

Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 7
Cuadros de baja tensión
resistentes a los arcos internos

Cuadros de baja tensión resistentes a los arcos internos

Índice

1 Generalidades sobre los cuadros eléctricos de baja tensión

1.1	Introducción	2
1.2	Normas relativas a los cuadros y aplicabilidad.....	3
1.3	Características eléctricas nominales de un cuadro.....	4
1.4	Clasificación de los cuadros eléctricos ..	4
1.4.1	Tipologías constructivas	4
1.4.2	Cuadros eléctricos de distribución de potencia "Cuadro General de Baja Tensión (CGBT)"	4
1.4.3	Cuadros secundarios de distribución	5
1.4.4	Centros de control de motores (Motor Control Center MCC).....	5
1.4.5	Cuadros de mando, medida, protección	6
1.4.6	Cuadros para obras	6
1.5	Grado de protección IP	7
1.5.1	Grado de protección en los cuadros.....	8
1.6	Grado de protección IK	9
1.7	Formas de segregación	10
1.8	La sobretemperatura en el interior de los cuadros	11
1.9	Cuadros de ejecución especial	12
1.9.1	Prueba de arco debido a defecto interno	12
1.9.2	Prueba de calificación sísmica.....	12
1.9.3	Prueba de resistencia a impactos.....	12

2 El arco eléctrico

2.1	El fenómeno del arco eléctrico	13
2.2	Efectos del arco eléctrico en el interior de un cuadro.....	13
2.3	Efectos del arco eléctrico en las personas.....	14

3 Cuadros a prueba de arco interno

3.1	Generalidades.....	15
3.2	Características del cuadro resistente a los arcos internos	16
3.2.1	Cuadros mecánicamente resistentes a los arcos internos	16
3.2.2	Cuadros con dispositivos que limitan los efectos del arco interno.....	16
3.2.3	Cuadros con interruptores limitadores.....	18

4 El cuadro resistente a los arcos internos de ABB

4.1	Características constructivas y funcionales del cuadro PC3.0/MNS R	19
4.2	Ejecuciones del cuadro PC3.0/MNS R	25

Apéndice A:

prueba de arco interno en un cuadro.....	28
--	----

1 Generalidades sobre los cuadros eléctricos de baja tensión

1.1 Introducción

En los últimos años, la seguridad en las instalaciones eléctricas de baja tensión ha ido cobrando una creciente importancia.

Este aspecto también se ha visto completado desde el punto de vista normativo y son numerosos los usuarios que anteponen la seguridad a cualquier otro requisito en su instalación eléctrica.

Los cuadros eléctricos de baja tensión son, sin lugar a dudas, los elementos de la instalación eléctrica que están más sujetos a la intervención directa del personal (maniobras, mantenimiento, etc.) y debido a ello los usuarios demandan requisitos de seguridad cada vez más elevados.

En los últimos años, muchos usuarios han hecho hincapié en la seguridad de los cuadros eléctricos con miras a uno de los fenómenos electrofísicos más intensos y destructivos: **el arco eléctrico**.

A diferencia de lo que sucede en los dispositivos de interrupción, en los que el fenómeno de arco entra dentro de las condiciones normales de funcionamiento, en los cuadros de baja tensión el arco eléctrico es una anomalía grave y que se da con rara frecuencia.

Sin embargo, cuando el arco eléctrico se produce en el interior de un cuadro de baja tensión, da lugar a sobrepre-

siones internas y sobrecalentamientos locales que pueden provocar sollicitaciones mecánicas y térmicas de carácter notable en sus componentes.

Además, los materiales afectados pueden generar productos de descomposición calientes, gases o vapores que, a causa de la sobrepresión, casi siempre son expulsados al exterior de la envolvente poniendo en gran riesgo la seguridad del operador.

La directiva de la Comunidad Europea 2006/95/CE establece los requisitos de seguridad básicos con los que debe contar el material eléctrico de baja tensión (entre 50 y 1000 V con corriente alterna; entre 75 y 1500 V con corriente continua) para poder ser comercializado en la Unión Europea.

Entre estos requisitos básicos de seguridad descritos en dicha directiva se encuentra la necesidad de prever medidas de carácter técnico con objeto de que "no puedan producirse sobretensiones, arcos eléctricos o radiaciones que puedan causar peligro".

Este aspecto, que desde siempre ha sido tomado muy en cuenta en los equipos, se había erradamente pasado por alto en los cuadros eléctricos y no ha adquirido relevancia hasta los últimos 10 o 15 años, tanto en el ámbito nacional como internacional.



1.2 Normas relativas a los cuadros y aplicabilidad

Los cuadros eléctricos de baja tensión son denominados en la norma IEC EN 60439-1 "aparatos ensamblados de protección y maniobra" (Assembly).

La norma da la siguiente definición: "combinación de uno o más aparatos de protección y maniobra, con los eventuales dispositivos de mando, medida, protección, regulación, etc., completamente montados bajo la responsabilidad del constructor, con todas las interconexiones eléctricas y mecánicas internas, incluidos los elementos estructurales de soporte".

La conformidad de un cuadro con los requisitos y por tanto, presuntamente, con la norma técnica, no puede basarse sólo en el hecho de que los componentes que lo constituyen sean conformes con los requisitos y por tanto, al menos presuntamente, con las respectivas normas técnicas. Esta es una condición necesaria pero no suficiente.

Algunos de los componentes se ensamblan siguiendo determinadas reglas que garantizan la resistencia al cortocircuito, el respeto de los límites de temperatura, la estanqueidad del aislamiento, etc.

En otras palabras, el cuadro en su totalidad debe estar protegido, construido y haber sido probado respetando todos los requisitos.

Siempre que se trate de equipos de baja tensión, la tensión asignada no debe superar los 1000 V CA o los 1500 V CC. En lo que se refiere a la corriente, en el ámbito de aplicación de dicha norma no se establece ninguna limitación, ni superior ni inferior.

La norma IEC EN 60439-1 estipula los requisitos relativos a la construcción, seguridad y mantenimiento de los cuadros eléctricos, pero no trata los aspectos funcionales del cuadro, que son competencia del proyectista de la instalación eléctrica afectada.

CUADROS AS Y ANS

La norma IEC EN 60439-1 distingue entre dos categorías de cuadros:

- AS (Aparatos construidos de Serie) o TTA (Type-Tested Assembly) o CS (Conjunto de aparata de baja tensión de serie)
- ANS (Aparatos construidos No de Serie) o PTTA (Partially Type-Tested Assembly) o CDS (Conjunto de aparata de baja tensión derivado de serie)

El término Aparato construido en Serie (AS) hace referencia a un equipo "que ha seguido un tipo o un sistema constructivo preestablecido sin alteraciones que modifiquen de forma determinante las prestaciones respecto al equipo tipo probado según lo establecido en la presente norma".

Para que un cuadro sea AS, debe cumplirse al menos una de las tres condiciones siguientes:

1. Se construye un único ejemplar del cuadro, que es sometido a todas las pruebas de tipo exigidas por la norma.
2. El cuadro es similar a otro cuadro sometido a todas las pruebas de tipo, es decir: difiere del que ha sido probado en pequeños detalles que no influyen en el éxito de las pruebas ni, por tanto, en sus prestaciones, o en las características nominales.
3. El ejemplar forma parte de un sistema constructivo preestablecido, sometido a las pruebas de tipo en alguna de las múltiples configuraciones, elegidas entre las más significativas que puedan obtenerse combinando los elementos del sistema. Es el caso típico de los cuadros comercializados en forma de componentes sueltos.

El término "Aparato construido No de Serie" (ANS) hace referencia a un equipo "que contiene bien dispositivos verificados con pruebas de tipo o bien dispositivos no verificados con pruebas de tipo, siempre que estos últimos deriven de sistemas verificados que hayan superado las pruebas previstas".

Un cuadro es ANS si es sometido sólo a una parte de las pruebas de tipo, siendo las otras pruebas sustituidas por extrapolaciones (cálculos) basadas en los resultados experimentales obtenidos en los cuadros que ya han superado las pruebas de tipo.

La distinción entre cuadros AS y ANS no tiene ningún peso en la declaración de conformidad con la norma IEC EN 60439-1, ya que el cuadro simplemente debe ser conforme a la misma independientemente de que haya sido sometido, total (AS) o parcialmente (ANS), a las pruebas de tipo.

1.3 Características eléctricas nominales de un cuadro

La norma IEC EN 60439-1 describe las características nominales que deben asignarse a cada cuadro, define las condiciones ambientales de servicio, establece los requisitos mecánicos y da prescripciones respecto a:

- aislamiento
- comportamiento térmico
- resistencia al cortocircuito
- protección contra descargas eléctricas
- grado de protección de la envolvente
- componentes instalados, subdivisiones y conexiones en el interior del cuadro
- alimentación de equipos electrónicos

La información citada en los puntos a) y b) siguientes debe, según la norma, indicarse en la placa de características. La información especificada en los puntos de c) a t) debe indicarse, siempre que sea posible, en las placas de características o en la documentación técnica del fabricante:

- a) nombre o marca comercial del fabricante¹;
- b) la indicación de tipo o un número de identificación o similar que permita obtener toda la información indispensable referente al fabricante;
- c) IEC 60439-1;
- d) el tipo de corriente (y la frecuencia en caso de corriente alterna);
- e) las tensiones asignadas de servicio;
- f) las tensiones asignadas de aislamiento (la tensión asignada soportada a impulso cuando haya sido especificada por el fabricante);
- g) las tensiones asignadas de los circuitos auxiliares (en su caso);
- h) los límites de funcionamiento;
- j) la corriente asignada de cada circuito, en su caso;
- k) la resistencia al cortocircuito;
- l) el grado de protección;
- m) las medidas de protección de las personas;
- n) las condiciones de servicio para instalaciones en interior, para instalaciones en exterior y para usos especiales, siempre que difieran de las condiciones normales de servicio. El grado de contaminación, cuando haya sido indicado por el fabricante;
- o) los tipos de puesta a tierra de los sistemas (régimen de neutro) a los que el equipo está destinado;
- p) las dimensiones, dadas preferiblemente en el siguiente orden: altura, anchura (o largo), profundidad;
- q) el peso;
- r) la forma de segregación interna;
- s) los tipos de conexiones eléctricas de las unidades funcionales;
- t) entorno 1 ó 2.

¹ Se considera fabricante aquella organización que asume la responsabilidad del EQUIPO terminado.

1.4 Clasificación de los cuadros eléctricos

1.4.1 Tipologías constructivas

A menudo, los cuadros adoptan la forma de armarios, generalmente apoyados en el suelo, y pueden estar divididos en compartimentos y celdas. El compartimento es una unidad constructiva comprendida entre dos planos de delimitación verticales sucesivos, mientras que la celda es una parte del compartimento completamente aislada, exceptuando las aberturas necesarias para la interconexión, el mando y la ventilación (Figura 1).

Figura 1: Cuadro cerrado, constituido por tres compartimentos, cada uno de los cuales se encuentra a su vez subdividido en más celdas



1.4.2 Cuadros eléctricos de distribución de potencia "Cuadro General de Baja Tensión (C.G.B.T.)"

Por lo general, están instalados aguas abajo de los transformadores MT/BT o de los generadores. Dichos cuadros comprenden una o más unidades de entrada, posibles acoplamientos entre barras y un número relativamente reducido de unidades de salida.

También presentan instrumentos de medición y otros dispositivos de mando y control (Figura 2).

Figura 2: Vista de conjunto de un cuadro de distribución primaria



Estos cuadros tienen una estructura mecánicamente robusta capaz de soportar las solicitaciones electrodinámicas y el peso de aparatos de gran tamaño. De hecho, los C.G.B.T. se caracterizan particularmente por los elevados valores de las intensidades nominales y de cortocircuito.

Es un armario de tipo constructivo con envolvente metálica y compartimentos divididos en más celdas de acceso selectivo.

1.4.3 Cuadros secundarios de distribución

Estos cuadros están dotados generalmente de una unidad de entrada y de numerosas unidades de salida (Figura 3). Los componentes alojados en el cuadro son principalmente interruptores automáticos en caja moldeada y/o modulares.

Figura 3: Cuadros de distribución secundaria



Las corrientes nominales y de cortocircuito de los cuadros de distribución secundarios son menores que las de los C.G.B.T.

Los modelos constructivos prevén el empleo de envolventes metálicas o bien de material aislante y pueden ser fijados en el suelo o en la pared en función de las dimensiones y del peso. En caso de que los cuadros sean utilizados por personal no instruido, se aplicará la norma IEC EN 60439-3. Los cuadros de distribución (ASD) son objeto de las prescripciones suplementarias de la norma IEC EN 60439-3 (IEC 17-13/3).

Cuando dichos cuadros no estén instalados en lugares donde personal no instruido tenga acceso a su uso, se aplicarán las reglas generales de la norma IEC EN 60439-1.

