antes.

1 Las condiciones de funcionamiento

● Ambiente, micro ambiente, temperatura ambiente

Primera evidencia, los materiales deben funcionar en las condiciones para las cuales están previstos; el cumplimiento de condiciones ambientes normales es imprescindible.

La temperatura es la causa principal de envejecimiento de los materiales y de los aislantes, de los conductores, de los contactos, de las conexiones...

Los materiales para uso doméstico y similares están previstos generalmente para una temperatura ambiente de 30°C; los materiales industriales lo están para 40°C.

Excepto materiales específicos, eso significa que más allá de estas condiciones el riesgo de falla aumenta y también el de incendio.



¿Qué ambiente?

Si la temperatura del local o el lugar de instalación debe por supuesto considerarse, es necesario sobre todo asegurarse de la del micro ambiente que constituyen volúmenes cerrados como los armarios, las cajas, las canalizaciones, los conductos, los envolventes técnicos, los clósets, los techos... sin olvidar la influencia de la proximidad de fuentes de calor como radiadores, máquinas, conduits... Por lo tanto, la temperatura ambiente que debe considerarse es la del volumen reducido en el cual se sitúan los aparatos.

● Canalizaciones, aparatos, envolventes

Las dimensiones de las canalizaciones deben calcularse según las normativas (véase sección II A). Deben aplicarse los coeficientes reductores determinados por las condiciones de instalación, los grupos de conductores, la temperatura ambiente. La naturaleza de los aislantes debe adaptarse a las condiciones ambiente: temperatura y también distintas agresiones, mecánicas, químicas... (ver página 566).

Los aparatos deben elegirse para el uso previsto, deben ajustarse a las normas que les son aplicables y deben instalarse en las condiciones que corresponden (posición, protección...). Los aparatos de protección (fusibles, disyuntores...), los de conexión (bornes), de conmutación (interruptores, contactores...) poseen curvas de ruptura en función de la temperatura ambiente (derating) que son imprescindibles de respetar. Son dadas por los fabricantes.

Los envolventes deben ser de dimensiones suficientes respecto a la potencia instalada y a los materiales incorporados. En efecto, la temperatura de funcionamiento de estos últimos depende en gran parte de la capacidad de disipación de los envolventes que los protegen (véase capítulo II.E.3 "la estimación del balance térmico").

Los locales técnicos que contienen fuentes importantes de calor (transformadores, tableros de potencia) deben ser ventilados ampliamente es decir enfriados o climatizados si las temperaturas son extremas . Los armarios, los extractores, los envolventes técnicos, y todos los espacios cerrados deben propiciar las mismas precauciones. Atención, la ventilación de los locales eléctricos no debe disminuir los cortafuegos de las paredes cuando éstos son exigidos. Según sea el caso, válvulas cortafuegos serán necesarias.



La tendencia a la reducción de los volúmenes implica un confinamiento de los materiales eléctricos que aumenta la temperatura de su micro ambiente y deteriora sus condiciones de funcionamiento. Es indispensable una ventilación correcta para limitar la temperatura y para evitar los efectos dañinos de la humedad. Si es necesario, dispositivos suplementarios deben instalarse: ventiladores, climatizadores, torretas de extracción... Entonces se aconseja que estén controlados y supervisados con un reporte del estado de funcionamiento.

● Humedad, factores de degradación química, corrosión

Los perjuicios debidos a la humedad pueden ser de orden mecánicos, químicos y eléctricos. Son, a la vez, materiales aislantes y materiales conductores: variaciones dimensionales, reblandecimiento o debilitamiento, favorecimiento de la corrosión, de la flora y de un punto de vista eléctrico, disminución de las resistencias de aislamiento superficiales (condensación, absorción, escurrimiento) o transversales (absorción, difusión). Estos fenómenos empujados hasta sus límites, o combinados con contaminaciones o con depósitos en superficie, pueden implicar distensiones dieléctricas e iniciar un cortocircuito con desarrollo de un arco y sus consecuencias.

Pero pueden también desarrollarse mucho más lenta e insidiosamente favoreciendo la circulación de una corriente de defecto muy escasa (se habla entonces de descargas parciales) que circula recalentando localmente el material aislante que progresivamente se deteriora, libera gases "de destilación" y puede terminar inflamándose espontáneamente.



Ventilación de locales eléctricos



El seguimiento de los valores de aislamiento de las instalaciones (ver páginas 50 y 644) y la protección por dispositivos diferenciales de sensibilidad media (300 mA) o de alta sensibilidad (30 mA) permite la detección de corrientes de defecto entre partes activas y masas (pero no entre partes activas) y participa en la prevención del riesgo de incendio.



La humedad actúa sobre los materiales según varios métodos a menudo combinados o simultáneos.

La condensación, que es la precipitación de vapor de agua sobre una superficie cuya temperatura es inferior a la del punto de rocío del aire ambiente; el agua pasa entonces del estado gaseoso al estado líquido (véase página 72).

La absorción, que se caracteriza por la acumulación de moléculas de agua en un material. Este proceso en general es acelerado por la temperatura, se desarrolla continuamente hasta su estabilización.

La adsorción, que designa un fenómeno de adherencia de las moléculas de vapor de agua sobre una superficie de temperatura superior al punto de rocío. Está vinculada a la naturaleza y al estado mismo de esta superficie.

La difusión, causada por diferencias de presión parciales causan apuros en los materiales.

Por último, el escurrimiento, que a escala macroscópica, es el desplazamiento de las moléculas de agua a través de rajaduras, porosidades o grietas. Además de las precipitaciones directas, la condensación es la fuente principal.

La humedad también favorece los fenómenos de corrosión de los metales, de los elementos conductores y conexiones. La degradación es física y mecánica pero también eléctrica: las resistencias de los contactos pueden, en particular, aumentar hasta valores que generan calentamientos inadmisibles.

Con ésta hipótesis, la vigilancia por termografía infrarroja es un medio de prevención interesante que permite la detección de los "puntos calientes".

2 Causas eléctricas de fallas

● Los malos contactos

Que se sitúen ya sea dentro de los aparatos, en su conexión (bornes) o en las conexiones de la instalación, los malos contactos pueden tener distintos orígenes: la corrosión, la deformación de los materiales, el envejecimiento, y el aflojamiento...

En la práctica, es la sinergia de estos distintos elementos, causa y consecuencia a la vez, la que consigue la situación potencialmente peligrosa de malos contactos.

En el mejor de los casos, la continuidad eléctrica se para, en el peor de los casos el calentamiento aumenta poco a poco hasta el arrebato térmico, la ignición espontánea de los materiales aislantes, la propagación a los elementos vecinos... e incluso el incendio.



Los malos contactos representan la causa más perniciosa de incendio de origen eléctrico. Su evolución puede ser muy larga y pasar completamente inadvertida.

En los conjuntos de distribución la accesibilidad directa, o después del desmontaje de elementos, sigue siendo posible y acciones de vigilancia (termografía, detección) o mantenimiento (re apriete, cambio de las partes) pueden efectuarse regularmente.

El capítulo III.E.2 recuerda también algunas precauciones para la conexión de los conductores.

Estas facilidades son mucho menos verdaderas en las instalaciones fijas que se ocultan completamente.

Es la razón por la cual los conductores no deben tener ninguna derivación ni conexión cuando estos atraviesan muros, paredes, entretecho, vacíos de construcción o lugares donde no hay acceso (NF C 15-100 (Francia), capítulo 526). Se acepta sólo el caso de las conexiones enterradas, las uniones selladas y las conexiones de sistemas de calefacción por cielo o por piso.

La fiabilidad de las conexiones pasa sobre todo por el respeto de las secciones, de la naturaleza de los conductores y corrientes admisibles, y por una preparación y una puesta en marcha correctas. Se recomienda expresamente la aplicación de los pares de sujeción. (Ver cuadros página 649).



La aplicación de los pares preconizados permite una sujeción óptima de las conexiones.

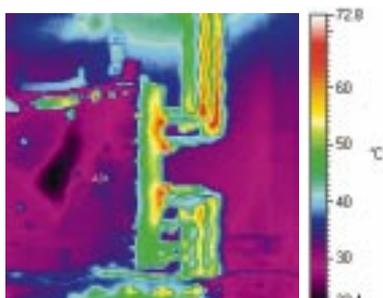
Atención con los olvidos, es el riesgo principal.

Se recomienda un marcado sistemático para imaginar un posible aflojamiento pero sobre todo para certificar la sujeción.



Una sujeción excesiva de las conexiones así como su estrechamiento sistemático y periódico corre el riesgo de implicar un aplastamiento de los conductores, su reducción de sección, el corte de unos pocos, e incluso la ruptura del conductor. En el borne, sujeciones repetidas pueden traducirse por deformaciones debido al rebalse del límite elástico de los materiales y de caídas de presión de contacto.

La prevención de los malos contactos pasa hoy por un planteamiento más específico que se basa en la termografía infrarroja. Limita la intervención sólo a las conexiones cuya temperatura es demasiado elevada.



Visualización de la temperatura de las conexiones de un DMX de 3200 A

Distribución homogénea de la temperatura sobre un repartidor Ref. 374.00 de 250 A



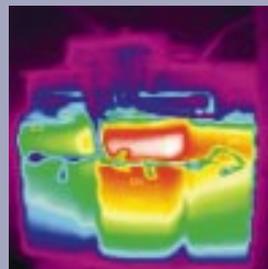
Se ve que las barras flexibles de conexión ganarían al espaciarse



El cliché foto testigo permite identificar sin ambigüedad el sitio o el producto comprobado

● **La sobrecarga de los conductores**

Se traduce en su recalentamiento con riesgos inevitables de degradación de los aislantes, o incluso de fusión, cortocircuito e ignición.



La termografía infrarroja: una prueba simple que permite por ejemplo detectar un calentamiento anormal de una bobina de un transformador debido a un desequilibrio de las cargas.

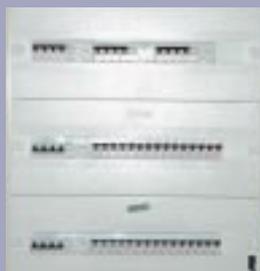


El calentamiento de los conductores está vinculado al efecto Joule. Crece con el cuadrado de la intensidad ($P = RI^2t$). Por ejemplo, una sobrecarga del 20% (que se podría considerar limitada) implica una subida de temperatura del ¡45%!

Los dispositivos de protección deben ser elegidos, calculados y dimensionados para no sobrepasar la corriente admisible I_z de la canalización protegida.

Atención, la protección por fusible implica una reducción del valor I_z (véase capítulo II.A.1).

Los ajustes I_r ($\times I_n$) de los disyuntores regulables deben imperativamente colocarse en función de la intensidad admisible. Si no se puede, se recomienda calcular las dimensiones de la canalización protegida en función del ajuste máximo (correspondiente a la intensidad nominal del aparato). Atención también al ajuste del neutro: posición N/2 en caso de neutro reducido $I_r/2$.



Sin desmontaje de los plastrones, el infrarrojo no permite comprobar los cableados y las conexiones. No obstante permite detectar muy rápidamente un aparato defectuoso o simplemente sobrecargado.

Cuando medidas de «no-protección» contra las sobrecargas son aplicadas (continuidad de servicio o seguridad), las canalizaciones deben ser dimensionadas para la corriente máxima de sobrecarga posible (rotor de motor bloqueado, corriente de llamada permanente...)

Si, para receptores dedicados, algunos circuitos son objeto de una «exención de protección» contra las sobrecargas, se recomienda definirlos para que no estén modificados o estén derivados sin precauciones.

La disposición de conductores en paralelo puede implicar una distribución desigual de las corrientes si las disposiciones recomendadas no son aplicadas (véase capítulo III.E.2) y generar la sobrecarga de algunos conductores en detrimento de otros. Una medida in situ (pinza amperimétrica) es en todos los casos recomendada para conocer la distribución exacta.



La cámara infrarroja ofrece una visualización térmica muy rápida de un sistema de dimensiones media o importante que implican distintos componentes sin instalación de sondas y sin contacto. Indudablemente es una herramienta de diagnóstico rápida para la búsqueda de fallas en múltiples aplicaciones. Pero atención, la fiabilidad de los resultados depende ampliamente de la pertinencia de los datos (desmontaje de las pantallas, mantenimiento de las condiciones normales de régimen térmico) y de la calidad de análisis de los resultados (el valor indicado depende de la emisión de las superficies). Por esta razón, habrá mucho interés en hacer clichés periódicos, para evaluar la evolución en el tiempo, y para cuantificar las divergencias de temperatura. Por otra parte, se recomienda mucho efectuar una campaña de mediciones, de referencia, en el estado nuevo de la instalación.