La norma IEC EN 60439-3 hace referencia sólo a los cuadros de tipo AS. Esto significa que cada ejemplar producido debe haber seguido un prototipo o un sistema constructivo preestablecido, o bien no debe presentar alteraciones que modifiquen de forma determinante las prestaciones respecto al equipo tipo probado.

1.4.4 Centros de control de motores (Motor Control Center MCC)

Los centros de control de motores están destinados a la maniobra y a la protección centralizada de los motores: comprenden los aparatos de maniobra y de protección correspondientes (unidades funcionales autónomas), así como los aparatos auxiliares de mando y señalización. Se caracterizan por contar con unidades de salida instaladas en cajones extraíbles, cada uno de los cuales depende de un motor, de manera que puede intervenir con seguridad en una sola unidad de salida sin tener que cortar la tensión a los usuarios (Figura 4).

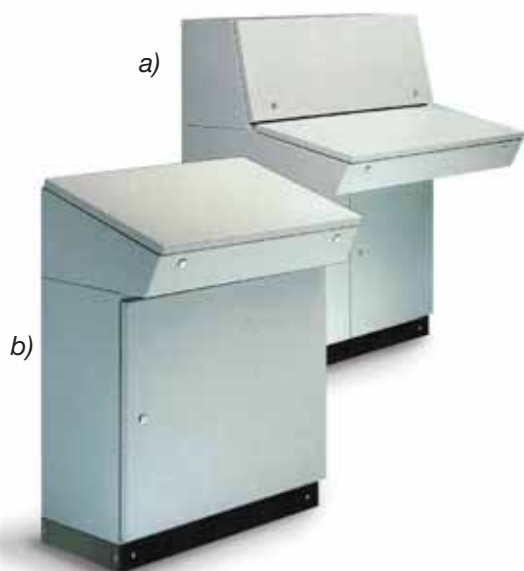
Figura 4: Vista de conjunto de un centro de control de motores (MCC)



1.4.5 Cuadros de mando, medida, protección

Por lo general, se trata de pupitres que contienen principalmente aparatos de mando, control y medida de instalaciones y procesos industriales. Son de estructura normalmente metálica, tienen forma de atril y permiten una rápida accesibilidad a los mandos y una fácil lectura de los instrumentos (Figura 5).

Figura 5: Cuadros de mando.
a) Pupitre
b) Consola



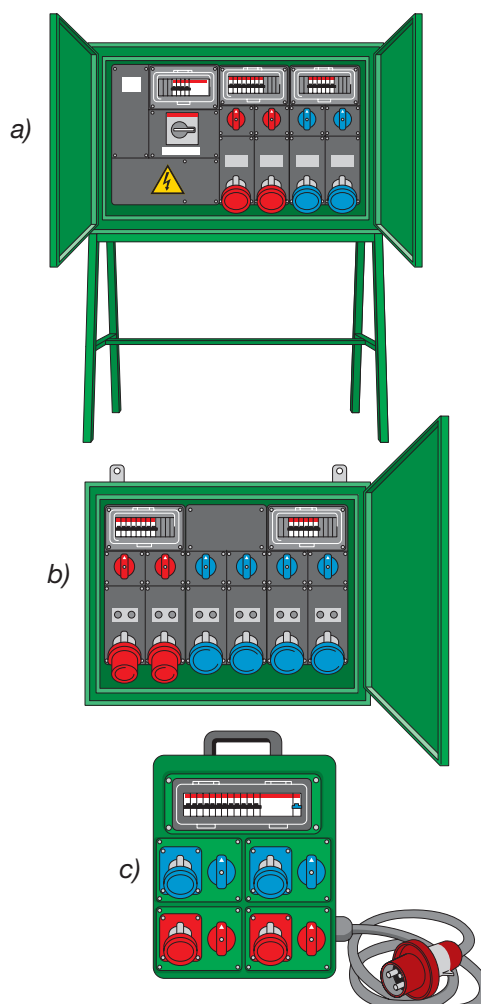
1.4.6 Cuadros para obras

Los cuadros para obras poseen diferentes dimensiones que van desde la simple unidad de tomas de corriente a verdaderos cuadros de distribución con envolvente metálica o de material aislante. Son generalmente de tipo móvil (Figura 6).

La norma IEC EN 60439-4 ofrece prescripciones especiales para este tipo de cuadros y hace una referencia específica a la resistencia a los golpes y a la corrosión. Esta norma precisa que los cuadros para obras deben seguir las prescripciones de la norma IEC EN 60439-1 y que los artículos de la norma IEC EN 60439-4 completan, modifican o sustituyen los artículos de la norma general.

Los cuadros para obras deben ser exclusivamente de tipo AS y, por tanto, cada ejemplar producido debe ser idéntico al prototipo sometido a todas las pruebas de tipo previstas por la norma IEC EN 60439-4.

Figura 6: Cuadros para obras (ASC).
a) ASC sobre caballete
b) ASC para montaje en la pared
c) ASC móvil de tomas de corriente



1.5 Grado de protección IP

El grado de protección IP de una envolvente es el nivel de protección de dicha envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la introducción de cuerpos sólidos extraños y contra la entrada de agua.

El grado de protección de una envolvente, conforme a lo establecido en la norma IEC EN 60529, se identifica por las letras IP (International Protection) seguidas de dos cifras y ocasionalmente de dos letras.

La primera cifra característica indica el grado de protección contra la introducción, en el interior de la envolvente, de cuerpos sólidos y contra el contacto de las personas con partes internas peligrosas.

La segunda cifra característica indica el grado de protección de la envolvente contra daños por la entrada de agua.

Es fácil entender que ambas cifras características influyen una sobre otra.

La letra adicional indica el grado de protección para las personas contra el acceso a partes peligrosas.

La letra adicional se utiliza sólo si la protección efectiva contra el acceso a partes peligrosas es superior a la indicada por la primera cifra característica; si se indica sólo la protección contra el acceso a partes peligrosas, la primera cifra característica es entonces sustituida por una X. Esta protección superior puede deberse, por ejemplo, a la dotación de barreras, de aperturas de forma adecuada o de distancias internas de las partes peligrosas con respecto a la envolvente.

Si las indicaciones hacen referencia exclusivamente al aspecto de la seguridad de las personas contra los contactos directos, se omiten ambas cifras características y se sustituyen por XX, indicándose el grado de protección con la letra adicional.

Obviamente, la letra adicional no es independiente de las dos cifras que pudieran precederla, sino que están estrechamente vinculadas entre sí; debido a ello, la letra adicional se indica sólo cuando se garantiza un grado de protección contra los contactos directos más elevado del garantizado por la primera cifra.

La letra suplementaria proporciona indicaciones adicionales.

La siguiente tabla ofrece un breve resumen del significado de los diferentes términos que componen el código. Para más detalles, véase la norma IEC EN 60529.

Letras características	Protección internacional
Primera cifra característica	cifra de 0 a 6, o letra X
Segunda cifra característica	cifra de 0 a 8, o letra X
Letra adicional (opcional)	Letra A, B, C, D
Letra suplementaria (opcional)	Letra H, M, S, W

	Protección del equipo	Contra el acceso a partes peligrosas con:
Primera cifra característica (entrada de cuerpos sólidos)	0 no protegido	no protegido
	1 ≥ 50 mm de diámetro	dorso de la mano
	2 $\geq 12,5$ mm de diámetro	dedo
	3 $\geq 2,5$ mm de diámetro	herramienta
	4 ≥ 1 mm de diámetro	cable
	5 protegido contra el polvo	cable
	6 totalmente protegido contra el polvo	cable
Segunda cifra característica (entrada de agua)	0 no protegido	
	1 caída vertical	
	2 caída de gotas de agua (inclinación 15°)	
	3 lluvia	
	4 salpicadura de agua	
	5 chorro de agua	
	6 chorros potentes (semejantes a olas marinas)	
	7 inmersiones temporales	
8 inmersión continua		
Letra adicional (opcional)	A	dorso de la mano
	B	dedo
	C	herramienta
	D	cable
Letra suplementaria (opcional)	H equipos de alta tensión	
	M prueba con agua en equipos en marcha	
	S prueba con agua en equipos estacionarios	
	W condiciones atmosféricas	

1.5.1 Grado de protección en los cuadros

En lo que se refiere a los cuadros, a menos que el fabricante especifique lo contrario, el grado de protección es válido para todo el cuadro, montado e instalado según su uso habitual (con puerta cerrada). Además, el fabricante puede indicar los grados de protección relativos a configuraciones particulares que puedan presentarse durante el ejercicio, como por ejemplo el grado de protección con las puertas abiertas y con dispositivos desmontados o extraídos.

Para los cuadros cerrados, la norma exige al menos el grado de protección IP2X o IPXXB para partes vivas en zonas que no son accesibles intencionadamente y el grado de protección IP4X o IPXXD en las superficies horizontales accesibles.

A modo de ejemplo, en la siguiente tabla se exponen los grados de protección mínimos con los que debe contar un cuadro para que pueda ser instalado en los medios listados conforme a lo establecido en las normas citadas.

Tipo de cuadro / tipo de medio	Norma y apartado	Grado mínimo de protección
Aparatos de protección y maniobra: cuadros cerrados	IEC EN 60439-1 apdo. 2.3.3	No definido
Cuadros para exterior	IEC EN 60439-1 apdo. 7.2.1.3	IPX3
Cuadros protegidos con aislamiento completo	IEC EN 60439-1 apdo. 7.4.3.2.2	IP2XC
Instalaciones en medios ordinarios		
Partes vivas que no son accesibles intencionadamente	IEC 64-8/4 apdo. 412.2.1	IPXXB (IP2X)
Zonas al alcance de la mano horizontales	IEC 64-8/4 apdo. 412.2.2	IPXXD (IP4X)
Instalaciones en baños con duchas y baños públicos		
Zonas 1 y 2	IEC 64-8/7 apdo. 701.512.2	IPX4
Zona 3	IEC 64-8/7 apdo. 701.512.2	IPX1
Zonas 1 -2 -3 baños públicos sujetos a limpieza con chorros de agua	IEC 64-8/7 apdo. 701.512.2	IPX5
Instalaciones en piscinas		
Zona 0	IEC 64-8/7 apdo. 702.512.2	IPX8
Zona 1	IEC 64-8/7 apdo. 702.512.2	IPX5
Zona 2 a cubierto	IEC 64-8/7 apdo. 702.512.2	IPX2
Zona 2 al descubierto	IEC 64-8/7 apdo. 702.512.2	IPX4
Zona 2 sujeta a limpieza con chorros de agua	IEC 64-8/7 apdo. 702.512.2	IPX5
Instalaciones en saunas	IEC 64-8/7 apdo. 703.512.2	IP24
Instalaciones en lugares con alto riesgo de incendio	IEC 64-8/7 apdo. 751.04.1	IP4X
Instalaciones en obras (cuadros ASC)	IEC EN 60439-4 apdo. 7.2.1.1	IP44

A continuación, se indican los grados de protección posibles con cuadros ABB ArTu

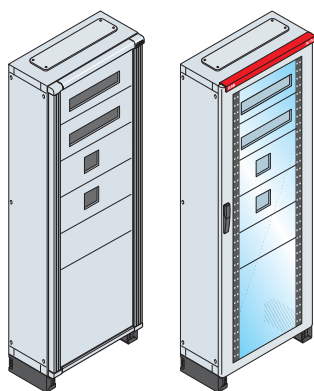
ArTu L

IP31

Sin puerta

IP43

Con puerta



ArTu M-K

IP31

Sin puerta

IP41 (sólo ArTu K)

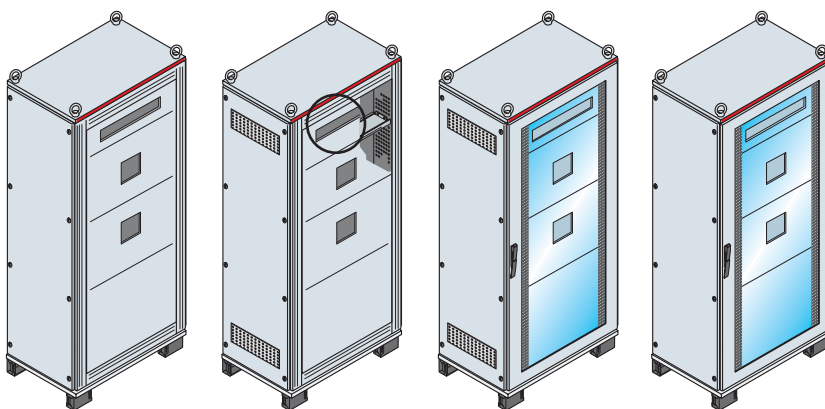
Sin puerta con kit IP41 y paneles laterales ventilados

IP41 (sólo ArTu K)

Con puerta y paneles laterales ventilados

IP65

Con puerta y paneles ciegos



La siguiente figura ilustra un ejemplo de aplicación de un cuadro ABB de la familia MNS diseñado con un grado de protección IP41.