● La sobrecarga del neutro

Ante el riesgo de sobrecarga del neutro por corrientes armónicas (en particular, rango 3 y sus múltiplos), se recomienda efectuar la medición en cuanto se sospeche su presencia (cargas no lineales: ver página 22).



La medida de los armónicos es muy fácil de realizar con los aparatos actuales. No es necesario desmontar ni interrumpir. Cada circuito puede ser testeado individualmente. Se cuantifica cada fila de armónico en valor absoluto (en A) y en valor relativo (en %)



La ruptura del neutro representa el riesgo indirecto de incendio por las consecuencias que ella implica en el receptor que se encuentra abastecido bajo una tensión mucho más elevada (ver página 266).



NF C 15-100 (Francia) parte 524.2: Si el porcentaje de armónicos de rango 3 y múltiplos de 3 se incluye entre 15 y 33% en corriente, la reducción de la sección del neutro debe entonces estar prohibida. Un sobredimensionado hasta puede ser necesario si este porcentaje es superior a 33%.

● Los cortocircuitos

Las normas de protección de las canalizaciones contra los cortocircuitos se describen en el capítulo II.A.3.

Al nivel de instalación, es importante por supuesto garantizar que por una parte:

- en las condiciones de cortocircuito máximo, los valores de las exigencias térmicas limitadas por las protecciones sean en todos los casos inferiores a los valores admisibles por los conductores
- y por otra parte que los valores más débiles de cortocircuitos en el extremo de la línea hagan funcionar bien las protecciones en un tiempo compatible con la exigencia térmica admisible por los conductores.

Al nivel mismo de los conjuntos y tableros de distribución, la protección contra los cortocircuitos está incluida por supuesto en la elección de los aparatos de protección y también las precauciones tomadas en términos de cableado, de disposición de los aparatos, de robustez de las fijaciones y montajes, de aislante, de alejamiento por el montaje...



Súbitos, imprevisibles y peligrosos, los cortocircuitos dentro de los conjuntos se revelan a menudo muy destructivos debido a la potencia disponible a menudo muy elevada en la cabeza de la instalación (Icc supuesto). La densidad de los materiales y partes bajo tensión favorecen el ataque progresivamente: cables arrancados que entran en contacto con las masas, fusión de los aislantes, barras torcidas, arcos que avanzan, efectos de respiración, chorros de materia en fusión...

● El rayo y la sobre tensiones

Las sobre tensiones y las corrientes de descarga debidas al rayo pueden ser muy destructivas: distensión de los aislantes y cortocircuitos que se derivan, fusión de los conductores; los daños del rayo son raramente benignos. Aunque en una lógica estadística, no es obligatorio proteger las instalaciones poco expuestas, no es de menor importancia que la disposición sistemática de un pararrayos de cabeza de instalación será "un plus" en términos de prevención y protección. Y, si nunca se usa, es mejor aún...

En paralelo a la instalación de pararrayos, la realización de una red equipotencial de buena calidad, de conexiones de masas sistemáticas y de una red de tierra con influencia adaptada al edificio (que corresponda a su superficie como un fondo de excavación) será esencial para la limitación de las perturbaciones y para el descenso de los niveles de sobre tensiones. Las modalidades de realización de las redes de masas se describen en el capítulo I.C.2 página 90 y las normas que afectan a los tableros y conjuntos página.

3 Las precauciones de fabricación y cableado

Los cables están muy raramente en la fuente misma del incendio. Para ello, sería necesario que estén sobrecargados hasta el punto hacer fundir su aislante y de encender materiales próximos o más aún, que estén en cortocircuito a raíz de un daño mecánico. En cambio, los cables y las canalizaciones pueden ampliamente participar en la propagación del fuego si no se toman algunas precauciones constructivas. Avanzando en los locales, los límites máximos o los envolventes técnicos, al cruzar las divisiones, el cable se favorece de la contribución del aire, forma posibles chimeneas para los gases y humos y representa una fuente energética susceptible de causar arcos y cortocircuitos secundarios que pueden atizar la propagación del fuego.

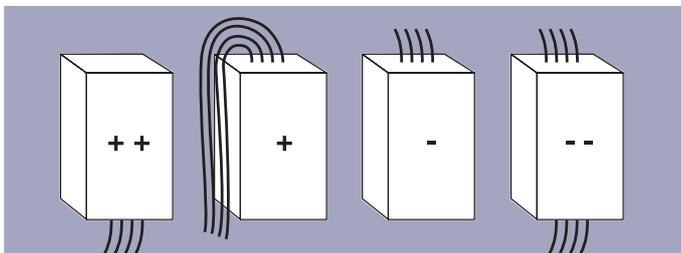
● Llegadas de lo cables a las envolventes

Los suministros de cables en los armarios constituyen a la vez entradas susceptibles de transmitir el fuego al armario (fuego externo) o de propagarlo al medio ambiente (fuego interno).

En la práctica, se favorecerán las entradas de cables en la parte baja de los armarios o cajas. El fuego permanecerá mejor confinado en el envoltorio y en caso de fuego, la zona a nivel de suelo se expone generalmente menos.

Si aducciones son necesarias en la parte alta, deberán volver a cerrarse cuidadosamente; los cables deberán ser sellados por prensaestopas o dispositivos similares (Cabstop Legrand).

Estas precauciones se reforzarán si el envoltorio posee a la vez entradas arriba y abajo que podrían causar una aceleración del fuego por el efecto chimenea.



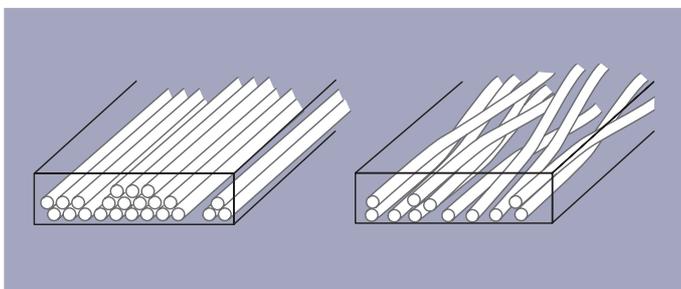
Disposición de los suministros de cables en los envoltorios con relación a la limitación del riesgo de propagación del fuego, desde la más favorable hasta la menos favorable

● Circulación y disposición de las capas de cables

La disposición de las capas y agrupamientos de cables y de los propios cables en estas capas desempeñan un papel importante en el desarrollo del incendio.

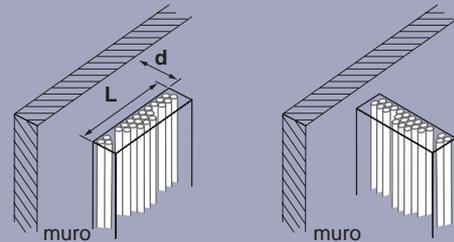
Los cables deberán colocarse correctamente limitando si es posible los intersticios entre ellos para evitar un efecto «gavilla» que favorecería el abrasamiento.

Las capas densas, apretadas y compactas son más difíciles de encender, pero como contrapartida, su disipación térmica es menos buena, lo que puede conducir a reducir la corriente admisible.



Generalmente, es necesario evitar toda disposición que constituye «chimeneas» naturales; un principio que debe aplicarse entre los propios conductores (ver dibujo anterior) pero también para las capas de cables entre ellas mismas y para las capas con los elementos circundantes (paredes, techos...).

Disposición de las capas verticales



La disposición de la capa contra la pared o paralela a la pared crea un efecto de chimenea. Es contra indicada si la distancia d no es al menos igual a L . Es preferible una disposición perpendicular



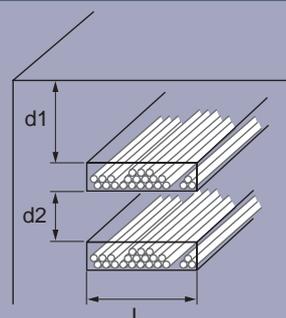
El comportamiento del fuego de las capas verticales de cables (categoría C1 no propagadores del incendio)

La comprobación de la resistencia al fuego de los cables en capas se hace según la norma CEI 60 332-3 (EN 32-072) en una cabina de prueba de 4 m de altura. Los cables se fijan en una escala vertical. Tres categorías A, B, C definen el grado de severidad según el volumen de materia orgánica puesta en juego: 7 - 3,5 - 1,5 dm³ por metro de capa.

La llama de un quemador se aplica en la parte baja durante 30 mn al término de los cuales la altura de los cables quemados no debe alcanzar el límite fijado en 0,4 m de la parte alta de la capa.

Cuando el riesgo de propagación del incendio es elevado (largos cursos verticales, torres), o que la seguridad de los establecimientos está en juego, se recomienda utilizar cables de categoría C1.

Disposición de las capas horizontales

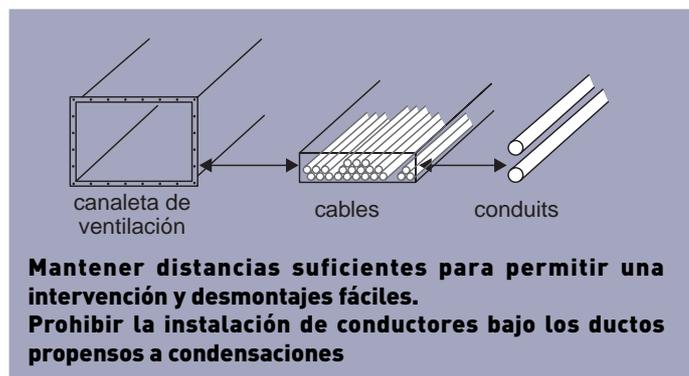


Se recomienda colocar estas capas bajo cielo a una distancia $d1 > 2L$. En caso de incendio, eso evitará en parte que los cables estén en las capas de gases más calientes.

Para evitar la propagación de una capa a otra, se recomienda una distancia mínima $d2 > 2L$

● Disposiciones consustanciales a la proximidad de las canalizaciones

Las conducciones eléctricas no deben correr el riesgo de elevación a una temperatura nociva a causa de la proximidad de fuentes de calor (conductos de aire, agua, humo...). En caso necesario deben interponerse pantallas



● Atravesar paredes

Cuando cables y canalizaciones cruzan paredes, pisos, techos teniendo un grado cortafuegos que prescribe, es imprescindible que éstos encuentren su grado inicial después de la perforación.

La obturación debe efectuarse con materiales adaptados del tipo cemento alta temperatura, yeso, mortero, fibra mineral... se protegerán los propios cables, si es posible, sobre una distancia de 20 cm por uno y otro lado.



No utilizar espuma expansiva de poliuretano cuya resistencia al fuego es baja.

Por principio, parar afuera e internamente la canalización. Esta última obligación puede sin embargo derogarse si la sección interior no excede 710 mm² y si la canalización es al menos IP 33, incluida su extremo.

● Separación, apantallado y alejamiento

No existen normas precisas sobre estas disposiciones que están incluidas en la observación de cada caso y deben sobre todo recurrir a la sensatez. Se podrá por ejemplo separar la parte potencia de la parte comando, en un mismo conjunto por tabiques internos.



Armarios ensamblables Altis y XL-A: una respuesta evidente en término de separación de las funciones... y de los riesgos

Los cables sin halógeno

La mayoría de los cables utilizados hoy se aíslan en parte o en su totalidad con PVC (ver página 567). Estos conductores, naturalmente ignifugados por la presencia de cloro, tienen una buena resistencia al fuego. Se les clasifica C2 generalmente (no propagadores de la llama).

Inconveniente: si caen en un fuego, liberan cloruro de hidrógeno que se condensa en forma de ácido clorhídrico, irritante y corrosivo, lo que impide su uso en algunas aplicaciones (ver página 83).

La necesidad de cables clasificados C1 (de reacción mejorada al fuego) para las capas verticales, y la de excluir el cloro, consiguió el desarrollo de cables C1 llamados sin halógeno, cuyos ignífugos son de trihidrato de aluminio o bihidrato de magnesio. Estos cables liberan poco humo y pocos elementos corrosivos.

Los elementos sensibles pueden ser protegidos por pantallas o encerrados en una caja específica.

Deflectores metálicos o en materiales construidos pueden concebirse para desviar las llamas o detener los humos (repercusiones de techo).

Finalmente el alejamiento físico puede, si no hay espacio, constituir la mejor respuesta al riesgo de propagación. Esto debe considerarse mucho más que, el efecto de radiación térmica del incendio; puede encender los materiales próximos antes que las llamas mismas.

Ejemplo de disposiciones aplicables a la instalación de las cajas XL en locales públicos

El objetivo es aquí asegurarse de la protección contra las proyecciones de partículas incandescentes por la presencia de pantallas que resisten al fuego entre las partes bajo tensión y el público. Estas pantallas pueden estar constituidas por elementos contruidos o por la totalidad o parte del sobre si es de metal.