Los cuadros de la familia MNS están diseñados para satisfacer demandas de grados de protección hasta IP54.

Figura 7: Cuadro de la serie MNS R con grado de protección IP41



Cada grupo numérico característico representa un valor de energía de impacto, tal y como se indica en la tabla

Código IK	Energía de impacto (en Joules)
IK 00	(*)
IK 01	0,14
IK 02	0,2
IK 03	0,35
IK 04	0,5
IK 05	0,7
IK 06	1
IK 07	2
IK 08	5
IK 09	10
IK 10	20

(*) No protegido según la siguiente Norma.

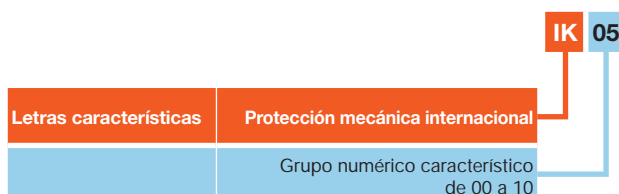
En general, el grado de protección se aplica a toda la envolvente. Si ciertas partes de la envolvente cuentan con diferentes grados de protección, éstos deben indicarse de forma separada.

A continuación se expone el grado de protección mecánica a los choques (código IK) de los cuadros de la serie ArTu.

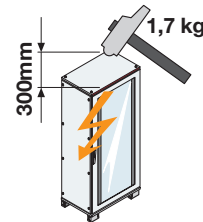
1.6 Grado de protección IK

El grado de protección IK de una envolvente es el nivel de protección proporcionado por la envolvente al equipo contra daños por impactos mecánicos, verificado mediante métodos de prueba normalizados conforme a lo establecido en la norma IEC EN 50102.

El grado de protección de la envolvente contra los choques viene expresado por el código IK de la siguiente forma:



IK 08

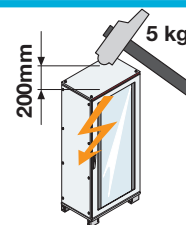


ArTu L

Energía de choque en Joules **5,00**

IK 09

Con puerta transparente

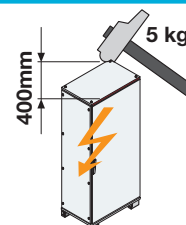


ArTu M-K

Energía de choque en Joules **10,00**

IK 10

Con puerta ciega



ArTu M-K

Energía de choque en Joules **20,00**

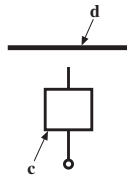
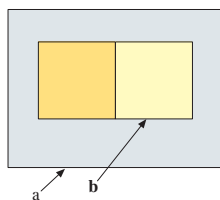
1.7 Formas de segregación

La forma de segregación es el tipo de subdivisión prevista en el interior del cuadro. La segregación mediante barreras o diafragmas (metálicos o aislantes) puede tener la finalidad de:

- garantizar la protección contra los contactos directos (al menos IPXXB), en caso de acceso a una parte del cuadro sin tensión, respecto al resto del cuadro en tensión;
- reducir la probabilidad de formación y propagación de un arco interno;
- impedir el paso de cuerpos sólidos de una parte a otra del cuadro (grado de protección mínimo IP2X).

Un diafragma es un elemento de separación entre dos celdas, mientras que la barrera protege al operador de los contactos directos y de los efectos del arco de los aparatos de interrupción en la dirección habitual de acceso. La siguiente tabla, incluida en la norma IEC EN 60439-1, revela las formas típicas de segregación que pueden obtenerse mediante el uso de barreras o diafragmas:

Símbolos

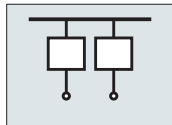


Leyenda

- a** Envoltorio
- b** Segregación interna
- c** Unidades funcionales, incluidos los terminales para los conductores externos asociados
- d** Barras, incluidas las barras de distribución

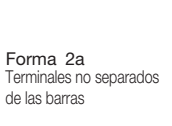
Forma 1

(sin segregación interna)



Forma 2

(segregación de las barras de las unidades funcionales)

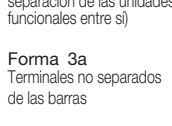


Forma 2a

Terminales no separados de las barras

Forma 3

(separación de las barras de las unidades funcionales + separación de las unidades funcionales entre sí)

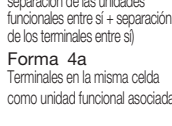


Forma 3a

Terminales no separados de las barras

Forma 4

(separación de las barras de las unidades funcionales + separación de las unidades funcionales entre sí + separación de los terminales entre sí)

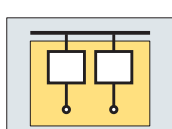


Forma 4a

Terminales en la misma celda como unidad funcional asociada

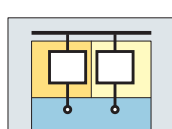
Forma 2b

Terminales separados de las barras



Forma 3b

Terminales separados de las barras



Forma 4b

Terminales no en la misma celda como unidad funcional asociada

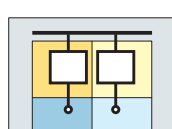


Figura 8: Solución constructiva en forma 4b, vista con las puertas posteriores abiertas. Obsérvense las segregaciones metálicas montadas sobre las barras principales y de distribución, así como los cierres aislantes montados en las celdas para la conexión de cables.



Representación de las soluciones constructivas en forma 3a, 3b y 4b en el cuadro PC3.0/MNS R

Forma 3a



Solución constructiva de un compartimento con interruptor en caja moldeada en forma 3a

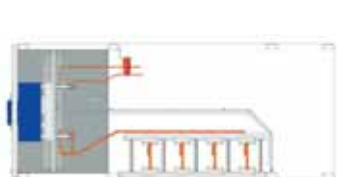


Vista en sección de una columna con un interruptor en caja moldeada segregado en forma 3a

Forma 3b

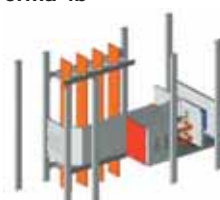


Solución constructiva de un compartimento con interruptor en caja moldeada en forma 3b



Vista en sección de una columna con un interruptor en caja moldeada segregado en forma 3b

Forma 4b



Solución constructiva de un compartimento con interruptor en caja moldeada en forma 4b



Vista en sección de una columna con un interruptor en caja moldeada segregado en forma 4b

1.8 La sobretemperatura en el interior de los cuadros

El excesivo aumento de la temperatura en el interior de los cuadros eléctricos es una de las problemáticas más controvertidas desde siempre y de las que más preocupan a los usuarios.

Claro está que una subida anómala de temperatura en el interior de un cuadro puede poner en riesgo la seguridad del personal (posibles incendios) y de la instalación (deficiencias de funcionamiento de los aparatos).

Por ello, la norma 439-1 dedica buena parte de su contenido a los límites de sobretemperatura admisibles en un cuadro eléctrico y a los métodos de determinación de dichos límites o directamente como prueba de tipo (Type test) o mediante extrapolación analítica.

La prueba de tipo es una prueba que tiene por objeto la evaluación de la validez de un proyecto en relación con las prestaciones esperadas.

Generalmente, estas pruebas de tipo son efectuadas en uno o más prototipos y los resultados deben responder a leyes deterministas. De esta forma, los resultados pueden extenderse a toda la producción, siempre que ésta responda al proyecto de los modelos probados.

Las pruebas de tipo previstas por la norma IEC EN 60439-1² son:

- verificación de los límites de sobretemperatura
- verificación de las propiedades dieléctricas
- verificación de la resistencia al cortocircuito de los circuitos principales
- verificación de la resistencia al cortocircuito del circuito de protección
- verificación de la conexión efectiva entre las masas y el circuito de protección
- verificación de las distancias en aire y superficiales
- verificación del funcionamiento mecánico
- verificación del grado de protección

Como hemos dicho, la verificación de sobretemperatura es uno de los aspectos más críticos para un cuadro eléctrico. La norma establece los límites de sobretemperatura, aplicados a una temperatura media del aire ambiente $\leq 35^\circ\text{C}$ que los cuadros conformes a la norma no deben superar (Tabla 1).

En los cuadros AS, la verificación de los límites de sobretemperatura debe efectuarse por medio de pruebas de tipo.

En los cuadros ANS puede llevarse a cabo, alternativamente a las pruebas de tipo, una extrapolación, por ejemplo con arreglo a la IEC 60890.

² La norma IEC EN 60439-3, específica para los cuadros de distribución (ASD), impone, además de las pruebas de tipo contempladas por la norma IEC EN 60439-1, las siguientes verificaciones:

- verificación de la construcción y de la identificación
- verificación de la resistencia al impacto
- verificación de la resistencia a la corrosión y a la humedad
- verificación de la resistencia de los materiales aislantes al calor
- verificación de la resistencia de los materiales aislantes al calentamiento anormal y al fuego debido a efectos eléctricos externos
- verificación de la resistencia mecánica de los medios de fijación de las envolventes

Tabla 1: Límites de sobretemperatura de un cuadro de baja tensión

Partes de un equipo	Sobretemperatura (K)
Componentes incorporados ⁽¹⁾ (6)	De acuerdo con las prescripciones de las normas de producto relativas a los componentes individuales, o según las instrucciones del fabricante ⁽⁶⁾ de los componentes, teniendo en cuenta la temperatura en el interior del EQUIPO
Terminales para conductores externos aislados	70 ⁽²⁾
Barras y conductores ⁽⁷⁾ , contactos de enchufe de partes desmontables o extraíbles que se conectan a las barras	Limitada por: <ul style="list-style-type: none"> • resistencia mecánica del material conductor ⁽⁷⁾ • posibles influencias en el aparato adyacente • límites de temperatura admisibles para los materiales aislantes en contacto con el conductor • influencia de la temperatura del conductor en los aparatos conectados a éste • para los contactos de enchufe, tipo y tratamiento superficial del material de los contactos
Elementos de mando manual:	
• de metal	15 ⁽³⁾
• de material aislante	25 ⁽³⁾
Envolventes y cubiertas externas accesibles:	
• superficies metálicas	30 ⁽⁴⁾
• superficies aislantes	40 ⁽⁴⁾
Conexiones particulares de tomas de corriente	Determinada por los límites fijados para los componentes del mecanismo del que forman parte (5)
<p>(1) El término "componentes incorporados" significa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aparatos convencionales de protección y de maniobra; - subsistemas electrónicos (por ejemplo, puntos rectificadores o circuitos impresos) - mecanismos (por ejemplo, regulador, alimentador estabilizado de potencia, amplificador operacional). <p>(2) El límite de sobretemperatura 70 K es un valor basado en la prueba convencional de tipo.</p> <p>Un EQUIPO utilizado o probado en las condiciones de instalación puede tener conexiones de tipo, naturaleza y disposición diferentes de las utilizadas para la prueba: de esta forma, puede resultar y ser requerida o aceptada una sobretemperatura diferente en los terminales de conexión. Cuando los terminales de los componentes incorporados son también los terminales para los conductores externos aislados, se debe aplicar el límite de sobretemperatura más bajo.</p> <p>(3) Para los elementos de mando manual instalados en el interior del EQUIPO, accesibles solo abriendo el EQUIPO (por ejemplo, asas de extracción de uso poco frecuente), se admite un aumento de 25 K en los límites de sobretemperatura.</p> <p>(4) A menos que se especifique lo contrario, en el caso de cubiertas y envolventes que son accesibles pero no exigen ser manipuladas en condiciones normales de servicio, se admite un aumento de 10 K en estos límites de sobretemperatura.</p> <p>(5) Esto permite un grado de flexibilidad respecto al aparellaje (por ejemplo, dispositivos electrónicos) sujeto a límites diferentes de los normalmente atribuidos a los aparatos de protección y maniobra.</p> <p>(6) Para las pruebas de sobretemperatura según 8.2.1, los límites de sobretemperatura deben ser especificados por el fabricante del EQUIPO.</p> <p>En el caso de los interruptores automáticos, los límites de sobretemperatura son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 70 K si existe un conductor aislado conectado al terminal. - 85 K para los terminales de los interruptores automáticos ABB si éstos no están directamente conectados a conductores aislados (la sobretemperatura de 85 K hace referencia a una temperatura ambiente en el exterior del cuadro de 35 °C). <p>(7) Suponiendo que todos los demás criterios descritos se cumplan, se establece como sobretemperatura máxima 105 K para las barras y conductores de cobre descubiertos. Estos 105 K hacen referencia a la temperatura más allá de la cual el cobre se recocería.</p>	

Además de las pruebas de tipo (Type test), la norma prevé algunas pruebas individuales (Routine test). Se trata de pruebas efectuadas en cada ejemplar construido para constatar la ausencia de defectos graves de material o de montaje. Dichas pruebas se califican como no destructivas y pueden llevarse a cabo en el taller del fabricante, en el caso de cuadros que se entregan ya cableados, o bien en el lugar de la instalación una vez que el montaje se haya completado.