Potencia ≤ 100 kVA (≤ 145 A a 400 V)

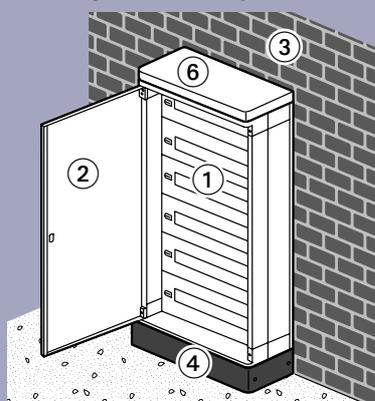
Toda la gama de dotaciones XL aislantes o metálicas puede instalarse sin restricción

Potencia > 100 kVA (> 145 A a 400 V) las cajas XL-A 250 (a pedido) y los armarios XL/XL-A están conformes sin otras disposiciones.

Las cajas y armarios XL 195 responden a las exigencias asociando 2 conceptos de instalación preconizados: envolventes metálicos y paredes construidas.

Las siguientes precauciones de composición e instalación deben respetarse:

Fijación autoportado



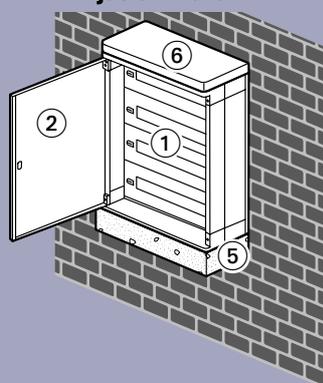
- las cajas y armarios XL 195 deben equiparse con placas metálicas Ref. 092 XX ① o con una puerta metálica Ref. 094 XX ②

- el fondo aislante debe instalarse contra una pared continua construida, clasificada M0 o M1 ③

No retener instalación sobre pörtico o poste

- preconizar de preferencia la instalación de los envolventes directamente sobre el suelo ④ con zócalo Ref. 093 90/81

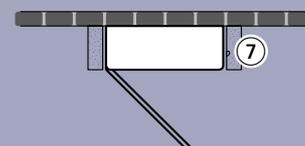
Fijación mural



- Preconizar la instalación sobre un estante metálico o construido ⑤

- Preconizar, excepto instalación bajo límite máximo construido (a menos de 10 cm) la instalación sistemática de un techo metálico ⑥ Ref. 093 83/86

Clase II



No deben utilizarse los equipos clasificados II (caras aislantes) salvo si éstos son duplicados por paredes laterales ⑦ construidas (envolvente embutido en una envoltura técnica, ancho 600 por ejemplo)



A Los materiales constitutivos de los envolventes aislantes XL 100/135/195 se ajustan a la exigencia de comportamiento al fuego: hilo incandescente 750°C.

Todos los aparatos Legrand destinados a montarse en estas cajas (equipo Lexic, gamas DPX, DX, Vistop, repartidores, borneras, apoyos, juego de barras...) se ajustan también a esta prueba.



No confundir:

- la prueba de reacción al fuego de un material (clasificación M o Euroclasses) que cuantifica la contribución al fuego y su propagación

- la prueba de resistencia de un producto (clasificación SF, PF, CF) que mide el tiempo durante el cual conserva la función que se le asigna: estabilidad, apaga llamas, cortafuego.

Los resultados de estos dos conceptos no están vinculados y pueden ser contradictorios: el hierro por ejemplo se clasifica a M0 pero no resiste en estabilidad ($< 1/4$ h), al contrario una viga de madera clasificada M3 puede ser SF 2 h.

4 La extensión del fuego: la influencia de los materiales, la carga calórica

Debe controlarse la extensión inmediata del fuego, dos estrategias complementarias de lucha están disponibles:

- detectar, alertar y desencadenar eventualmente dispositivos de lucha automática (gases extintores, sprinklers, espuma...);

- limitar o incluso eliminar los elementos que el fuego podría «devorar» y seleccionar los que se adaptan en términos de reacción al fuego (clasificaciones M y euroclases) o de resistencia (clasificaciones SF, PF, CF).

Las disposiciones descritas para las dotaciones XL (véase tabla) son suficientes.

En algunos casos (instalaciones clasificadas por ejemplo), especificaciones podrán sin embargo fijar niveles mínimos para los locales eléctricos.

Bajo la presión de los seguros, en particular, de numerosas mejoras y aumentos del nivel de seguridad son necesarios: detección obligatoria, compartimentación, almacenamientos exteriores, sprinklage...

Cuestionarios precisos permiten calcular las primas en función de los riesgos considerados, en particular, con relación a la naturaleza de los materiales circundantes; los de los pisos, las paredes y divisiones, las estructuras y tejados, de las adaptaciones interiores..

Algunos materiales o elementos de construcción consideran poseer una clasificación al fuego genérico (véase tabla)

- Para los productos más complejos (compuestos, por varias capas, materiales sintéticos...) o los de adaptación (tejidos, cubre pisos, recubrimientos, alfombras..), es necesario remitirse a las características declaradas del fabricante que debe estar en condiciones de proporcionar unas ACTAS de prueba oficiales de un laboratorio autorizado.



En un enfoque preventivo, puede aumentarse con relación a la normativa, se recomienda considerar el riesgo de propagación que tendría un incendio de origen eléctrico sobre los materiales y los elementos circundantes: cerca de los tableros, de las canalizaciones y de las redes de canalizaciones, en los locales eléctricos, los armarios y las salidas, las circulaciones hasta los puestos de utilización. En ausencia de recomendaciones, niveles mínimos, M3 al suelo, M2 a las paredes y M1 en el techo, deberían aplicarse empíricamente en los sitios antes citados. Siempre con el fin de limitar la propagación, el taponado de las capas verticales y pasos entre niveles debería ser sistemático. La instalación de detectores de humos en los locales TGBT, los cielos y techos, los envolventes técnicos de fuerte densidad en cableado eléctrico dependen de la misma preocupación de prevención.

Clasificación de reacción al fuego de algunos materiales Valores genéricos con carácter orientador

Materiales minerales	Vidrio, hormigón, ladrillo, yeso, morteros de cemento y cal, piedra, pizarra, vermiculita, perlita, cerámicas	M0 o A1
	Placa de yeso acartonado	M1
Metales	Hierro, fundición, aluminio, cobre, zinc ...	M0 o A1
Materiales a base de madera	Maderas no resinosas de grosor \geq 14 mm. (resinosas > 18 mm.)	M3
	Maderas no resinosas de grosor < 14 mm. (resinosas > 18 mm.)	M4
	Paneles entarimados, partículas, fibras \geq 18 mm.	M3
	Paneles entarimados, partículas, fibras < 18 mm.	M4
	Entarimados maderas macizas clavadas \geq 6 mm.	M3
Materiales sintéticos	Entarimados maderas macizas clavadas < 6 mm.	M4
	PVC rígidos	M1 o M2
	PVC flexibles	M2 o M4
	Poli olefinas (PP o PE)	M3 o M4
	ABS	M2 o M4
	PTFE (Teflón)	M1
	Poliéster	M1 o M4
	Poliuretanos (espumas no ignífugas)	no clasificado
Poliuretanos (espumas ignífugas)	M2 o M4	
Siliconas	M1 o M2	

Clasificación de resistencia al fuego de algunos elementos de construcción Valores genéricos con carácter orientador

Divisiones en ladrillos yeseras esp. 5 cm + 1 cm de yeso cara expuesta		CF 1 h
Divisiones en ladrillos yeseras esp. 8 cm + 1 cm de yeso cara expuesta	PF 6 h	CF 1 h
Divisiones en ladrillos yeseras esp. 12 cm + 1 cm de yeso cara expuesta	PF 6 h	CF 2 h
Divisiones en ladrillos yeseras esp. 21 cm + 1 cm de yeso cara expuesta	PF 6 h	CF 4 h
Divisiones en ladrillos llena esp. 6 cm + 1 cm de yeso cara expuesta	PF 6 h	CF 1 h 30
Divisiones en ladrillos llena esp. 10 cm + 1 cm de yeso cara expuesta	PF 6 h	CF 3 h
Divisiones en hormigón esp. 5 cm + 1,5 cm de yeso cara expuesta		CF 2 h
Divisiones en bloques huecos esp. 10 cm + 1 cm capa de cemento cara expuesta	PF 4 h	CF 1 h
Divisiones en bloques huecos esp. 20 cm sin capa	PF 6 h	CF 6 h
Divisiones en cuadrados de yeso esp. 5 cm armados con argamasa se clava	PF 2 h	CF 2 h
Divisiones en cuadrados de yeso esp. 10 cm armados con argamasa se clava	PF 4 h	CF 4 h

● La evaluación de la carga calorífica

La liberación de calor es un elemento esencial del incendio. De una manera general, la duración de éste y su temperatura aumentan proporcionalmente a la carga calorífica cuyo valor está directamente vinculado a la cantidad y a la naturaleza de los materiales que deben quemarse.

Cada uno de estos materiales es caracterizado por un potencial calorífico expresado en mega joules por kilogramo (MJ/Kg) que representa la cantidad de calor logrado por la combustión completa de una masa unitaria de este material (que puede ser un sólido, un líquido o un gas).



Según si el agua producida por la combustión se libera en forma de vapor o se condensa completamente, se designa respectivamente el poder calorífico de PCI (poder calorífico inferior) o PCS (poder calorífico superior). Los valores de PCS son dados por las pruebas y son los que generalmente se utilizan .

El potencial calorífico Q , presentado por un producto, es igual a: $m \times PCS$ si el producto está constituido por un único material (m : masa del producto en kg).

Es igual a: $m_1 \times PCS_1 + m_2 \times PCS_2 + \dots + m_n \times PCS_n$ si el producto está constituido por varios materiales: cada uno ellos es afectado por la masa utilizada y por su PCS propio.

La carga calorífica total Q_t que se desea evaluar (la de un local por ejemplo, de una envergadura de almacenamiento, de un taller, de una zona sensible...) se determina añadiendo todos los potenciales unitarios presentados por los distintos productos y materiales presentes.

$$Q_t = \sum Q$$

La carga calorífica total puede ser ponderada por la superficie del local llegando a un concepto de Densidad de Carga Calorífica expresado en MJ/m².

En teoría, sólo se consideran los elementos que pueden participar realmente en el incendio. Así, los elementos metálicos o los materiales que no pueden abastecer el fuego bajo una determinada temperatura o los completamente protegidos no se toman en cuenta.

El enfoque del cálculo de la carga calorífica debe pues recurrir a una determinada «sensatez»: contabilizar pequeños productos de escasa carga calorífica cuando la carga principal está identificada, no es útil.



La evaluación de la carga calorífica puede requerirse en algunas industrias de riesgo, en los edificios de gran altura, en lo nuclear o bien pedidas por algunas compañías de seguros.



Atención, la carga calorífica de un incendio se aumenta ampliamente por la contribución posterior de muebles, equipos y distintos productos que no siempre se contabilizan en el balance inicial.

Una omisión muy criticable ya que pueden llegar a ser a la fuente del incendio: receptor eléctrico defectuoso por ejemplo o simplemente un cigarrillo sobre una silla.

Algunos valores genéricos de PCS

En la medida de lo posible, es preferible dirigirse a los informes con los datos dados por los fabricantes o por los proveedores de materiales. Si no existen, los datos siguiente, permitirán un enfoque adecuado.

Madera.	18 a 21 MJ/Kg
PVC: polivinilo cloruro.	20 MJ/Kg
PP: polipropileno.	46 MJ/Kg
PS: polistireno.	41 MJ/Kg
PA: poliamida.	32 a 37 MJ/Kg
PET: polietileno tereftalado.	33 MJ/Kg
PBT: polibutileno tereftalado.	33 MJ/Kg
PC: policarbonato.	29 MJ/Kg
PC/ABS: policarbonato/ABS.	31 MJ/Kg
ABS: Acrilonitrilo butadien estireno.	36 MJ/Kg
Neoprén polichloropreno.	40 MJ/Kg
PMMA: polimetacrilato de metilo.	25 MJ/Kg
PU: poliéster + fibra de vidrio.	5 a 20 MJ/Kg
Pintura brillante: 0,15 kg/m ²	3,35 MJ/m ²
Pintura mate: 0,65 kg/m ²	3,35 MJ/m ²
Revestimientos murales.	5 a 40 MJ/m ²
Revestimientos de suelos.	20 a 80 MJ/m ²

En algunos locales la selección de los materiales utilizados va mucho más allá que la estimación de la carga calorífica. Condiciones de evacuación largas (numerosas personas) o difíciles (marcha) pueden conducir a una selección drástica de los materiales: por esto, la nueva normativa (Euroclases) de los productos de la construcción va integrando conceptos de generación y opacidad de los humos por ejemplo.

A partir del principio inevitable que todos los materiales orgánicos: termoplásticos, termoestables, elastómeros, maderas y derivados de la celulosa... queman emitiendo óxido de carbono (CO), causa mortal principal en caso de incendio, en algún momento se necesitará hacer una elección que será inevitablemente un compromiso.

En función de la estrategia adoptada, esta elección podrá afectar distintas fases del incendio.

Así pues, elegiremos lógicamente, para luchar contra la ignición, los materiales difíciles de prender (que contienen retardadores) pero su naturaleza puede volverlos peligrosos si el incendio sigue desarrollándose:

- los productos clorados (PVC, Neopreno) o halógenos (la mayoría de los plásticos ignifugados son difícilmente inflamables, más o menos auto extinguidos pero pueden generar humos ácidos, irritantes o narcóticos).

- Las poliamidas que tienen calidades bastante similares, pueden generar, en poca cantidad, ácido cianhídrico (a más de 600°C, el HCN se transforma en óxido nitroso, (NOX).

- Los estirenos (ABS, PS) generan importantes cantidades de humos opacos.

- Los productos que contienen azufre (poliéster sulfoso, sulfuro de polifenileno) se degradan en ácido sulfúrico. Lo mismo pasa con los productos fluorados (Teflón), se degradan en ácido fluorhídrico y los retardadores organofosforosos se degradan en ácido fosfórico.

A estas exigencias de inflamación, de generación de humos y de efluvios tóxicos o corrosivos, es necesario añadir por supuesto los conceptos "más habituales" del poder calorífico, es decir cinética de la producción energética, de mantenimiento mecánico y estructural.

¡Una consideración rigurosa de estos múltiples criterios le da todas las chances para terminar en una ausencia de soluciones prácticas!

Un análisis más fino es necesario y las prioridades deben estar dadas, y los compromisos aceptados.

Cada componente, producto y sus materiales constituyentes deben ser analizados en términos de riesgo: con relación al inicio del incendio (prender), con relación a su función y a la necesidad de conservarla durante el incendio (por ejemplo circuitos de seguridad), con relación a su situación física en la cadena probable de propagación del fuego, con relación a su contribución en términos de combustible...

El conjunto de estos elementos ponderados permitirá entonces efectuar un balance preciso para cada puesto... sin olvidar que la prioridad sigue siendo la conservación de las vidas.

ESQUEMAS DE CONEXION A TIERRA

Las condiciones de conexión a tierra se han definido de manera reglamentaria con el objetivo primordial de proteger a las personas de las consecuencias de las fallas de aislamiento en las instalaciones. Si los diferentes esquemas de conexión a tierra proporcionan un nivel equivalente de protección contra los contactos indirectos, no ocurre forzosamente lo mismo con la seguridad de los bienes, la continuidad de funcionamiento o la compatibilidad electromagnética.

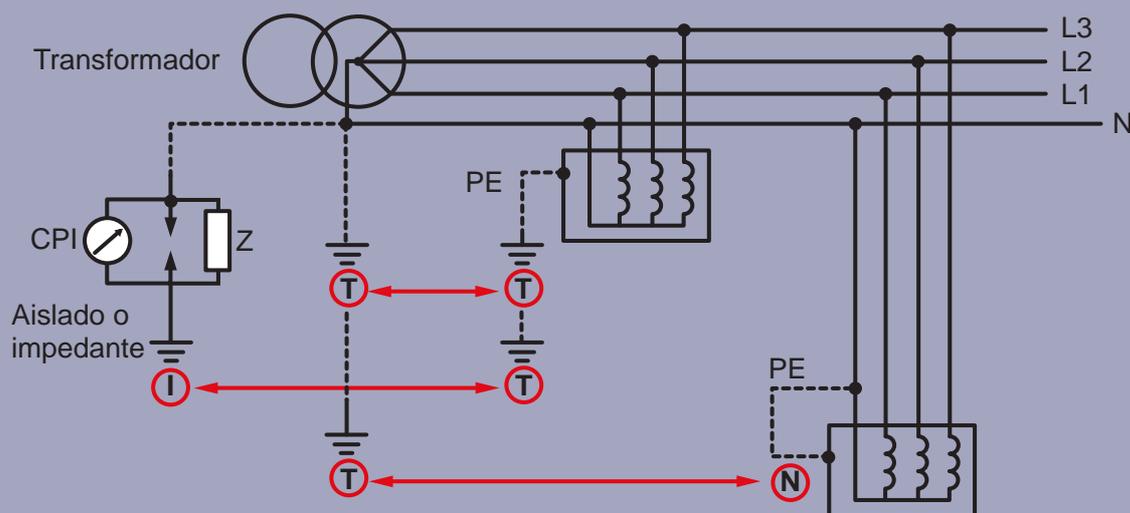
La elección del «régimen de neutro» no influye en el nivel de seguridad obtenido para garantizar la protección de las personas. Por el contrario, puede tener consecuencias en la continuidad del funcionamiento, la compatibilidad electromagnética, la protección de los bienes, los costos de instalación, el mantenimiento y la capacidad evolutiva.

Las normas extranjeras CEI 60364 y NFC 15-100 definen tres esquemas de conexiones a tierra, que reciben los nombres de TT, IT y TN.

La 1ª letra designa la situación de la alimentación (generalmente, el neutro del secundario del transformador) con relación a la tierra.

La 2ª letra designa la situación de las masas metálicas de los aparatos en la instalación.

Diferentes regímenes de neutro



Los «esquemas de conexión a tierra» indican las diferentes organizaciones posibles de la instalación eléctrica de baja tensión con relación al potencial de tierra. La definición de las normas extranjeras CEI 60364 y NFC 15 - 100 se basa en esta denominación.

En la práctica, e incluso aunque no sea perfectamente correcta, la expresión que se utiliza y que conservaremos en lo que sigue es «régimen de neutro».



En una misma instalación pueden coexistir varios tipos de conexiones a tierra. Las normas de instalación se indican en el capítulo I.D.2.

Los diferentes regímenes de neutro

Todos los regímenes de neutro aportan una seguridad equivalente respecto del riesgo de choque eléctrico.

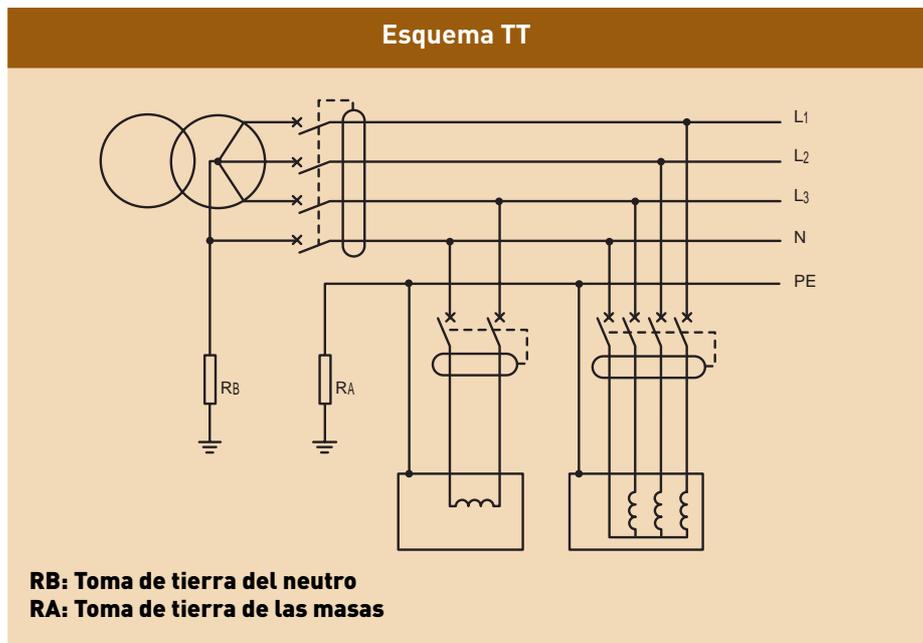
Para que dicha seguridad sea garantizada, se debe conocer muy bien sus condiciones de puesta en obra y de funcionamiento.

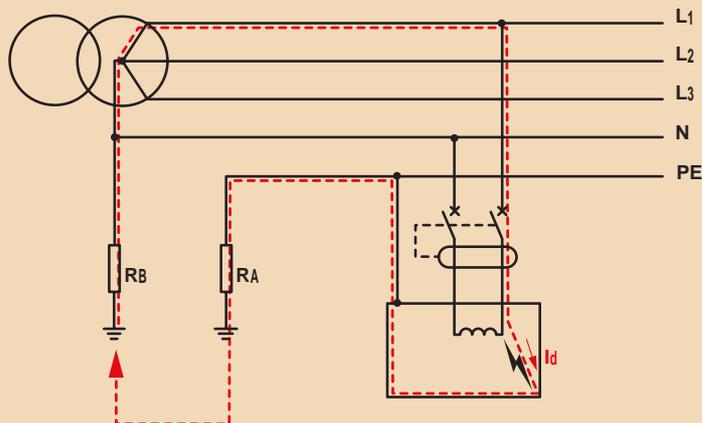
1 ESQUEMA TT (NEUTRO A TIERRA)

T: neutro a tierra
T: masas a tierra

En el esquema TT (el sistema más utilizado en nuestro país), el punto neutro del secundario del transformador de alimentación de la instalación está directamente conectado a tierra y las masas de dicha instalación lo están a una toma de tierra eléctricamente diferente.

La corriente de falla está fuertemente limitada por la impedancia de las tomas de tierra, pero puede generar una tensión de contacto peligrosa. La corriente de falla es generalmente demasiado débil como para hacer reaccionar las protecciones contra sobrecorrientes, por lo que se eliminará preferentemente mediante un dispositivo de corriente diferencial residual.





En caso de falla del aislamiento de un receptor, la corriente de falla circula por el circuito llamado bucle de falla, constituido por la impedancia de falla en la masa del receptor, la conexión de dicha masa al conductor de protección, el propio conductor de protección y su puesta a tierra (RA); el bucle se cierra con las bobinas del transformador y el circuito de alimentación. Lógicamente, la impedancia del bucle debiera calcularse por tanto a partir del conjunto de elementos en serie que constituyen dicho bucle.

En la práctica y tal como las normas admiten, sólo se considera la resistencia de la toma de tierra de las masas RA. La corriente de falla se sobrevalora ligeramente, pero el margen de seguridad aumenta.

Debe cumplirse la condición $R_A \times I_d \leq V_s$. El umbral de sensibilidad $I_{\Delta n}$ del dispositivo diferencial de protección se determina mediante $I_{\Delta n} < \frac{V_s}{R_A}$

El conductor neutro debe estar conectado a tierra antes del dispositivo diferencial. Las masas deben estar conectadas a una sola toma a tierra y basta con un solo dispositivo diferencial previo. Si hay circuitos conectados a tomas a tierra diferentes, cada conjunto de circuitos deberá protegerse mediante un dispositivo diferencial propio.

Sensibilidad $I_{\Delta n}$ en función de la resistencia de tierra

$I_{\Delta n}$ diferencial	R Tierra (Ω) $V_s : 24 V$
$\leq 30 \text{ mA}$	> 800
100 mA	240
300 mA	80
1 A	24
3 A	8

En la práctica, se utilizan diferenciales de 100, 300, e incluso 500 mA asociados a tierras inferiores a 100Ω en locales secos. Cuando la tierra es mala, se necesita una sensibilidad de 30 mA.



La NCH Elec. 4/84 define como valor de tensión de seguridad V_s , 24 V en locales o emplazamientos húmedos y 65 V en los secos.



Los dispositivos diferenciales de alta sensibilidad ($I_{\Delta n}$: 30 mA) permiten garantizar la protección contra contactos indirectos cuando las condiciones de establecimiento de la toma de tierra son desfavorables (> 800) o, lo que es igual, irrealizables. Recomendados en la alimentación de tomas de corriente y en condiciones de utilización de alto riesgo (aparatos portátiles, instalaciones de obra, presencia de humedad...), estos dispositivos garantizan una protección añadida contra contactos directos e indirectos.

El esquema TT con protección mediante dispositivo diferencial es fácil de instalar, naturalmente ofrece seguridad y no exige cálculos complicados. Por el contrario, puede plantear problemas de selectividad vertical o de sensibilidad a las corrientes de fuga, si bien existen soluciones apropiadas: - varios niveles de diferenciales (con desfase de sensibilidad y de tiempo de corte) permiten conservar una buena selectividad (ver página 304) - los diferenciales Hpi presentan buena inmunidad en las utilizaciones con elevada corriente de fuga (informática) - como último recurso, siempre es posible utilizar un transformador de separación de circuito.