Las pruebas individuales previstas por la norma IEC EN 60439-1³ son:

- inspección visual del conjunto, incluido el cableado
- prueba de funcionamiento eléctrico
- verificación del aislamiento
- control de las medidas de protección y de la continuidad del circuito de protección

³La norma IEC EN 60439-3 prevé unas pruebas similares para los cuadros de distribución (ASD)

1.9 Cuadros de ejecución especial

Los cuadros de ejecución especial son cuadros que poseen requisitos no contemplados por la norma 439-1, a menudo demandados por los usuarios en relación con las características de la instalación.

Entre las ejecuciones especiales más habituales se encuentran:

- Cuadros a prueba de arco interno
- Cuadros con resistencia sísmica⁴
- Cuadros resistentes a impactos⁴

La conformidad de los cuadros con tales requisitos se garantiza por medio de pruebas específicas (internacionales y/o locales) no incluidas en la norma 439-1.

⁴ Se consiguen gracias a la elección de las estructuras y los equipos adecuados

1.9.1 Prueba de arco debido a un defecto interno

La normativa internacional más extendida es la publicación técnica IEC 61641 (véase Apéndice A).

Esta prueba verifica la capacidad del cuadro eléctrico de satisfacer ciertos requisitos (normalmente de seguridad del operador) en condiciones de arco eléctrico por defecto en el interior del cuadro.

Se trata de una prueba especial sujeta a un acuerdo entre fabricante y usuario.

Los resultados de dicha prueba son presentados en un informe de ensayo, no siendo objeto de certificado de ensayo. La interpretación de los resultados es objeto de acuerdo entre fabricante y usuario.

1.9.2 Prueba de calificación sísmica

La prueba de calificación sísmica demuestra la capacidad de resistencia del cuadro eléctrico y de los componentes que éste contiene ante las sollicitaciones provocadas por un seísmo, manteniendo las funciones esenciales requeridas.

La normativa al respecto es muy amplia y heterogénea, por lo que es fundamental definir previamente las prestaciones que el equipo sometido a prueba debe ofrecer. Entre las normas aplicables (diferentes según los paí-

ses, los ámbitos de uso y las funciones asignadas a los cuadros) figuran:

- Uniform Building Code 1997
- Decreto italiano PCM n° 3274, 20/03/2003 "Primeros elementos en materia de criterios generales para la clasificación sísmica del territorio nacional y de normativas técnicas para la construcción en zona sísmica"
- IEEE 693-1997 "Recommended Practices for Seismic Design of Substations"
- IEEE 344-1987 "Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations"
- IEC 60980 "Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations"
- IEC 60068-3-3 "Guidance Seismic test methods for equipments"
- IEC 60068-2-6 "Tests- Test Fc: Vibration (sinusoidal)"
- IEC 60068-2-57 "Tests- Test Fc: Vibration - Time history method"

1.9.3 Prueba de resistencia a impactos

En determinados contextos aplicables, como por ejemplo naves para fines militares, es necesario que los cuadros eléctricos de baja tensión sean capaces de soportar condiciones de vibración y de impacto.

Las normas de referencia para este tipo de ejecución son:

- IEC 60068-2-6 / EN 60068-2-6 (vibración)
- IEC 60068-2-27 / EN 60068-2-27 (impactos)

Al ser la normativa, también en este caso, muy variada (siguiendo en el ámbito naval, los registros de buques son numerosos y con diversas especificaciones), la ejecución de la prueba debe efectuarse predefiniendo las modalidades de ejecución y las prestaciones que el equipo debe ofrecer.

2 El arco eléctrico

2.1 El fenómeno del arco eléctrico

El arco eléctrico es un fenómeno producido tras una descarga que tiene lugar cuando la tensión eléctrica presente entre dos puntos supera el límite de rigidez dieléctrica del gas interpuesto; si existen las condiciones oportunas, se forma un plasma que conduce la corriente eléctrica hasta que interviene la protección aguas arriba.

Los gases, buenos aislantes en condiciones normales, pueden convertirse en conductores de corriente cuando tienen lugar alteraciones en sus propiedades químico-físicas debidas a un aumento de la temperatura o a otros factores externos.

Para entender cómo se origina un arco eléctrico, puede hacerse referencia a lo que sucede cuando se abre o se cierra un circuito. Durante la fase de apertura de un circuito eléctrico, los contactos del dispositivo de maniobra comienzan a separarse ofreciendo a la corriente una sección gradualmente decreciente; de esta forma, la corriente encuentra una resistencia cada vez mayor, con el consecuente aumento de temperatura. Cuando los contactos comienzan a separarse, el campo eléctrico aplicado al circuito supera la rigidez dieléctrica del aire provocando la perforación por medio de una descarga. La elevada temperatura provoca una ionización del aire circundante que mantiene la circulación de la corriente en forma de arco eléctrico.

Además de la ionización térmica, tiene lugar una emisión de electrones, por parte del cátodo, debido a un efecto termiónico; los iones, formados en el gas debido a los choques causados por la elevada temperatura, son acelerados por el campo eléctrico, golpean el cátodo y liberan energía en la colisión provocando un recalentamiento localizado que genera una emisión de electrones.

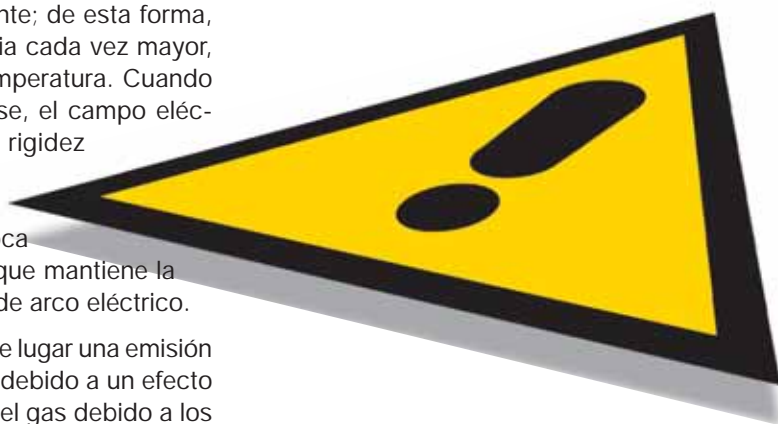
El arco permanece activo hasta que la tensión existente en sus extremos proporciona la energía suficiente para compensar la cantidad de calor disipado y para mantener las condiciones adecuadas de temperatura. Si el arco se alarga y se enfría, dejan de existir las condiciones para su subsistencia y se extingue.

De una forma análoga, el arco también se origina a consecuencia de un cortocircuito entre las fases. Un cortocircuito es una conexión de baja impedancia entre dos conductores que se encuentran a diferente tensión. El elemento conductor que constituye la conexión de baja impedancia (por ejemplo, una herramienta metálica olvidada sobre las barras en el interior del cuadro, un cableado incorrecto o el cuerpo de un animal en el interior del cuadro), sometido a la diferencia de potencial, es atravesado por una corriente de valor generalmente elevado, dependiendo de las características del circuito.

El paso de la elevada corriente de defecto provoca el sobrecalentamiento de los cables o de las barras del circuito, dando lugar a la fusión de los conductores de menor sección; al fundirse un conductor, se crean unas condiciones similares a las presentes durante la apertura del circuito.

Llegado este punto tiene lugar un arco, el cual se mantiene hasta la intervención de las protecciones o hasta que dejan de existir las condiciones que lo hacen estable.

El arco eléctrico se caracteriza por una intensa ionización del medio gaseoso, por reducidas caídas de tensión anódica y catódica (respectivamente, 10 y 40 V), por altas o muy altas densidades de corriente en el centro de la columna (del orden de 10^2 - 10^3 hasta 10^7 A/cm²), por altísimas temperaturas (varios miles de °C) en el centro de la columna de corriente y por una distancia entre los extremos variable, en baja tensión, de unos cuantos micrones a algunos centímetros.



2.2 Efectos del arco eléctrico en el interior de un cuadro

Cerca de los cuadros principales, es decir, de las grandes máquinas eléctricas, como transformadores o generadores, la potencia de cortocircuito es elevada y, consecuentemente, también lo es la energía asociada al arco eléctrico provocado por un defecto.

Sin caer en complejas descripciones matemáticas del fenómeno, lo que sucede en los primeros instantes en los que se forma el arco eléctrico en el interior de un cuadro puede esquematizarse en 4 fases:

1. Fase de compresión: en esta fase, el volumen de aire ocupado por el arco se sobrecalienta a causa del aporte ininterrumpido de energía; debido a la convección y la radiación, el restante volumen de aire contenido en el cuadro se recalienta; al principio, los valores de temperatura y presión difieren de zona a zona.

2. Fase de expansión: desde los primeros instantes de incremento de la presión interna, tiene lugar una apertura por la que comienza a salir el aire sobrecalentado. En esta fase, la presión alcanza su valor máximo y, debido a la liberación del aire caliente, comienza a disminuir.
3. Fase de emisión: en esta fase, a causa del continuo aporte de energía por parte del arco, casi todo el aire es expulsado bajo una ligera y casi constante sobre-presión.
4. Fase térmica: tras la expulsión del aire, la temperatura en el interior del cuadro alcanza casi la del arco y entonces comienza esta última fase, que dura hasta la extinción del arco, en la que todos los metales y los aislantes que entran en contacto sufren erosión, formándose gases, humos y partículas de material fundido.

Si el arco se formase al aire libre, algunas de las fases descritas podrían no presentarse o darse con un efecto menor; en cualquier caso se originará una onda de sobrepresión y un aumento de la temperatura en las zonas próximas al arco.

Para entender el peligro que comporta encontrarse cerca de un arco eléctrico, vale la pena citar ciertos números:

- presión: se estima que una persona ubicada a 60 cm de distancia del arco asociado a un defecto de unos 20 kA se ve sometida a una fuerza de 225 kg; además, la repentina onda de presión puede causar daños irreversibles en el tímpano;
- temperatura que puede alcanzar el arco eléctrico: alrededor de los 7000 - 8000 °C;
- ruido: un arco eléctrico puede emitir hasta 160 db, la detonación de un arma de fuego emite 130 db.



2.3 Efectos del arco eléctrico en las personas

Por todo lo descrito anteriormente, el arco eléctrico representa una fuente de riesgo para las personas y los bienes materiales. Los riesgos a los que se ve sometida una persona a consecuencia de la emisión de energía causada por un arco eléctrico son:

- quemaduras;
- lesiones debidas a la proyección de materiales;
- daños en el oído;
- inhalación de gases tóxicos.

Quemaduras

Las elevadas temperaturas de los gases producidos por el arco y la expulsión de partes metálicas incandescentes pueden provocar quemaduras de diversa índole a las personas.

La llama puede causar quemaduras de diferentes grados, hasta la carbonización: los cuerpos sólidos candentes, como fragmentos metálicos del cuadro, provocan quemaduras de tercer grado; el vapor sobrecalentado da lugar a quemaduras similares a las producidas por los líquidos calientes; el calor radiante provoca, generalmente, quemaduras menos graves.

Lesiones debidas a la expulsión de materiales

La emisión de cuerpos proyectados por el arco puede causar lesiones graves en las zonas más sensibles del cuerpo humano, como por ejemplo los ojos. Los materiales proyectados por la explosión debida al arco pueden penetrar en la córnea y dañarla. La magnitud del daño que puede derivar depende de las características y de la energía cinética de estos cuerpos.

Además de la región ocular, las mucosas pueden sufrir lesiones a causa de las sustancias gaseosas emanadas por el arco y la emisión de rayos ultravioletas e infrarrojos pueden causar daños ópticos en la córnea y en la retina, dependiendo de las longitudes de onda de las radiaciones.



Oído

Tal y como se ha señalado anteriormente, el arco eléctrico se manifiesta como una auténtica detonación, cuyo ruido puede provocar daños permanentes en el oído.



Inhalación de gases tóxicos

Los humos producidos por la combustión de los materiales aislantes y por la vaporización de los materiales pueden ser tóxicos. Los humos propagados se deben a una combustión incompleta y están constituidos por partículas de carbono y por otras sustancias sólidas suspendidas en el aire.



3 Cuadros resistentes a los arcos internos

3.1 Generalidades

En un cuadro eléctrico de baja tensión hay dos tipos de defecto que llevan asociado el desarrollo de corrientes de notable intensidad:

- defecto "metálico" (bolted fault)
- defecto de arco (arc fault)

El defecto "metálico" es el defecto en el que dos o más elementos conductores del sistema que se encuentran a potencial diferente entran en contacto; es el caso de los cortocircuitos fase-fase o fase-tierra, que conllevan la circulación de una corriente anómala en el interior del bucle creado en el momento del defecto.

Un defecto de arco se manifiesta, en cambio, al verificarse una disminución de la rigidez dieléctrica del medio aislante interpuesto (aire, en el caso de los cuadros BT) entre dos o más elementos conductores a diferente potencial.

El arco se crea cuando, a causa de la elevada ionización del aire, tiene lugar el fallo del dieléctrico del medio y el consecuente paso de corriente a través del mismo.