El esquema TT con protección mediante dispositivo diferencial es fácil de instalar, naturalmente ofrece seguridad y no exige cálculos complicados. Por el contrario, puede plantear problemas de selectividad vertical o de sensibilidad a las corrientes de fuga, si bien existen soluciones apropiadas:

- varios niveles de diferenciales (con desfase de sensibilidad y de tiempo de corte) permiten conservar una buena selectividad (ver página 304)
- los diferenciales Hpi presentan buena inmunidad en las utilizaciones con elevada corriente de fuga (informática)
- como último recurso, siempre es posible utilizar un transformador de separación de circuito.

Establecimiento de la toma de tierra

La resistencia de la toma de tierra depende de la geometría y de las dimensiones de la misma (pica, placa), así como de la naturaleza del suelo (limo, grava, piedra).

Orden de magnitud de la resistividad ρ en Ω m

Terrenos arables grasos, compactos húmedos (arcilla, limo)	10 A 100 Ω m
Terrenos arables secos, gravas, rellenos	100 A 500 Ω m
Terrenos pedregosos, arena seca, rocas impermeables	500 A 3000 Ω m y más

Fórmulas prácticas de cálculo de una toma de tierra R (en Ω)

- conductor horizontal: $R = 2 \rho / L$ (L : longitud en m)
- placa: $R = 0,8 \rho / L$ (L: perímetro de la placa en m)
- pica vertical: $R = \rho / L$ (L: longitud de la pica en m)



La normalización admite, y es costumbre en ciertos países, que la protección esté garantizada mediante dispositivos contra sobrecorrientes. Esto genera exigencias en cuanto a los valores de toma de tierra muy difíciles de cumplir (< 0,3 Ω para un calibre de 32 A por ejemplo), lo que conduce a corrientes de falla elevadas.

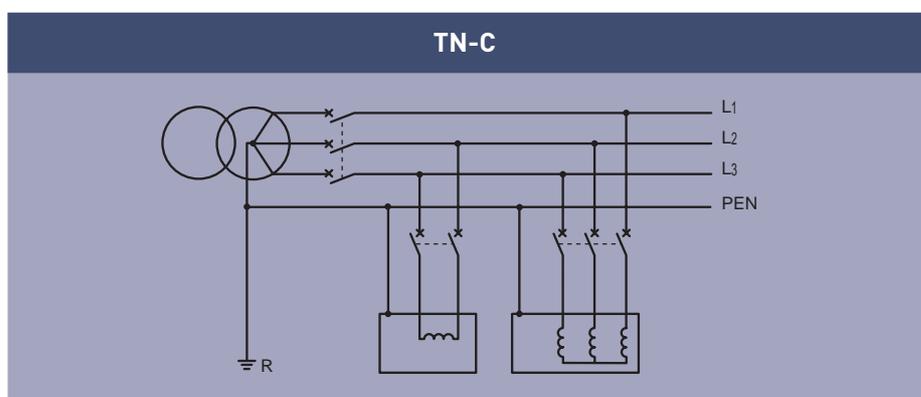
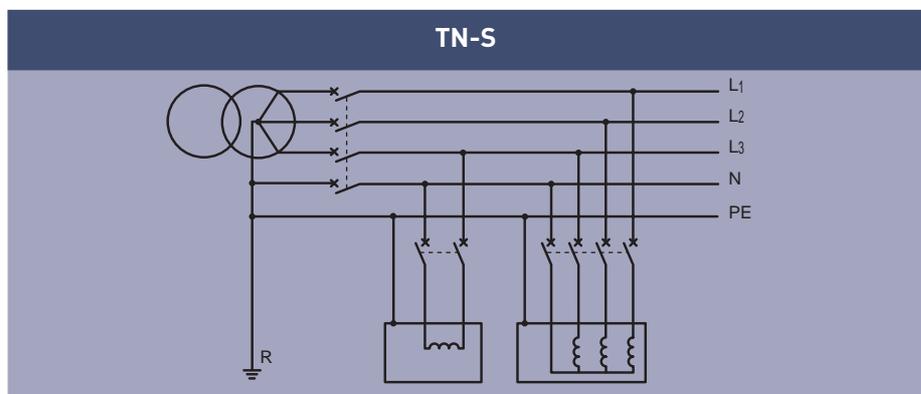
2 ESQUEMA TN (PUESTA A NEUTRO)

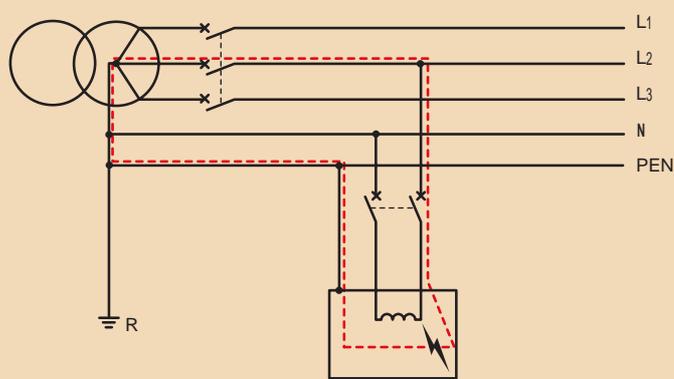
T: neutro a tierra

N: masas a neutro

En esquema TN, un punto de la alimentación, generalmente el neutro del transformador, se conecta a tierra. Las masas de la instalación se conectan a este mismo punto mediante un conductor de protección. El esquema recibe el nombre de TN-C cuando la función del neutro es la misma que la del conductor de protección, que recibe entonces el nombre de PEN (Condición prohibida en Chile). Si dichos conductores están separados, el esquema se denomina TN-S (condición aceptada en Chile).

La impedancia del bucle de falla es baja (no pasa por tierra). Si se produce una falla de aislación, ésta se transforma en cortocircuito y deberá ser eliminada por los dispositivos de protección contra sobrecorrientes.





En caso de falla de aislación en cualquier lugar de la instalación, el corte automático de la alimentación deberá producirse en el tiempo prescrito de corte t , respetando la condición $Z_s \times I_a \leq U_0$

Z_s : impedancia del bucle de falla incluyendo la línea de alimentación, el conductor de protección y la fuente (bobina del transformador).

I_a : corriente de funcionamiento del dispositivo de protección en el tiempo prescrito.

U_0 : tensión nominal fase/tierra.

En las partes fijas y móviles de la instalación de distribución, se admiten tiempos inferiores a 5 s.

La validación de la protección contra contactos indirectos en el esquema TN se basa en la comprobación de las condiciones de funcionamiento de las protecciones (ver capítulo II.A.4). Cuanto mayor sea el valor de la falla, más fácilmente se obtendrán las condiciones de activación. A medida que aumenta la longitud de los cables

que deben protegerse, disminuye el valor de la corriente de falla.

Si no puede alcanzarse la condición de protección, es posible:

- aumentar la sección de los conductores (disminución de la impedancia del bucle de falla)
- efectuar una conexión equipotencial local (disminución del valor de la tensión de contacto que se presume)

- utilizar dispositivos de protección diferencial de alta sensibilidad. Con esta última solución se pueden evitar las comprobaciones. Permite proteger los circuitos terminales de tomas de corriente en las que a veces se desconocen los receptores y las longitudes de cables.



La determinación de las longitudes máximas de línea protegidas de los contactos indirectos, es una condición imperativa de la utilización del régimen TN.

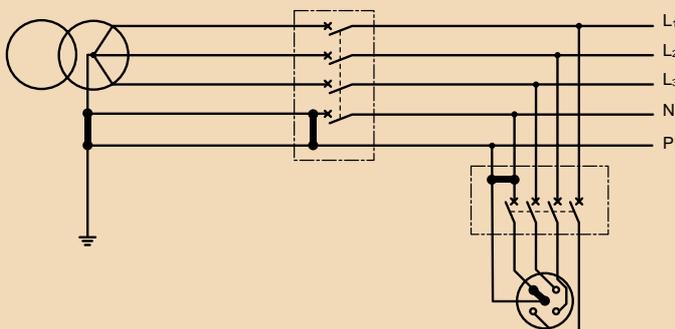
! Si las cargas son exclusivamente trifásicas, el esquema TN-S puede ser a neutro no distribuido. En tal caso, los aparatos son tripolares y los toroides diferenciales de detección deben excluir al conductor PE.

Por principio, un esquema TN, en el que el neutro no esté distribuido, se considera como un esquema TN-S.

Se recomienda una atención permanente para evitar confundirlo con un esquema TN-C.



Se recomienda instalar interconexiones regulares (desmontables en las mediciones) entre el conductor PE y el conductor N: al nivel de la fuente (punto neutro del transformador), antes del dispositivo general de protección (en el TGBT), antes de los dispositivos de protección de los circuitos de utilización (cuadros divisionarios) y en el punto de utilización (base de toma de corriente).

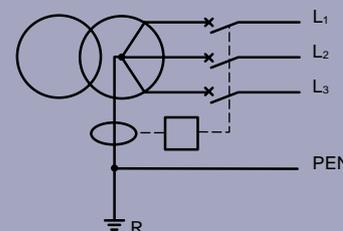


Nota: esta disposición es aplicable sólo en países donde no es necesario el corte del neutro.

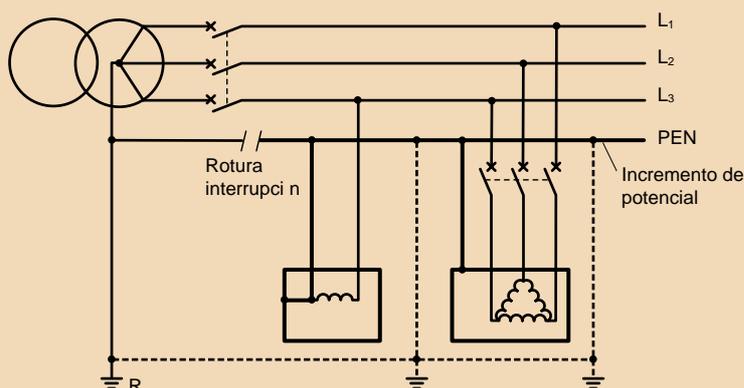


La detección de corrientes de defecto a tierra por toroide diferencial está prohibido en esquema TN-C.

Sin embargo una detección de sobrecorriente en el conductor PEN, que provoca el corte de los conductores de fase (pero no la del PEN), puede realizarse colocando un toroide homopolar en la conexión neutro/PEN del transformador, esta detección es tanto más necesarios cuanto que sea pequeña la sección del PEN en relación a los conductores por fase.



En caso de rotura o corte del conductor PEN, las masas de la instalación podrían alcanzar el potencial de la tensión U_0 . Por esta razón, el conductor PEN no debe poder ser interrumpido por ningún dispositivo (seccionamiento, protección, paro de emergencia). De acuerdo con esta misma preocupación por la continuidad, la sección mínima no podrá ser inferior a 10 mm² en cobre y a 16 mm² en aluminio.



La seguridad ligada a la limitación del aumento del potencial de las masas se basa en el esquema TN sobre la conexión al conductor de protección, por lo que es importante asegurarse de que el potencial se mantiene lo más cerca posible del de tierra.

Por lo tanto, se recomienda conectar el conductor PE o PEN a tierra en tantos puntos como sea posible; como mínimo, al nivel de los transformadores de alimentación del tablero general (conexión equipotencial principal) y al nivel de cada edificio, incluso de cada grupo de circuitos de utilización.

2 ESQUEMA IT (NEUTRO AISLADO O IMPEDANTE)

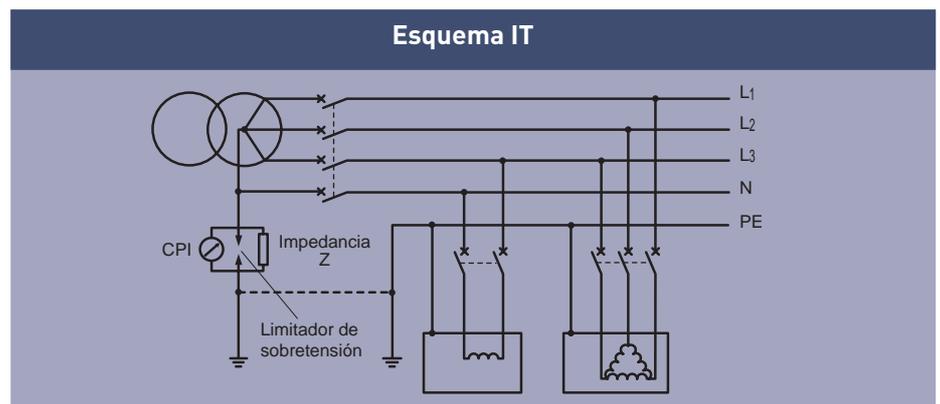
I: neutro «aislado» o «impedante»
T: masas a tierra

En el esquema IT, la alimentación de la instalación está aislada de tierra, o conectada a ella con una impedancia Z elevada. Esta conexión se lleva a cabo generalmente en el punto neutro o en un punto neutro artificial.