En un defecto "*metálico*" los efectos más dañinos son principalmente de tipo electrodinámico, proporcional a I^2 , a causa de la elevada intensidad de la corriente y de la baja resistencia de defecto (el medio por el que discurre la corriente de defecto es un material conductor).

En el defecto de arco, sin embargo, el mayor estrés es de tipo térmico, proporcional a $R_a I_a^2$, a causa del elevado valor adquirido por la resistencia de arco R_a ; debido a ello, la corriente de defecto se encuentra circulando en un medio que, aunque aislante, se encuentra extremadamente ionizado.

Dichos estreses se manifiestan esencialmente mediante:

- elevados gradientes térmicos causados por la rápida e intensa subida de la temperatura del aire;
- elevados gradientes de presión en forma de onda de presión;
- elevada ionización del aire con la consecuente reducción de su rigidez dieléctrica.

Por lo general, en un cuadro de baja tensión diseñado, construido y probado según la norma IEC EN 60439-1, las probabilidades de que se produzca un defecto de arco no son muy elevadas; sin embargo, si se manifiesta, las consecuencias podrían ser extremadamente nocivas tanto para los equipos como para las personas (véanse capítulos 2.2 y 2.3).

Las causas de un defecto de arco pueden ser tanto técnicas como no técnicas; entre estas últimas, las más recurrentes son:

- **errores del personal**, sobre todo durante las operaciones de mantenimiento;
- **operaciones de puesta en servicio no suficientemente precisas**;
- **mantenimiento deficiente**, sobre todo frente a severas condiciones ambientales.

Entre las causas técnicas de un defecto de arco en un cuadro de baja tensión pueden destacarse:

- **fallo del aislamiento** esencialmente en la proximidad de los soportes que sostienen las barras y de los de los contactos de enchufe de las unidades extraíbles (75% de los casos);
- **sobretensiones** que generan descargas disruptivas entre los puntos con las mínimas distancias de aislamiento (15% de los casos);
- **defectos constructivos de los componentes** (10% de los casos).

Nótese que la normativa de los cuadros de baja tensión (IEC EN 60439-1) impone como pruebas de tipo la verificación de la resistencia al cortocircuito, defecto metálico, y sin embargo no proporciona ninguna indicación precisa relativa a los defectos de arco.

La única indicación en este sentido de la 439-1 va dirigida al fabricante, que tiene la obligación de poner en práctica todas las disposiciones posibles para reducir la posibilidad de que tengan lugar fenómenos de arco en el interior del cuadro.

Sin embargo, tanto a nivel nacional como internacional, está muy extendido un documento guía para la prueba de arco interno de los cuadros eléctricos de baja tensión. Se trata del documento **IEC 61641** "Guía para la verificación de los cuadros de baja tensión en condiciones de arco interno" (véase Apéndice A).

Al tratarse de una publicación técnica de tipo 3, este documento no tiene la validez de una norma y, por consiguiente, los ensayos asociados no representan una prueba de tipo obligatoria con el fin de alcanzar la condición de cuadro AS (TTA).

Sin embargo, representa una sólida referencia técnica sobre cómo llevar a cabo la prueba, definiendo las propiedades fundamentales de un cuadro a prueba de arco interno y los requisitos que éste debe satisfacer.

Conforme a lo establecido en el documento IEC 61641¹, un cuadro de baja tensión resistente a los arcos internos debe:

- limitar el riesgo de daños/accidentes al personal en caso de fenómeno de arco interno;
- limitar el daño del cuadro sólo a la sección afectada por el defecto, permitiendo asegurar (operaciones de emergencia) las partes no implicadas.

¹ Nueva edición de próxima publicación

3.2 Características del cuadro resistente a los arcos internos

La seguridad del operador y de la instalación en caso de arco en el interior de un cuadro eléctrico de baja tensión puede lograrse a través de tres filosofías proyectivas diferentes:

1. cuadros mecánicamente resistentes al arco interno (*protección pasiva*)
2. cuadros dotados de dispositivos que limitan los efectos del arco interno (*protección activa*)
3. cuadros dotados de interruptores limitadores

Estas tres soluciones (también combinables entre sí) han alcanzado un notable desarrollo en el ámbito industrial y han sido aplicadas con éxito por los principales fabricantes de cuadros eléctricos de baja tensión.

Como se verá a continuación al examinar las dos primeras soluciones, una protección para los defectos de arco de tipo activo es intrínsecamente más compleja que una protección pasiva.

Esto se debe a la presencia de dispositivos electromecánicos/electrónicos adicionales que limitan los efectos del arco y que pueden estar sujetos por naturaleza a defectos o a intervenciones fallidas.

3.2.1 Cuadros mecánicamente resistentes al arco interno (protección pasiva)

A esta tipología pertenecen aquellos cuadros que adoptan disposiciones constructivas capaces de limitar el arco y la sucesiva salida de gases empobrecidos.

Las características particulares de esta tipología de cuadros son dos:

- estructura mecánica reforzada para resistir las sollicitaciones (sobrepresiones) ejercitadas por un arco en el interior del cuadro;
- creación en el interior del cuadro de un recorrido preferencial para la salida de los gases a alta temperatura producidos por el arco.

Ambas características son indispensables para satisfacer los requisitos de seguridad del operador y de la instalación previstos por el documento IEC 61641.

Los diferentes fabricantes ponen en práctica disposiciones proyectivas para evitar, en primer lugar, la apertura accidental de las puertas (o su perforación) a consecuencia de la onda de presión generada por el arco.

Además, también los instrumentos que pudieran hallarse instalados en las puertas deben soportar una sobrepresión de alrededor de 1 bar (=1 kg/cm²) sin ser expulsados y proyectados fuera del cuadro.

Las consecuencias térmicas del arco (gases empobrecidos a alta temperatura) pueden reducirse diseñando el interior del cuadro para que la salida de los gases se produzca por la parte alta del mismo (más de 2 m) y no a unas alturas inferiores que podrían resultar potencialmente peligrosas para el operador.

Cualquier abertura de dimensiones significativas en la puerta podría constituir una vía de escape para los gases que podría resultar peligrosa para el operador, con lo que normalmente se evita en los cuadros de este tipo.

Como ya hemos dicho, además de la seguridad del operador, el documento IEC 61641 prevé que el cuadro también garantice la seguridad de la instalación en caso de arco (véase Apéndice A).

Por lo tanto, el fabricante deberá adoptar disposiciones proyectivas a este respecto.

Básicamente, el cuadro deberá estar construido de tal forma que, en caso de arco, la parte funcional quede a salvo, permitiendo, una vez eliminado el defecto, una operación segura de la instalación.

Principalmente, un cuadro de este tipo debe tener dos características proyectivas:

- no propagación del arco entre dos columnas adyacentes;
- no propagación del arco entre la zona en la que se encuentran alojadas las barras y el lugar donde están instalados los diferentes componentes.

La satisfacción de estos requisitos es fruto de una minuciosa planificación de la compartimentación interna del cuadro. De hecho, pueden realizarse subdivisiones internas "a prueba de arco", o bien celdas o compartimentos donde el arco quede confinado evitando que se dañen las zonas adyacentes.

3.2.2 Cuadros con dispositivos que limitan los efectos del arco interno (protección activa)

Una filosofía de diseño completamente diferente a la vista anteriormente consiste en garantizar la capacidad de un cuadro de soportar el arco interno mediante la instalación de dispositivos limitadores del arco.

En este sentido, los planteamientos pueden ser de dos tipos:

- limitar los efectos destructivos del arco, una vez se haya manifestado, mediante detectores de arco (arc detectors);
- limitar los efectos destructivos del arco, una vez se haya manifestado, mediante detectores de sobrepresión.

La primera posibilidad consiste en instalar en el cuadro dispositivos que detectan el flujo luminoso asociado al fenómeno del arco eléctrico (arc detectors).

Una vez detectado el arco, estos dispositivos envían una señal de apertura al interruptor de llegada, garantizando tiempos de intervención del orden de 1-2 ms, bastante más rápidos que los del propio interruptor.

La lógica de funcionamiento de un detector de arco es la siguiente: el fenómeno de arco, una vez se ha producido en el cuadro, lleva asociada una intensa radiación luminosa, que es detectada por el detector de arco. El sistema de control del arco detecta el fenómeno y envía una señal de apertura al interruptor.

Todo ello con tiempos de intervención de unos pocos milisegundos, suplantando la intervención del relé de sobreintensidad del interruptor que podría verse, por ejemplo, retardado por cuestiones de selectividad.

La Figura 1 muestra las posibles zonas de instalación del dispositivo en el interior de un cuadro.

La solución ideal es la que prevé la instalación de al menos un detector para cada columna, reduciendo al mínimo la longitud de las fibras ópticas que conducen la señal.

A menudo, para evitar la intervención intempestiva debida a fuentes luminosas independientes del arco (lámparas, radiación solar, etc.), se instala adicionalmente un sensor de corriente en la entrada del interruptor principal. Sólo en caso de arco, sea por el sensor colocado en la

entrada que detecta una corriente "anómala" debida al defecto de arco, sea por el detector que detecta la radiación luminosa asociada al arco, se habilita la intervención del sistema y la consecuente apertura del interruptor.

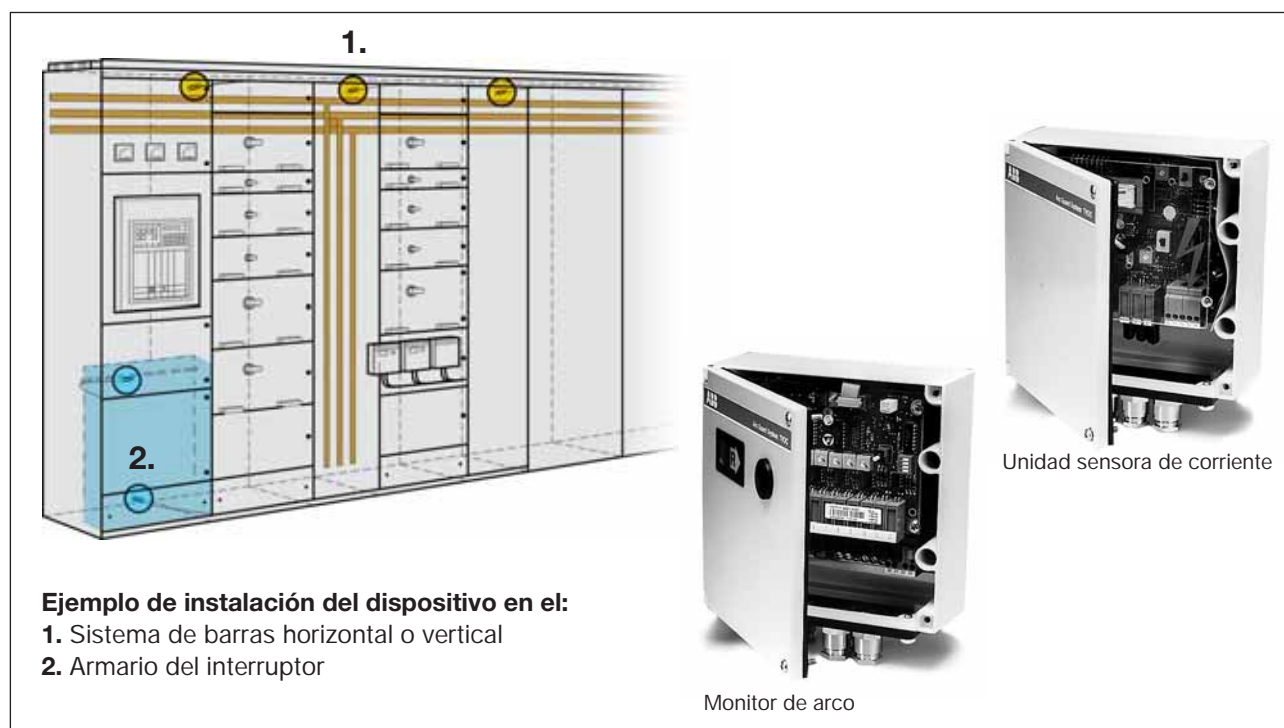
La segunda opción consiste en instalar en el interior del cuadro dispositivos detectores de sobrepresión. Tal y como describíamos anteriormente, la onda de sobrepresión es otro de los efectos que se manifiestan en el interior de un cuadro cuando tiene lugar un arco.

Por ello, pueden instalarse sensores de presión que, con un retardo de unos 10-15 ms, son capaces de detectar el pico de presión que acompaña la formación del arco. Esta señal actúa sobre el interruptor de alimentación sin esperar los tiempos de intervención, necesariamente más largos, de las protecciones selectivas.

Un sistema de este tipo no requiere ningún dispositivo electrónico de procesamiento, sino que actúa directamente sobre la bobina de apertura del interruptor de alimentación.

Naturalmente, es indispensable calibrar el dispositivo con umbrales de intervención fijos. El detector interviene una vez que se ha alcanzado cierta sobrepresión interna. Sin embargo, no es sencillo determinar anticipadamente un valor de sobrepresión generado por un defecto de arco interno.

Figura 1: Instalaciones posibles del detector de arco



3.2.3 Cuadros con interruptores limitadores

Una última posibilidad para limitar los efectos de un arco interno consiste en la instalación de interruptores limitadores.

En este caso, son dos las posibles soluciones:

- separar las partes de la instalación con elevada potencia de cortocircuito (Fig. a);
- limitar en cada sección de entrada la corriente de cortocircuito y, consecuentemente, la intensidad de un posible arco (Fig. b).

En el caso a), el interruptor limitador desacopla la parte derecha e izquierda de la instalación, limitando la contribución al defecto de arco que la sección "sana" de la instalación proporciona a la dañada.

Si esto no fuera suficiente, la solución más extrema es la b), en la que cada llegada desde el transformador presenta un interruptor limitador que reduce la energía que los montantes proporcionan en caso de defecto de arco.

Ambas soluciones son a menudo utilizadas en los cuadros mecánicamente resistentes al arco interno (protección pasiva) cuando las prestaciones de resistencia al arco (o a parte del mismo) no son suficientes en relación con las exigencias de la instalación.

Por ejemplo, si el cuadro posee una resistencia "mecánica" al arco interno de 65 kA y la corriente de cortocircuito de la instalación es mucho mayor que ese valor, las soluciones de tipo a) o b) son, sin lugar a dudas, válidas para garantizar la seguridad en caso de defecto de arco en el interior del cuadro.

Fig. a

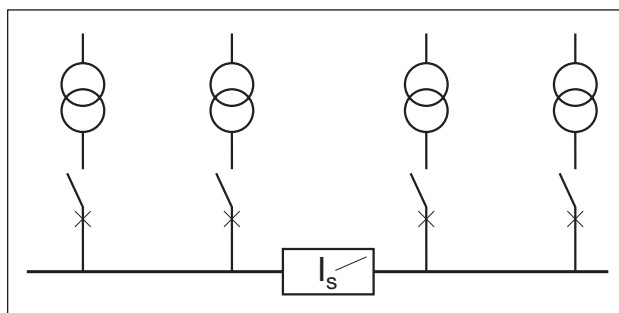
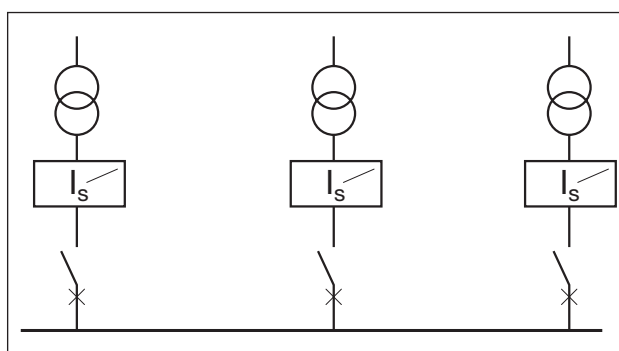


Fig. b



4 El cuadro resistente a los arcos internos de ABB

Los cuadros eléctricos de baja tensión de la serie MNS de ABB⁶ están diseñados y certificados para garantizar la protección pasiva a prueba de arco interno, alcanzando valores de resistencia al arco de hasta **100 kA durante 0,3 s**.

Los cuadros MNS están probados y certificados conforme al documento IEC 61641, satisfaciendo los 7 criterios de verificación de resistencia al arco interno (véase Apéndice A).

Gracias a ciertas características proyectivas de los cuadros MNS, el arco permanece aislado en la celda en la que se ha producido, garantizando así no sólo la seguridad del operador, sino también la del resto del cuadro, permitiendo aplicar las medidas de seguridad pertinentes en la instalación y la rápida eliminación de la celda en la que ha tenido lugar el arco.

⁶ En las versiones MNS3.0, MNS R, MNS iS

Figura 1: Cuadro de la serie MNS resistente a los arcos internos



Los cuadros de la serie MNS están disponibles en las siguientes versiones, todas a prueba de arco interno:

- PC3.0/MNS R, Cuadro de distribución de potencia "Cuadro General de Baja Tensión (C.G.B.T.)"
- MNS3.0, Centro de control de motores (Motor Control Center)
- MNS iS, Centro de control de motores (Motor Control Center) "inteligente"

A continuación, se describen las características principales del C.G.B.T. PC3.0/MNS R.

4.1 Características constructivas y funcionales del cuadro PC3.0/MNS R

Estructura del cuadro

La estructura del cuadro PC3.0/MNS R está constituida por perfiles en C de acero de 2 mm de grosor, perforados modularmente a pasos de 25 mm DIN. Cada compartimento, construido con elementos modulares, se compone de:

- compartimentos para interruptores;
- compartimentos para instrumentos;
- compartimentos de barras de distribución;
- compartimentos de cables.

Las celdas están metálicamente segregadas unas de otras. El cuadro puede ampliarse con facilidad por ambos extremos.



Puesta a tierra

El cuadro está provisto de una barra continua de tierra de cobre electrolítico, con sección adecuada al nivel de cortocircuito, cuyos extremos están predispuestos para la conexión a la red de tierra.

A ésta van conectados:

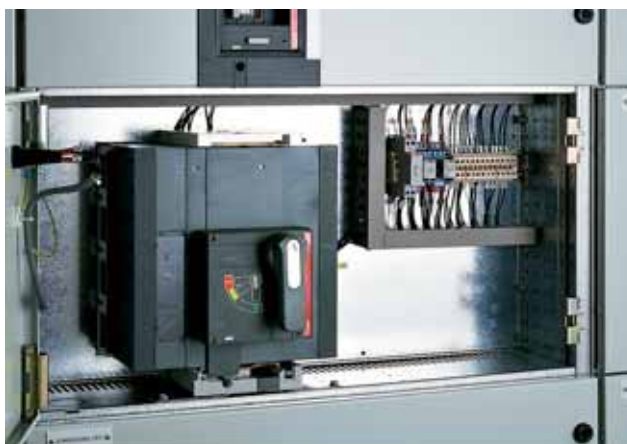
- las estructuras metálicas de cada compartimento;
- las partes metálicas inactivas de los interruptores;
- los secundarios de tierra de los TA y de los TV.

Las partes metálicas inactivas de los demás aparatos van conectados a la barra de tierra a través de la estructura metálica del compartimento.

Las puertas con aparatos montados en ellas van conectadas a la estructura por medio de cables trenzados flexibles de cobre. Todas las conexiones de tierra están realizadas con tornillos o bulones provistos de arandelas dentadas.

Compartimentos para interruptores

Las dimensiones de la celda, situada en la parte anterior, están adaptadas para el alojamiento de interruptores de bastidor abierto bien en caja moldeada. Se accede por medio de una portezuela abisagrada provista de cerradura. Los interruptores pueden instalarse en ejecución fija, enchufable o extraíble, en celdas individuales o múltiples. La maniobra de seccionamiento de los interruptores de bastidor abierto y en caja moldeada, en ejecución extraíble, puede realizarse también con la puerta cerrada con el fin de garantizar la máxima seguridad para el operador.



Compartimentos para instrumentos

La celda para instrumentos también está ubicada en la parte anterior del compartimento y puede estar destinada a una unidad funcional o ser común a varias unidades funcionales. Se accede por medio de una portezuela abisagrada provista de cerradura. Normalmente, en la portezuela están montados los instrumentos de medición, los relés de protección y los dispositivos de mando y señalización, mientras que en el interior de la celda se encuentran los demás aparatos auxiliares (si los hubiere), como los interruptores o los fusibles de protección de los circuitos de mando y los relés auxiliares. El cableado de los aparatos está realizado con cables flexibles de cobre confinados en canaletas. Las placas de bornes relativas a cada interruptor de un compartimento son distintas unas de otras y están debidamente identificadas.



Compartimentos de barras

La zona de barras se encuentra en la parte central. Las barras principales están ubicadas en la parte superior, en el centro o en la parte inferior según la configuración elegida y distribuyen la potencia a las diferentes secciones que componen el cuadro, pudiendo alimentar, en algunos casos, directamente a los interruptores. Las barras de distribución están colocadas verticalmente en la columna y distribuyen la potencia a los interruptores del panel. El sistema de barras puede estar formado por 1, 2 o 3 barras por fase, en función de la corriente, de la resistencia a cortocircuito y de las condiciones ambientales de temperatura, altitud y humedad.

La ejecución normal tiene lugar con barras de cobre descubiertas, aunque es posible realizar el sistema con barras tratadas mediante estañado, plateado y/o enfundadas.



Compartimentos principales

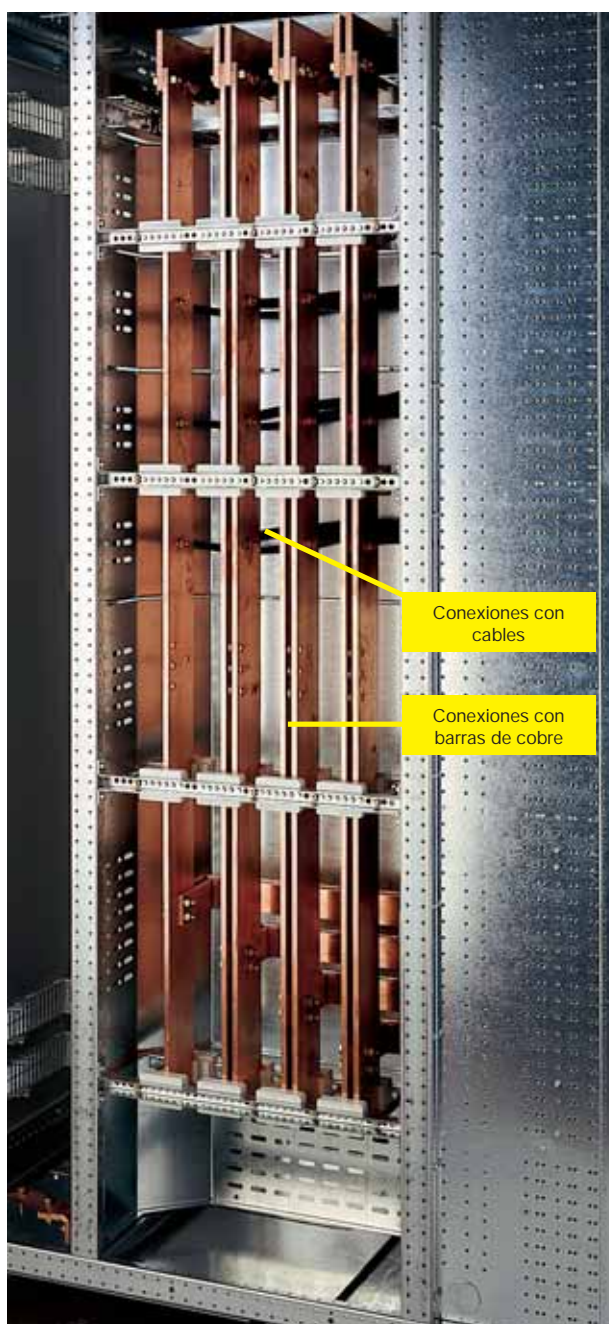
En los cuadros PC3.0/MNS R pueden instalarse sistemas de barras principales de corriente nominal hasta 6300 A. Las barras principales, así como las barras de distribución, son completamente segregables (en función de la forma de segregación solicitada).

En un panel pueden montarse hasta tres sistemas de barras simultáneamente (parte superior-centro-parte inferior) segregables entre sí.



Compartimentos de barras de distribución

En los cuadros PC3.0/MNS R se pueden montar barras de distribución de corriente nominal de hasta 4000 A. Las barras de distribución, derivadas directamente del sistema de barras principal, se disponen verticalmente a la derecha o a la izquierda de la columna. Permiten la distribución de la corriente a los interruptores de salida y están conectadas a ellos mediante barras rígidas o flexibles de cobre, con cables, pero en cualquier caso todas las conexiones están oportunamente dimensionadas para soportar las solicitudes termodinámicas de las corrientes de defecto.