Las masas de la instalación están interconectadas y conectadas a tierra. En caso de alguna falla del aislamiento, la impedancia del bucle de falla es elevada (viene determinada por la capacidad de la instalación con respecto a tierra o por la impedancia Z).

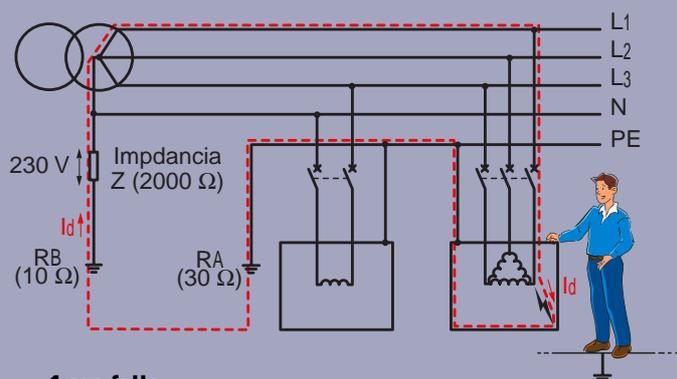
En la primera falla, el incremento de potencial de las masas permanece limitado y sin peligro. La interrupción no es necesaria y la continuidad está asegurada, pero debe buscarse y eliminarse la falla para lograr un servicio competente.

Con ese objeto, un controlador permanente de aislación (CPA) vigila el estado de aislamiento de la instalación. Si la primera falla no es eliminada se añade una segunda, se transforma en cortocircuito, el cual deberá ser eliminado por los dispositivos de protección contra sobrecorrientes.



El controlador permanente de aislación (CPI)

El CPI está permanentemente inyectando una corriente continua (algunos volts) entre la tierra y un punto de la red. Por lo mismo, la parte capacitiva de la impedancia no es medida. La corriente resultante es la suma de las corrientes de fuga de las tres fases y caracteriza la aislación de la instalación. Un umbral de señalización (regulado a la mitad del valor normal) o un "acusador" permanente del valor de aislación permite seguir y mantener la instalación. En esta, debe haber sólo un CPI, su tensión de uso debe considerar si hay o no presencia de neutro (por ejemplo, 250 V con neutro y 400 V sin neutro).



1 era falla:
no hay peligro para las personas

La corriente de la primera falla está limitada por la suma de las resistencias de las tomas de tierra de la alimentación (RB), de las masas (RA) y de la impedancia (Z). En el ejemplo adjunto:

$$I_d = \frac{U_o}{R_A + R_B + Z} = \frac{230}{30 + 10 + 2000} = 0,112 \text{ A}$$

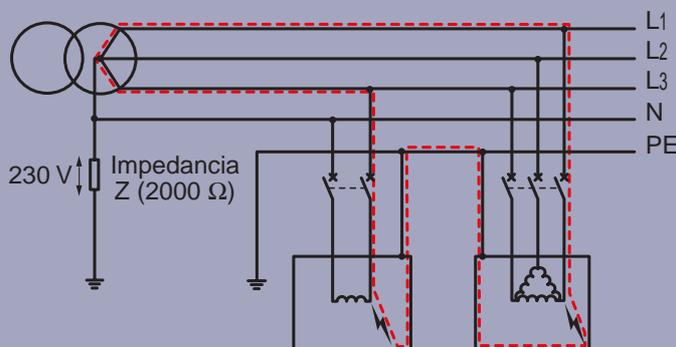
La condición de no interrupción se cumple garantizando que la corriente no incrementará las masas hasta un potencial superior a la tensión de seguridad Vs. Por lo tanto, tendremos:

$$R_A \times I_d \leq V_s$$

En el ejemplo: $30 \times 0,112 = 3,36 \text{ V}$.

Las masas no alcanzarán una tensión peligrosa y se permite la no interrupción.

Al sobrevenir la 2ª falla, afectando a otra fase, a la misma masa, o a una masa diferente, se constituye un bucle con las masas de los receptores en falla, los conductores de protección y los conductores de alimentación. Dicho bucle genera la circulación de una elevada corriente de cortocircuito, cuyas condiciones de eliminación son las del esquema TN o TT.



2ª falla: cortocircuito

Cabe señalar que esta situación de doble falla es totalmente independiente de la situación de neutro con respecto a tierra, aislado o impedante.

El valor de la corriente de doble falla IT suele ser inferior al que podría tener en TN. Las longitudes de línea protegidas se reducen en la misma proporción.

En caso de falla, el potencial del neutro podrá incrementarse hasta alcanzar el potencial de la fase en falla (tensión simple). El potencial de las otras fases tenderá a incrementarse hacia el valor de la tensión de línea. Por ello, se aconseja no alimentar aparatos entre fase y neutro bajo el esquema IT y, por lo tanto, no distribuir el neutro.

En el esquema IT, las masas pueden estar conectadas a tierra individualmente, por grupos, o todas interconectadas conjuntamente.

En cualquier caso, es necesario comprobar que se cumple la condición $R_A \times I_a \leq V_s$ para la resistencia de la

tierra RA de las masas consideradas (siendo I_a la corriente de activación del dispositivo de protección).

Es preferible la interconexión y la conexión a una sola toma de tierra.

Si aparece una doble falla, las condiciones de protección a aplicar y a

comprobar serán las del esquema TT si las masas están separadas, y las del esquema TN si todas ellas están interconectadas. Véase la determinación de las condiciones de protección en el capítulo II.A.4.

Regímenes de neutro de grupos electrógenos

Los grupos electrógenos presentan características que deben tenerse en cuenta en la protección contra los contactos eléctricos.

Los grupos móviles no pueden estar conectados a tierra y su conexión mediante un cable flexible constituye un elemento frágil.

En general, los grupos tienen niveles de cortocircuito mucho menores que los transformadores (del orden de $3 I_n$ en lugar de $20 I_n$, como dato orientativo).

Debido a ello, las condiciones de activación necesarias para la protección contra contactos indirectos pueden no estar garantizadas por los dispositivos dimensionados para el funcionamiento con una fuente normal.

1 Grupos portátiles para instalaciones temporales

Limitados a pocos kVA, alimentan directamente un pequeño número de receptores (puesto en un mercado, quiosco, alimentación de herramientas portátiles...).

Las masas del grupo deben estar conectadas a las de la instalación mediante un conductor de protección. Cada circuito de salida debe estar protegido mediante un dispositivo diferencial $I_{\Delta n}$ 30 mA.

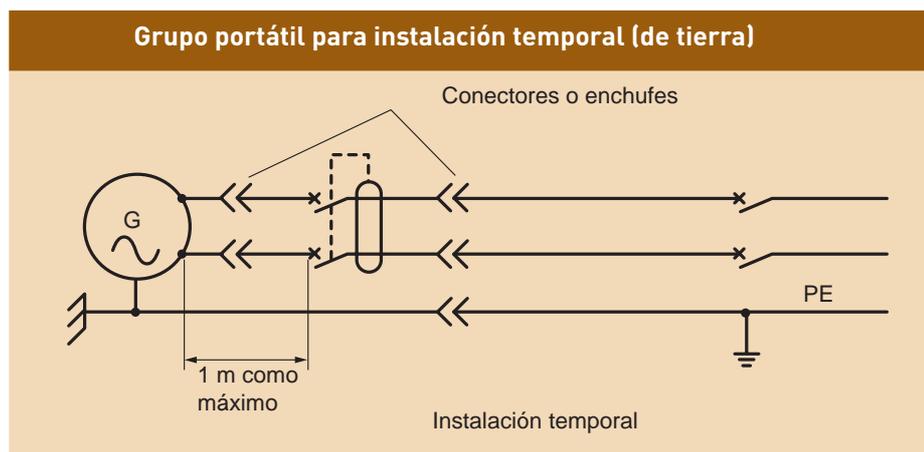
Si el grupo posee una o varias tomas de corriente sin diferencial de protección, deberá instalarse uno por circuito a una distancia inferior a 1 m. Si el grupo electrógeno es de clase II, no se efectúa la conexión de las masas, sino que es obligatorio instalar uno o varios diferenciales para la protección complementaria contra contactos directos, especialmente en el cable flexible de conexión.

2 Grupos móviles para instalaciones temporales

Estos grupos, de potencia superior a 10 kVA, alimentan instalaciones más extensas (obras, picaderos, carpas...). Las masas del grupo están conectadas a las de los aparatos de uso mediante un conductor de protección. La protección contra contactos eléctricos está garantizada mediante un dispositivo diferencial $I_{\Delta n}$ 30 mA. Si existen requisitos de selectividad diferencial entre los circuitos alimentados, pueden aplicarse las reglas descritas en la página 303.

La imposibilidad de establecer una toma de tierra fiable obliga a adoptar un esquema TN-S.

La corriente de falla se cierra con la conexión de las masas. El neutro puede ser o no distribuido.



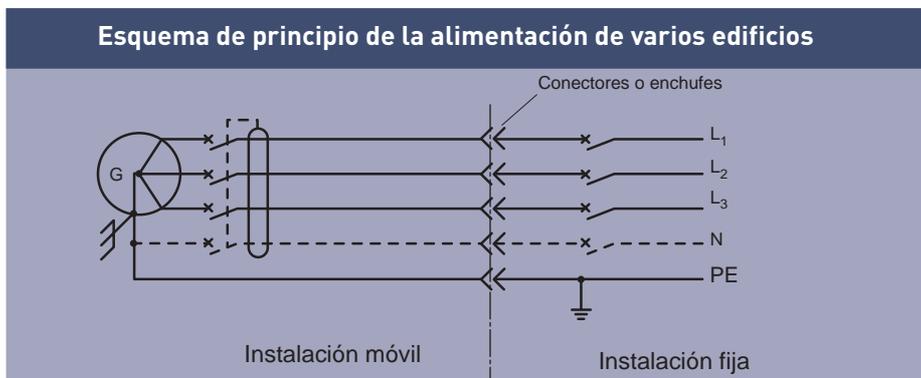
3 Grupos móviles para instalaciones fijas

La realimentación temporal de una instalación fija en lugar de la red o de la alimentación habitual solo debe realizarse tras un corte. Pueden utilizarse un automático en cabeza, un interruptor o un inversor, salvo si están condenados en la posición de abiertos. Sea cual sea el régimen de neutro de la instalación fija, es necesario interconectar las masas (TT, IT), el punto neutro del grupo y las masas del

grupo (TN) a las masas de la instalación existente. Si no se cumplen las condiciones de protección (I_{cc} mín.), se utilizarán dispositivos diferenciales. El toroide se situará en todos los conductores activos (fase + neutro), o en el conductor de conexión del punto neutro del alternador a la tierra de la instalación (TT o TN-S). Esta solución no es aplicable en TN-C.

4 Grupos fijos para instalaciones fijas

Si el grupo constituye una fuente de sustitución, deberá utilizar el mismo régimen de neutro que la fuente normal. Se comprobarán las condiciones de protección contra contactos indirectos y de activación para los cortocircuitos mínimos (véanse los capítulos II.A.3, II.A.4, II.A.5), así como para los presuntos cortocircuitos en régimen TN o IT.



Si el grupo constituye una fuente de alimentación de seguridad, el esquema utilizado deberá ser el IT.



¡Atención! En los regímenes TN o IT, la protección contra contactos indirectos puede no estar garantizada (valor de I_{cc} demasiado bajo).

En las instalaciones destinadas a ser realimentadas por un grupo móvil, se colocará una indicación cerca del punto de conexión, con la leyenda: «Potencia mínima del grupo a instalar: x kVA».



La instalación y aplicación de los grupos están regidas por una precisa reglamentación relativa a los locales, evacuación e índices de contaminación de los gases de escape, así como al ruido admisible. Conviene consultarla con ayuda de los constructores y organismos competentes.

Elección del régimen de neutro

La elección de un régimen de neutro implica obligaciones y objetivos a menudo contradictorios. Cualquiera sea el caso, el esquema elegido deberá cumplir con el total de condiciones dadas en la seguridad de las personas, los bienes y la adecuada compatibilidad electromagnética.