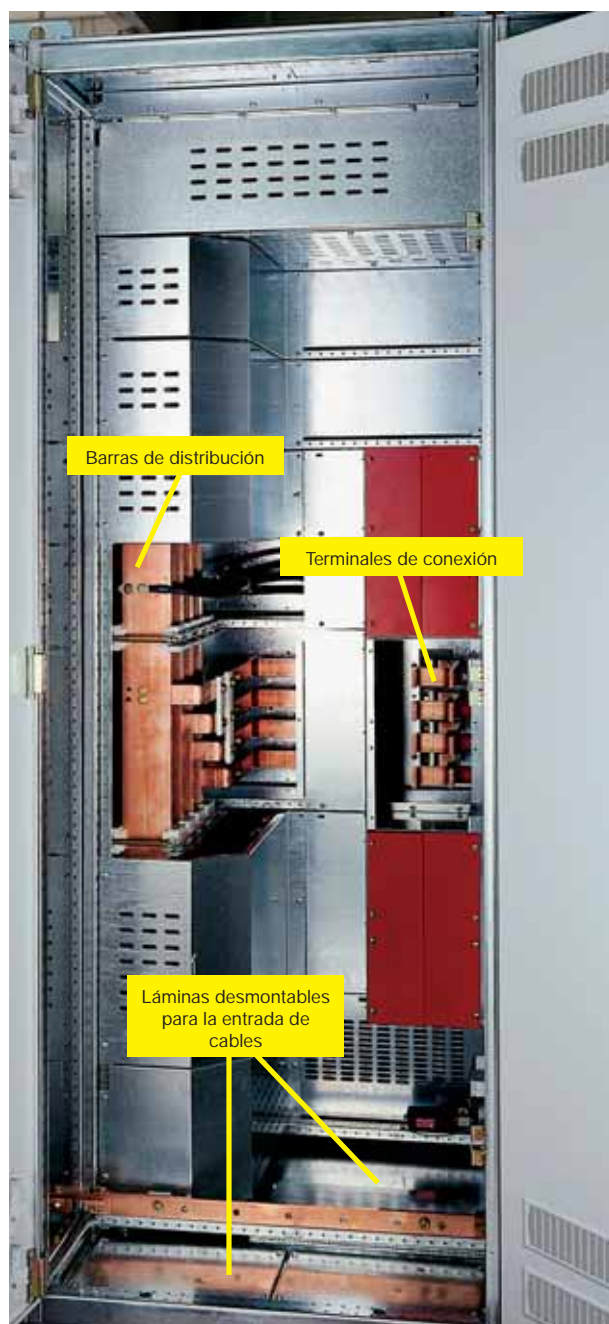
Compartimentos de cables

La zona de cables se sitúa en la parte posterior del compartimento.

Se accede a ella mediante portezuelas abisagradas o atornilladas desmontables.

Está destinada a alojar:

- los terminales de potencia;
- los cables de salida;
- reductores de corriente;
- ocasionalmente, placas de bornes auxiliares.



Formas de segregación

El cuadro PC3.0/MNS R permite la realización de formas de segregación internas de acuerdo con la norma de referencia IEC EN 60439-1, anexo D.

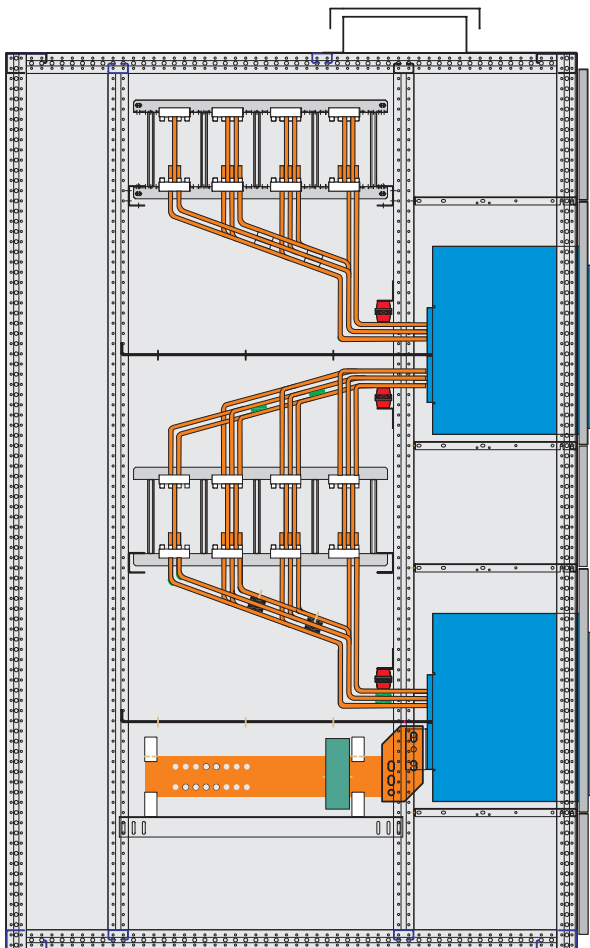
La aplicación de estas segregaciones permite principalmente el acceso de los operadores a las partes internas del cuadro en condiciones seguras, impidiendo además

la propagación de eventuales defectos a los circuitos y a las celdas adyacentes, y posibilitando la continuidad del servicio del conjunto de la instalación.



Compartimentos y secciones típicas

El cuadro ABB PC3.0/MNS R ha sido diseñado y construido para la instalación de los interruptores abiertos Emax y de los interruptores en caja moldeada Isomax y Tmax, en ejecución fija, enchufable o extraíble. Permite la instalación de los principales equipos de ABB y de los instrumentos de medición y protección disponibles en el mercado, en función de las diferentes exigencias de diseño.

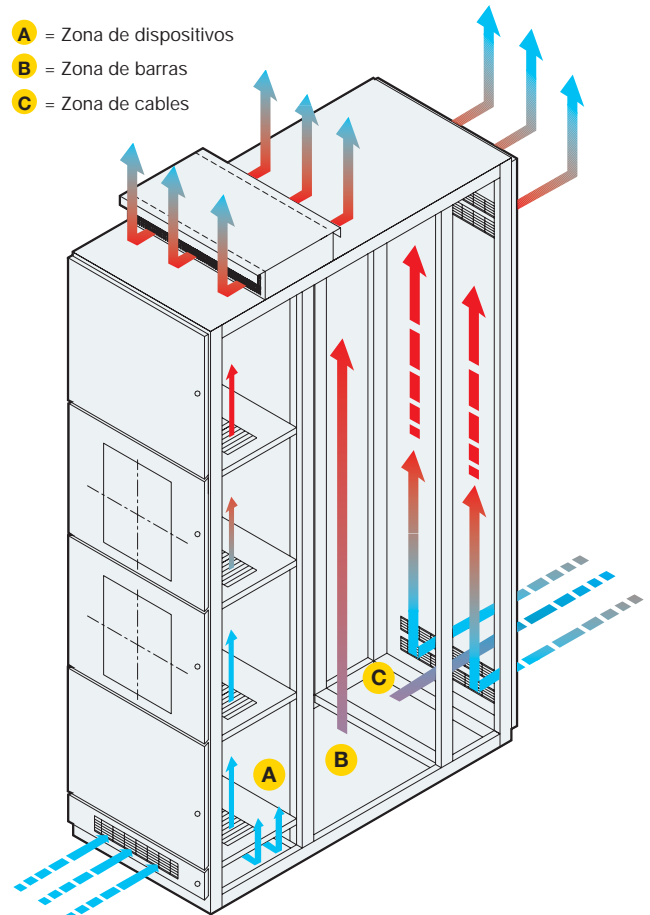


Ventilación

Para garantizar una ventilación natural eficaz de los componentes instalados en el interior, los cuadros PC3.0/MNS R han sido diseñados para crear distintos flujos de aire que penetran en todas las zonas internas.

La circulación natural del aire se produce de la siguiente manera:

- entrada de aire a temperatura ambiente por las rejillas de ventilación montadas en la parte inferior de los paneles de cierre frontal y posterior.
- salida de aire caliente por las rejillas de ventilación colocadas en el techo y en la parte superior del panel de cierre posterior.



4.2 Ejecuciones del cuadro PC3.0/MNS R

Versiones disponibles

Los cuadros PC3.0/MNS R están disponibles, según lo que se requiera, en las siguientes ejecuciones/tipologías:

- para instalaciones de interior;
- entrada para cables de potencia en parte superior/inferior;
- entrada mediante canalización eléctrica prefabricada en parte superior/inferior;
- entrada para cables auxiliares en parte superior/inferior;
- pintura estándar;
- pintura con ciclo específico para ambientes agresivos;
- embarrados descubiertos;
- embarrados enfundados;
- embarrados con tratamiento de protección electro-lítico;
- cables antillama N07-VK(IEC 20-22);
- cables antillama N07-G9K(IEC 20-22/IEC 20-32) de reducida emisión de humos y gases tóxicos;
- arco interno;
- grado de protección IP30...54;
- formas de segregación 3a, 3b y 4b.

Arco interno

Con el fin de alcanzar el más elevado nivel de seguridad, disponemos de una versión probada, conforme a la publicación técnica IEC 61641, capaz de soportar las solicitaciones causadas por un eventual arco interno debido a corrientes de cortocircuito de hasta 75 kA durante 500 ms a 726 V, equivalente a 100 kA durante 300 ms, manteniendo el valor de la tensión en valores cercanos a 726 V.



Versión según las Normas UL

Existe una solución conforme a las Normas UL 1558 destinada al mercado americano.



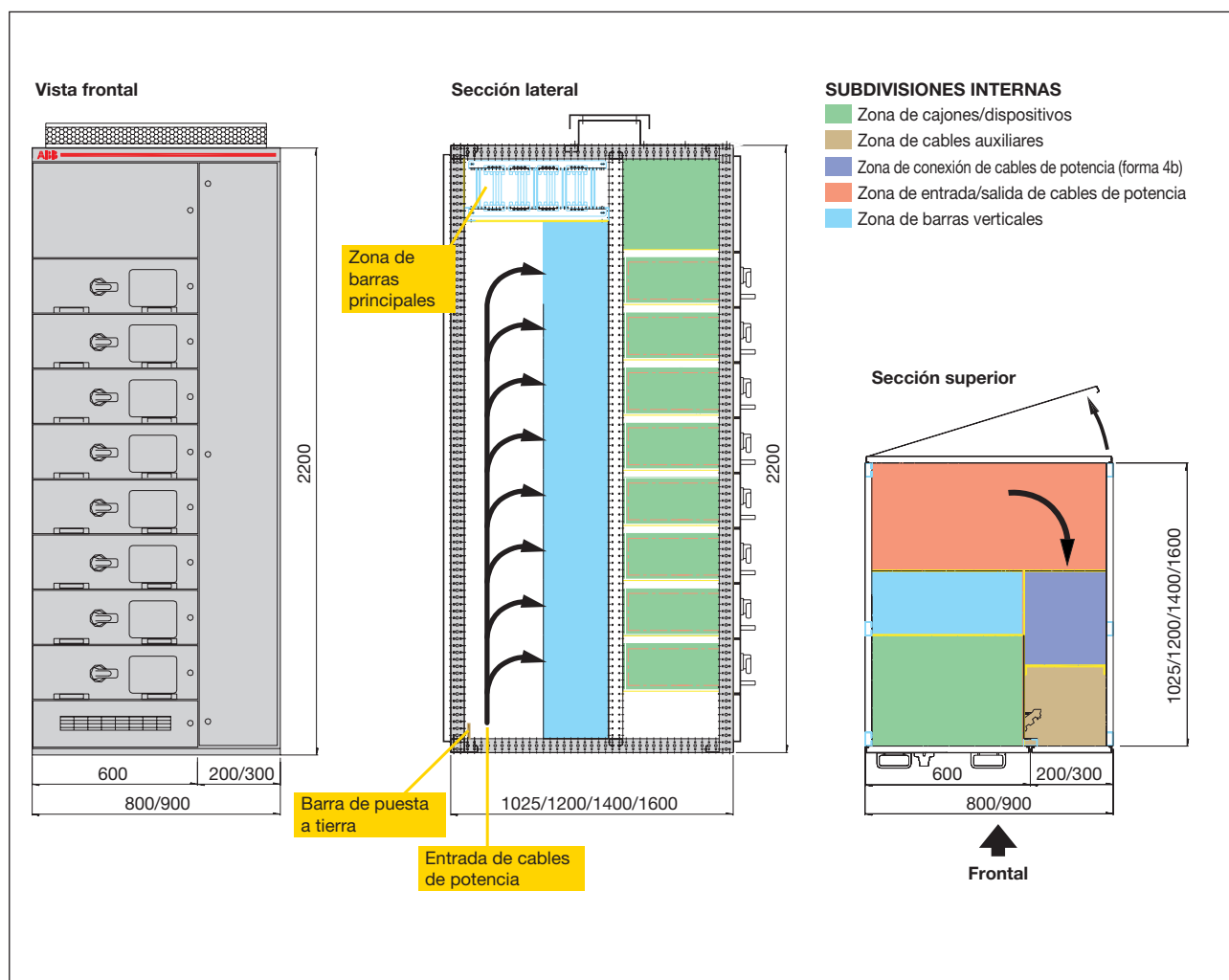


Soluciones integradas, Cuadro de distribución de potencia (C.G.B.T.) y centros de control de motores (Power Motor Control Center)

Mediante la utilización de un panel de enlace para la traslación del sistema de barras, es posible realizar cuadros de distribución de potencia (C.G.B.T.) y de control de motores para la alimentación de circuitos y el control de motores en unidades extraíbles.

Asimismo, es posible realizar cuadros de distribución de potencia (C.G.B.T.) y centros de control de motores con cajones extraíbles sin paneles de enlace, utilizando columnas MCC con acceso posterior.