1 CUADRO PRACTICO RECAPITULATIVO

Régimen TT			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
Detección de una corriente de falla con paso por tierra y corte de la alimentación mediante dispositivo de corriente diferencial.	<ul style="list-style-type: none"> - Sencillez (pocos cálculos para la instalación) - Ampliación sin cálculo de longitudes - Corrientes de falla débiles (seguridad contra incendio) - Escaso mantenimiento (salvo pruebas periódicas de los diferenciales) - Seguridad de las personas en caso de alimentación de aparatos portátiles o de conexión a tierra deficiente (con diferenciales de 30 mA) - Funcionamiento con fuente de Icc presuntamente reducida (grupo electrógeno) 	<ul style="list-style-type: none"> - No existe selectividad en caso de automático único en cabeza de la instalación - Necesidad de diferenciales en cada salida para poder obtener la selectividad horizontal (costo) - Riesgo de activaciones repentinas (sobretensiones) - Interconexiones de las masas a una sola toma de tierra (instalaciones extensas), o necesidad de diferencial por grupo de masas - Nivel de seguridad dependiente del valor de las tomas de tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debe preverse un pararrayos si la distribución va a ser aérea - Posibilidad de conectar la toma de tierra de la alimentación y la de las masas si hay un transformador AT/BT privado (comprobar poder de corte de los diferenciales) - Necesidad de gestionar equipos con corrientes de fuga elevadas (separación, islotes) - Importancia de la instalación y de la duración de las tomas de tierra (seguridad de las personas) - Prever comprobaciones periódicas de los valores de las tierras y de los umbrales de activación de los diferenciales.

Régimen TN

Principio general	Ventajas	Incon venientes	Comentarios
<p>La corriente de falla se transforma en corriente de cortocircuito interrumpida por los dispositivos de protección contra sobreintensidades.</p> <p>Las masas se mantienen al potencial de tierra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Costo reducido (las protecciones se utilizan para las corrientes de falla y las sobreintensidades) - La toma de tierra no influye en la seguridad de las personas - Baja susceptibilidad a las perturbaciones (buena equipotencialidad, neutro conectado a tierra) - Poco sensible a corrientes de fuga elevadas (aparatos de calefacción, de vapor, informáticos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrientes de falla elevadas (generación de perturbaciones y riesgos de incendio, especialmente en TN-C) - Necesidad de cálculos de línea precisos - Riesgos en caso de ampliaciones, renovaciones o utilizaciones no controladas (personal competente). 	<ul style="list-style-type: none"> - La comprobación de las condiciones de protección debe efectuarse: <ul style="list-style-type: none"> - en el diseño (cálculo) - a la puesta en marcha - periódicamente - en caso de modificación de la instalación - La comprobación práctica requiere un material de ensayo específico (medición de la lcc en extremo de línea) - El uso de diferenciales permite limitar las corrientes de falla (comprobar el poder de corte) y disminuir los riesgos no previstos por los cálculos (rotura de conductores de protección, longitudes de línea con cargas móviles...).

Régimen IT

Principio general	Ventajas	Incon venientes	Comentarios
<p>La limitación de la corriente de 1^{era} falla a un valor muy bajo, disminuye el incremento de potencial de las masas. Por lo tanto, no hay necesidad de corte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Continuidad del servicio (sin cortes en la 1^{era} falla) - Corrientes de 1^{era} falla muy bajas (protección contra incendio) - Corriente de falla poco perturbadora - Funcionamiento con fuentes de lcc presuntamente reducida (grupo electrógeno) - Alimentación de receptores sensibles a corrientes de falla (motores). 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de la instalación (neutro protegido, CPA, protección sobretensiones) - Costo de explotación (personal competente, localización de fallas) - Sensibilidad a las perturbaciones (mala equipotencialidad con tierra) Riesgos en la 2^o falla: <ul style="list-style-type: none"> - Sobreintensidades de cortocircuito - perturbaciones (incremento del potencial de tierra) - aparición de una tensión compuesta (si el neutro está distribuido) 	<ul style="list-style-type: none"> - La señalización del 1er falla es obligatoria y debe buscarse inmediatamente - Teniendo en cuenta sus riesgos, debe evitarse la situación de 2^o falla - Protección con pararrayos indispensable (riesgo de incremento del potencial de tierra) - Es aconsejable limitar la extensión de las instalaciones IT a lo estrictamente necesario.

Los siguientes cuadros de elección proporcionan reglas generales, que pueden no ser aplicables en ciertos casos.

Naturaleza y características de la instalación	Régimen de neutro aconsejado
- Red de distribución pública	TT
- Red extensa con tomas de tierra mediocres - Alimentación con transformadores de baja lcc - Grupo electrógeno (instalación temporal) - Red por líneas aéreas	TT
- Red perturbada (zona con rayos) - Red con corrientes de fuga importantes	TN
- Grupo electrógeno (alimentación temporal)	TN-S
- Grupo electrógeno (alimentación de seguridad)	IT

Naturaleza de los receptores y condiciones de utilización	Régimen de neutro aconsejado
- Numerosos aparatos móviles o portátiles - Instalaciones con frecuentes modificaciones - Instalaciones de faena - Instalaciones antiguas - Locales con riesgo de incendio	TT
- Equipos electrónicos informáticos - Equipos con auxiliares (máquinas-herramienta) - Equipos de mantenimiento (puentes-grúa, grúas...) - Aparatos con débil aislamiento (aparatos de cocción, de vapor...)	TN-S
- Locales con riesgo de incendio - Instalaciones de control de mando con numerosos sensores - Instalaciones con requisitos de continuidad (médicas, bombas, ventilación...) - Aparatos sensibles a las corrientes de fuga (riesgo de destrucción de bobinados)	IT

2 REGIMEN DE NEUTRO Y CEM (COMPATIBILIDAD ELECTRO-MAGNÉTICA)



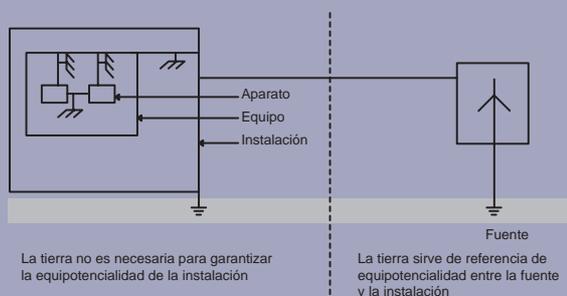
La elección del «régimen de neutro» influye directamente en la «compatibilidad electro-magnética» de la instalación:

- las consecuencias de una descarga de rayo dependen en parte de la situación de la alimentación con respecto a tierra, definida por la 1ª letra (I o T).
- la transmisión de las perturbaciones conducidas o emitidas de alta frecuencia depende de la conexión de las masas de la instalación y de su equipotencialidad, lo que se define con la segunda letra (T o N).

Descarga de rayo ←-----→ Potencial de referencia – conexión a tierra
 Perturbaciones conducidas ←-----→ Red de masas

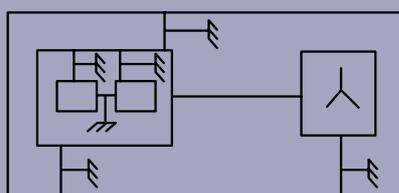
Las distancias de transporte de la energía requieren una referencia de potencial común, que pueda ser accesible desde la fuente hasta la utilización y dar salida a perturbaciones tales como el rayo. ¡Únicamente la tierra está disponible!

Instalación y alimentación separadas (red de distribución pública)



Localmente, no se necesita la tierra para la equipotencialidad de una instalación. Es la red de masa la que garantiza dicha equipotencialidad. Así pues, cuando la fuente de energía está cerca o es autónoma (baterías, paneles solares, grupo electrógeno,...), la conexión alimentación/instalación por tierra no es necesaria. La protección solo puede realizarse mediante «conexiones equipotenciales locales» no conectadas a tierra. En caso de caída del rayo, principal riesgo, toda el potencial de la instalación aumenta por igual y, por lo tanto, sin daños. Las estaciones meteorológicas en altitud, los emisores aislados, utilizan este principio.

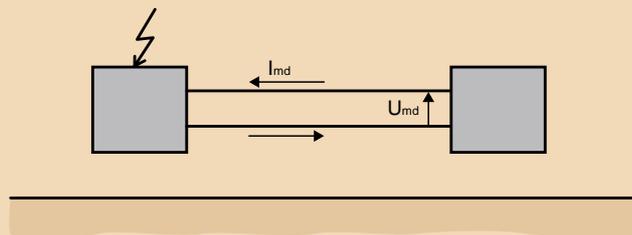
Instalación autónoma





Modo diferencial, modo común

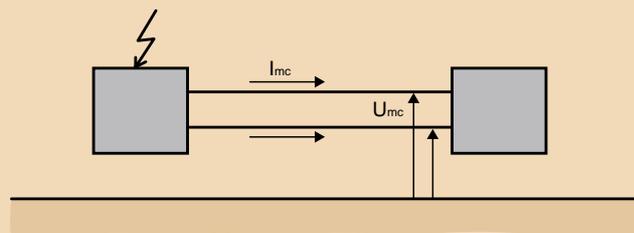
En modo diferencial, la perturbación que va a acoplarse a la línea generará una corriente I_{md} y, por lo tanto, una tensión U_{md} entre los conductores de ida y vuelta de la línea. Esta tensión puede ser suficiente para modificar el nivel de la señal transmitida normalmente y provocar un error de control (línea de transmisión), o una destrucción del equipo en el caso de una perturbación energética como el rayo (línea de energía).



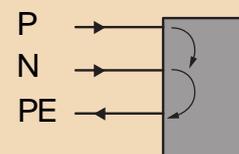
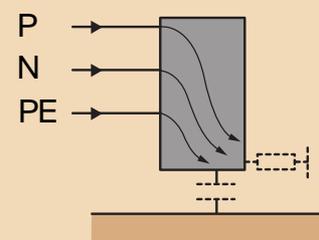
En modo común, el aumento de potencial U_{mc} es el mismo en los dos conductores de la línea y se hace con relación a una referencia externa, generalmente la tierra. La corriente de modo común I_{mc} tiene el mismo sentido en los dos conductores.

Por regla general, las perturbaciones de modo diferencial son las más molestas ya que exigen características funcionales propias de los productos (niveles de medida, umbrales de activación, alimentación de energía...).

Por su parte, y aunque puedan ser de un nivel superior, las perturbaciones de modo común exigen fundamentalmente los aislantes de los productos que, por motivos de seguridad, están ampliamente dimensionados. Para limitar los efectos y facilitar el filtrado, siempre interesa transformar las perturbaciones de modo diferencial en perturbaciones de modo común. El trenzado, por ejemplo, es un medio muy sencillo y universalmente utilizado para los cables de datos.



El "verdadero modo común" se caracteriza por la circulación de la perturbación en todos los conductores. Su retorno sucede por los distintos acoplamientos capacitivos o galvánicos con otros aparatos, por ejemplo la sobretensión de rayos en la cabeza de la instalación es de "verdadero modo común". Esta no se detiene por un transformador.



Ventajas e inconvenientes de los regímenes de neutro en relación con la CEM

• Esquema TT

- +** - El potencial del neutro es fijo
 - Las corrientes de falla son débiles
- - Las tomas de tierra «fuente» y «utilización» están separadas y no son perfectamente equipotenciales, en tanto en cuanto la impedancia de la toma de tierra «utilización» puede ser elevada.
 - El conductor PE no es una referencia de potencial fiable, lo que implica la necesidad de conexiones equipotenciales complementarias.
 - Asimetría en caso de caída de rayo que provoque sobretensiones de modo diferencial.

• Esquema IT

- +** - Las corrientes de falla son débiles.
 - Buena protección contra el rayo conducido (sobretensiones de modo común), pero riesgo de arco sobre la impedancia de neutro, lo que hace necesario un protector de sobretensiones.
- - Potencial de tierra de la «utilización» no fijado con relación a la fuente y, consecuentemente, tampoco el de las masas.
 - Incremento del potencial de tierra (impacto directo del rayo) o tras la 1^{era} falla: pérdida de referencia para los aparatos electrónicos.
 - Circulación de corrientes permanentes por acoplamiento capacitivo entre conductores activos y tierra.

• Esquema TN-S

- +** - Una sola referencia de potencial «fuente» y «utilización». La tierra no se utiliza como conductor. Buena equipotencialidad de masas.
 - Baja impedancia del circuito de protección debido a la necesidad de conducir corrientes de falla importantes.
- - Normas de instalación y materiales específicos (5 cables).
 - Posible envío de perturbaciones al neutro si la equipotencialidad no está bien asegurada entre el neutro y el conductor PE, o si sus recorridos son diferentes (de ahí la necesidad de conexiones regulares).
 - Corrientes de falla elevadas.
 - Asimetría en caso de caída de rayo que provoque sobretensiones de modo diferencial.

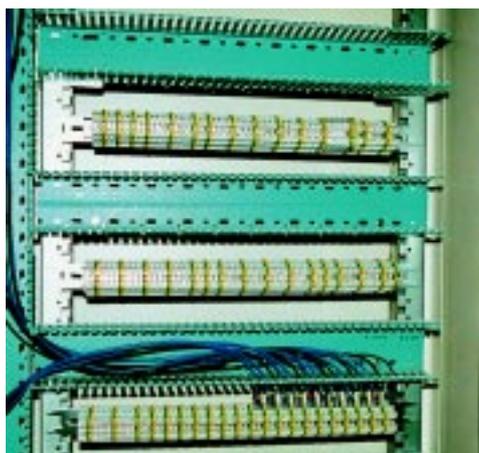
NOTA: el esquema TN-C no es recomendable a causa de la circulación de fuertes corrientes de falla por el conductor PEN.

Comúnmente se admite que el régimen TN-S representa el mejor compromiso en materia de CEM. Las limitaciones de este esquema pueden paliarse fácilmente utilizando como complemento pararrayos que combinen modos común y diferencial.

La utilización en cada circuito de salida de automáticos diferenciales compatibles con las corrientes de fuga, limita las corrientes en caso de falla.

La estructura de la red de protección

Los conductores de protección constituyen siempre "los hilos conductores" de esta red, pero su complejidad va aumentando con las necesidades de las tecnologías de la información, de las protecciones pararrayos, de las redes locales... con el riesgo de mezclar un poco los vocabularios. Un pequeño recordatorio léxico quizá no es inútil ...



Cajas XL:
la interconexión de las masas por concepción facilita en gran medida la conexión de los conductores de protección de los circuitos de utilización

Conductores de conexión equipotencial conectados a una barra colectora o "terminal principal de los conductores de protección"



Símbolos



Tierra, símbolo general.



**Conductor de protección doble coloración verde/amarillo
Conexión a la tierra para un papel de protección contra los choques eléctricos.**



Papel funcional de la tierra que no incluye necesariamente la protección contra los choques eléctricos.



Masa, conexión eléctrica de los marcos, punto de referencia de tensión.



Conexión equipotencial.

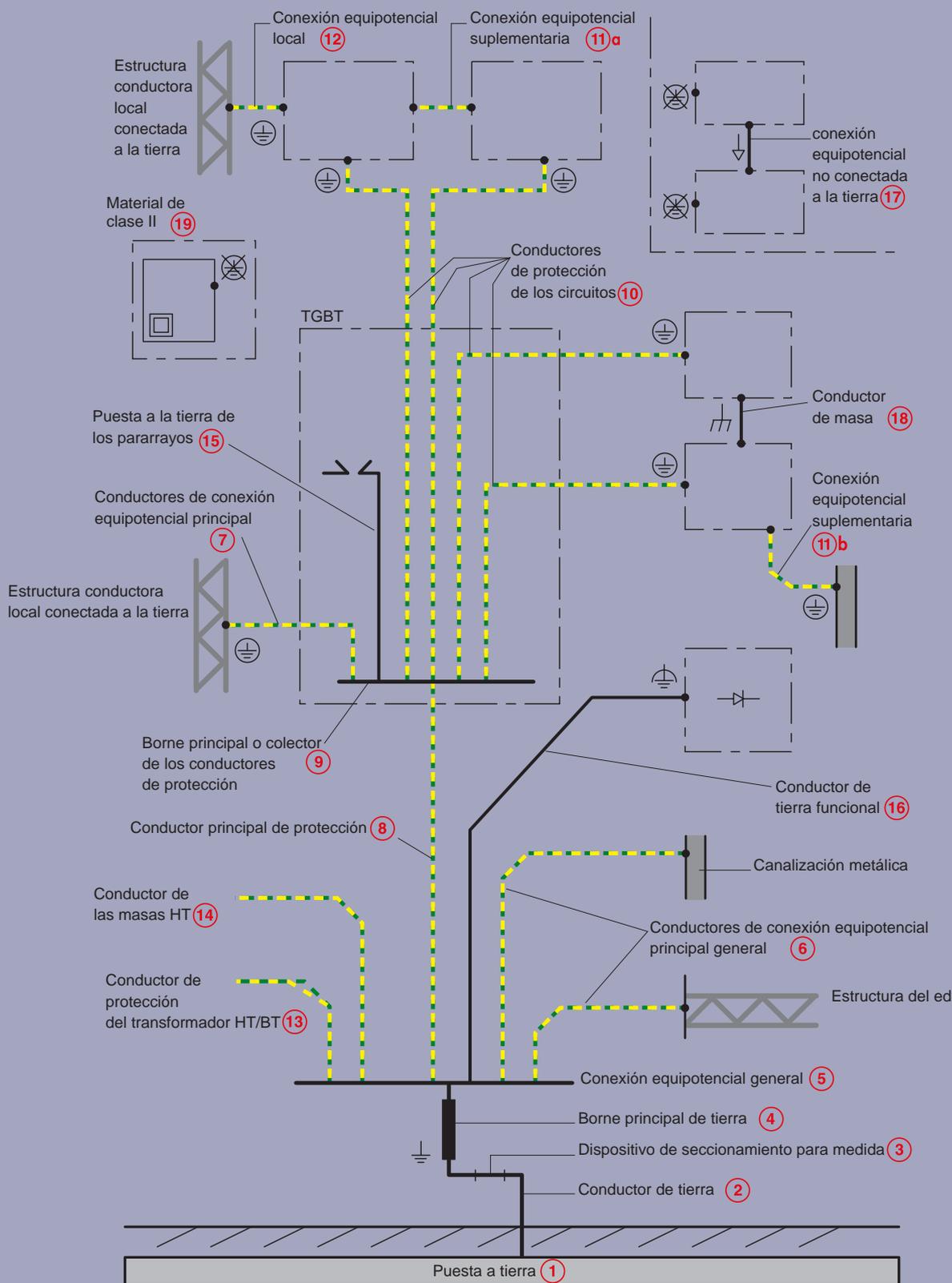


Masa no conectada a un conductor de protección. Si una conexión funcional es necesaria (conexión de las masas por ejemplo), utilizar el símbolo.



Aparato a doble aislamiento obtenido por construcción, o juntos a doble aislamiento (dicho a aislamiento total), obtenido por instalación.

Esquema de red de protección (véase definiciones páginas siguientes)



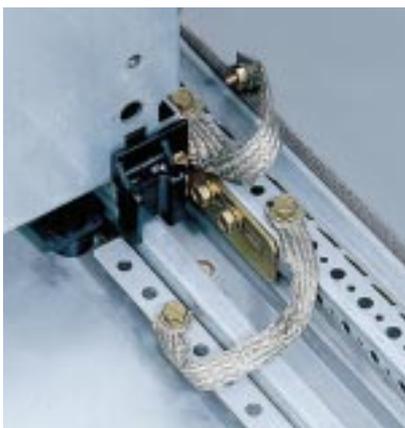
Definiciones	
1 Toma a tierra.	Conjunto de los elementos conductores en contacto con el suelo. La toma de tierra se establece en función de las condiciones locales (naturaleza del suelo) y el valor deseado de resistencia.
2 Conductor de tierra.	Conductor aislado que garantiza la conexión con la toma a tierra, generalmente no aislado, con una sección mínima de 25 mm ² revestido en cobre y 50 mm ² en acero galvanizado.
3 Dispositivo de seccionamiento.	Insertado en el conductor de tierra, la apertura de este dispositivo permite la medida de la toma a tierra.
4 Terminal principal de tierra.	Conexión eléctrica entre el circuito de tierra y la conexión equipotencial general. Puede formar parte integral de este último o del dispositivo de seccionamiento.
5 Conexión equipotencial general	Situada en el origen de la instalación y/o en el punto de penetración de cada edificio, conecta el conjunto de los conductores de tierra, la conexión equipotencial principal y los distintos conductores de protección.
6 Conductor de conexión equipotencial principal general	Conecta los elementos metálicos de la construcción, las canalizaciones, las estructuras, a la conexión equipotencial general. La sección debe ser igual a la del conductor principal de protección con un mínimo de 6 mm ² (10 mm ² en aluminio) y un máximo de 25 mm ² (35 mm ² en aluminio).
7 Conductores de conexión equipotencial principal	Conectan los elementos conductores cerca del Tablero General Baja Tensión al borne de los conductores de protección. La sección debe ser igual a la del conductor de protección con un mínimo de 6 mm ² (10 mm ² en aluminio) y un máximo de 25 mm ² (35 mm ² en aluminio).
8 Conductor principal de protección	Conductor que conecta el borne principal de tierra al borne principal de los conductores de protección. Su sección se determina según las normas indicadas en este capítulo (elección o cálculo).
9 Terminal principal o colector de los conductores de protección	Se sitúa en el Tablero General Baja Tensión. Su elección o su determinación se efectúan según las normas indicadas en este capítulo.
10 Conductor de protección de los circuitos	Se determinan en función de la intensidad de cada circuito de utilización según las normas indicadas en este capítulo (elección o cálculo).
11 Conexiones equipotenciales suplementarias	Permiten garantizar la continuidad de los circuitos de protección a) entre masas: la sección está a lo menos igual a la del más pequeño conductor de protección de las dos masas que deben conectarse. b) entre masas y partes conductoras: la sección es al menos igual a la mitad de la sección del conductor de protección de la masa que debe conectarse. Nota: En los dos casos, un mínimo de 2,5 mm ² es necesario si la conexión se protege mecánicamente y de 4 mm ² si no se protege (hilo flexible). Estas normas son aplicables a los paneles inamovibles y a las puertas de los armarios XL y XL-A cuando ningún aparato se fija allí. Si se fijan algunos aparatos o si existen riesgos particulares de contactos indirectos sobre estas masas (atravesar comandos, ausencia de plastrón...), la oferta Legrand de trenzas flexibles permite responder a todos los casos de instalación.
12 Conexión equipotencial local	Si en régimen de neutro TN o IT, la longitud de los circuitos aguas arriba de los circuitos terminales no se conoce o es demasiado importante, se realiza una conexión equipotencial local en cada tablero que abastece los circuitos terminales. Su sección debe ser a lo menos igual a la mitad de la sección del conductor de protección que abastece el tablero, con un mínimo de 6 mm ² (10 mm ² en aluminio), y un máximo de 25 mm ² (35 mm ² en aluminio).
13 Conductor de protección del transformador AT/BT	La sección se determina en función de la naturaleza del conductor, de la potencia del transformador y del tiempo de reacción de la protección AT. En la práctica, su sección es idéntica a la del conductor principal de protección.
14 Conductor de masas de Alta Tensión	Si la instalación es abastecida por un puesto de entrega, la sección utilizada es igual a 25 mm ² (35 mm ² en aluminio). En casos de diferente alimentación, la sección debe calcularse.
15 Puesta a tierra de los pararrayos	Está destinada a pasar las corrientes de defecto causadas por la eliminación de las sobre tensiones. Estos conductores deben ser lo más cortos posibles y reservados para este uso. La sección mínima se elige según las indicaciones de los fabricantes: 4 a 16 mm ² en general

Definiciones (sigue)

16 Conductor de tierra sin función de seguridad	Garantiza, por razones funcionales o de nivel de perturbaciones, la conexión con la tierra. Utilice los dos colores verde/amarillo sólo si el conductor garantiza también la función de protección. Los términos "tierra sin ruido" o "tierra propia" no deben usarse.
17 Conductor de masa	Conductor para uso funcional solamente: referencia de potencial (masas electrónicas), su sección se elige entonces en función de la intensidad real. Compatibilidad electromagnética: elegirá a los conductores lo más cortos y más amplios posibles para disminuir su impedancia en alta frecuencia.
18 Conexión equipotencial no conectada a tierra	Conexión específica a algunas aplicaciones restringidas medios aislados (plataforma de pruebas...). Se conectan todas las masas y elementos simultáneamente accesibles. Las secciones se toman idénticas a las de las conexiones equipotenciales suplementarias.
19 Material de clase II	Las masas de este material no deben conectarse a un conductor de protección.



Conexión de los conductores de protección por bornes Viking verde/ amarillo: el riel se utiliza como colector (véase página 134)



Conductores de masa constituidos por trenzas Ref. 34797 (30 mm²)



Para una verdadera "cultura de masas": reanudación de blindaje por collarines fijados con "Fixomega" Ref. 36469, (a pedido) perfecta identificación de los circuitos sobre bornes Viking.