En esta solución, las conexiones auxiliares son accesibles siempre por la parte frontal, mientras que a las conexiones de potencia se accede por la parte posterior.



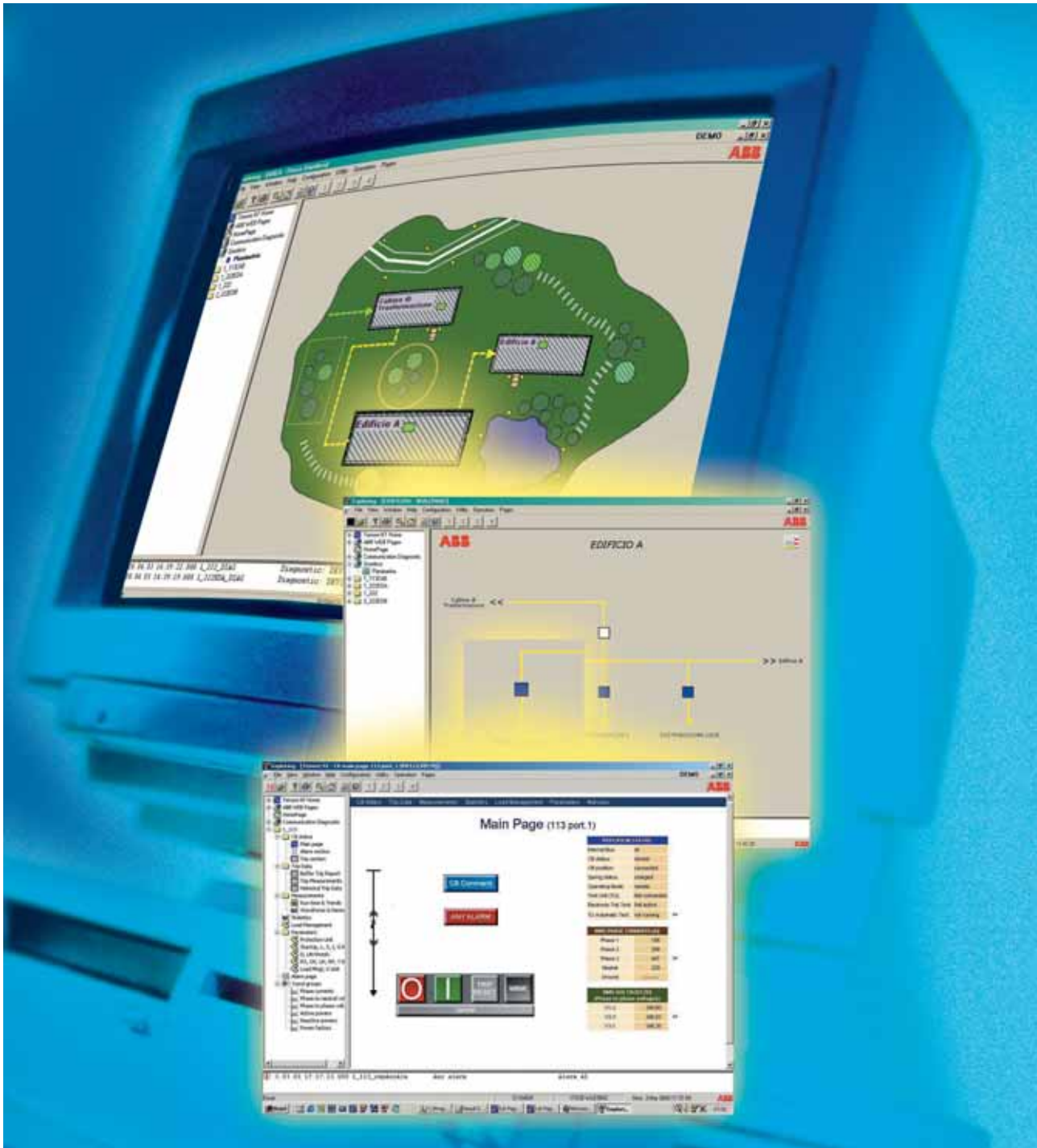
Cuadros "inteligentes"

Gracias a la utilización de relés electrónicos con función de diálogo, los interruptores de bastidor abierto y en caja moldeada montados en el interior de los cuadros pueden ser controlados y gestionados por un sistema de supervisión.

Para llevar a cabo la correcta gestión de una instalación con interruptores en caja moldeada y de bastidor abierto

dotados de relés de protección electrónicos, ABB dispone del programa SD-View 2000, un programa "listo para usar" que, instalado en un ordenador personal con la configuración estándar, permite controlar al completo la instalación eléctrica de baja tensión.

Como protocolo de comunicación se utiliza el Modbus® RTU, el estándar reconocido en el sector de la distribución eléctrica.



Apéndice A: prueba de arco interno en un cuadro

El presente apéndice ilustra una prueba de arco interno en un cuadro.

El objetivo de la prueba es verificar la ausencia de partes sólidas expulsadas en la zona adyacente al cuadro debido al arco desencadenado en su interior; este arco es generado por una corriente con un valor previsto, de cortocircuito, especificado por el fabricante. Más concretamente, se deben constatar los siguientes siete criterios:

1. las puertas, los paneles, etc., normalmente bloqueados, no se han abierto;
2. algunas partes del equipo, que pueden representar un peligro, no han sido proyectadas lejos (p. ej., trozos de grandes dimensiones o trozos con bordes cortantes);
3. el arco no produce orificios en las partes externas libremente accesibles de la envolvente causados por quemaduras o por otras causas;
4. los indicadores colocados verticalmente no han ardiendo;
5. el circuito equipotencial de las partes accesibles de la envolvente es aún eficaz;
6. el arco queda limitado en un área definida y no se verifican reactivaciones en áreas adyacentes;
7. tras la extinción del defecto o el aislamiento o la extracción de la unidad funcional afectada por el defecto, es posible efectuar en la parte no afectada del cuadro un plan de seguridad (operaciones de emergencia).

Esto deberá ser verificado por una prueba dieléctrica con un valor de 1,5 veces la tensión asignada para una duración de 1 minuto.

La prueba se realiza en un ejemplar nunca antes sometido a una prueba de arco, con condiciones de instalación parecidas a las de servicio normal. El ejemplar está completamente equipado con los componentes internos y las medidas de protección para las personas deben encontrarse operativas.

Para verificar que los gases o partes sólidas expulsadas no provocan efectos indeseados, se utilizan indicadores

constituidos por cuadrados de algodón colocados en bastidores. Los indicadores se colocan hasta una altura máxima de 2 m y a una distancia de 30 cm \pm 5% del cuadro, frente a todos los puntos en los que hay posibilidad de emisión de gases calientes (juntas, ventanillas de inspección, puertas, etc.).

El arco se ha producido entre las fases mediante un hilo de cobre no aislado que ha entrado en contacto con los conductores adyacentes más cercanos. La activación del arco debe ser trifásica, de manera que permita al arco transformarse en un defecto trifásico, y el punto de activación es elegido para que los efectos del consecuente arco produzcan el máximo estrés en el equipo. El diámetro del hilo depende de la corriente de prueba.

Como puntos de activación del arco deben elegirse, basándonos en la experiencia, los puntos en los que puede formarse un arco interno, por ejemplo:

- puntos de unión y de empalme de los conductos principales;
- partes activas y no aisladas aguas arriba de los aparatos de maniobra y protección;
- zonas terminales de los cables.

Por otro lado, el hilo detonador debe estar conectado a conductores accesibles no aislados.

Al circuito de prueba se le aplica una tensión igual a la tensión asignada más alta del equipo, con una tolerancia de + 5% y el valor de la corriente prevista de cortocircuito, especificado por el fabricante, debe verificarse mediante un oscilograma de calibrado. El valor de pico de la corriente se obtiene multiplicando la corriente de corta duración por un factor n.

Los valores normalizados para el factor de multiplicación n y el correspondiente factor de potencia se indican en la tabla siguiente.

Valor eficaz de la corriente de cortocircuito RMS kA	cosφ	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Nota: Los valores de la tabla tienen en cuenta la mayoría de las aplicaciones; en zonas particulares, por ejemplo, cerca de transformadores o generadores, el factor de potencia puede asumir valores más bajos, por lo que en estos casos el valor máximo de pico de la corriente prevista puede convertirse en el factor limitativo, en lugar del valor eficaz de la corriente de cortocircuito.

La impedancia utilizada para verificar la corriente de prueba debe ser la misma que la utilizada durante la prueba.

La duración de la prueba la proporciona el fabricante. Difiere en función del tiempo de respuesta de los dispositivos de protección eléctrica. Si los detalles relativos a estos dispositivos no están registrados, la duración de la alimentación de potencia deberá ser de al menos 0,1 s. Normalmente esta duración no debería superar los 0,5 s.

El resultado de la prueba es positivo si se constatan los criterios ilustrados anteriormente.

Se han realizado tres pruebas:

- A. prueba de calibrado;
- B. prueba con ignición de arco en los terminales de una unidad de salida;
- C. prueba con ignición de arco entre las barras principales.

A. prueba de calibrado

El circuito se prueba soportando una corriente de prueba de 65 kA a la tensión asignada de 462 V (440 V+5%).

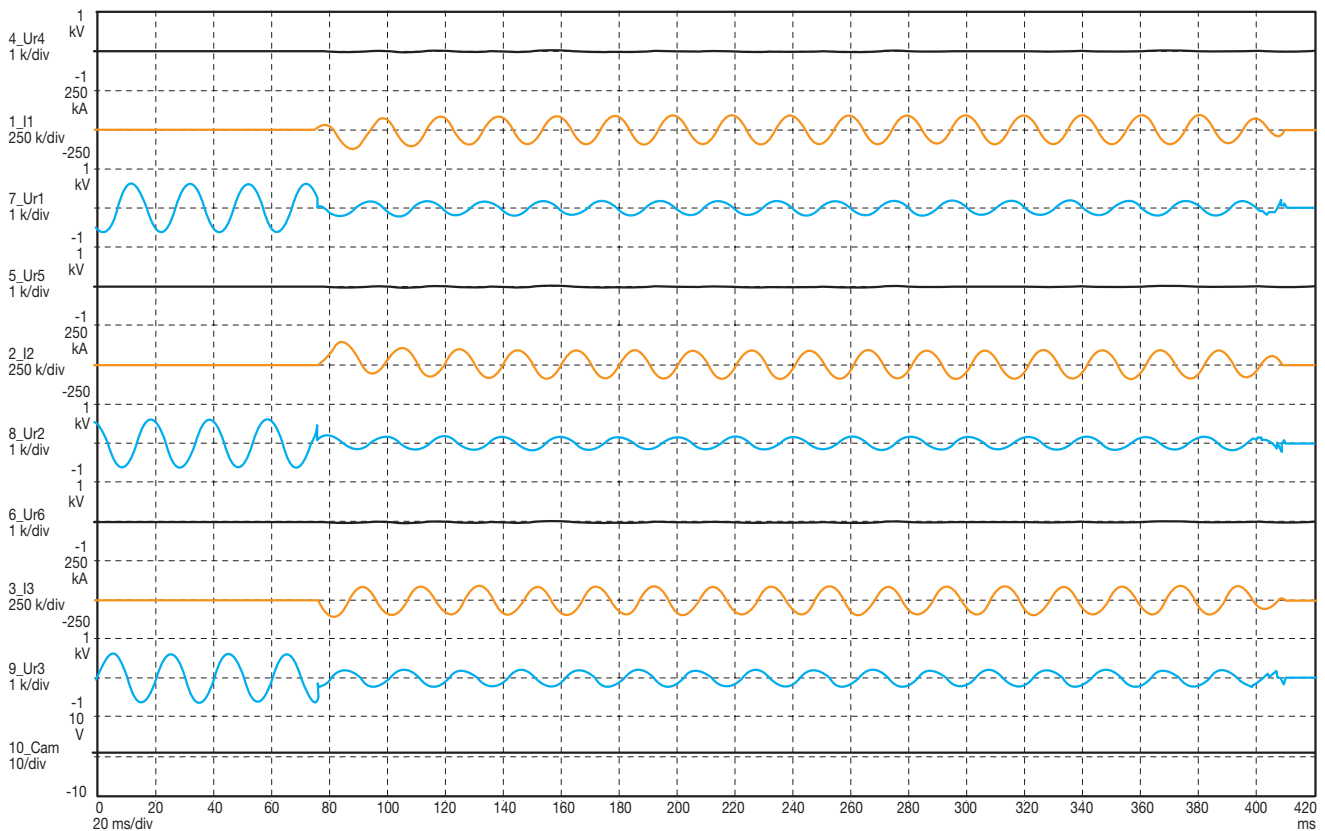
En la siguiente tabla figuran los valores obtenidos durante la prueba.

	1_I1	2_I2	3_I3	Valor Promedio
Corriente simétrica [kA]	65,9	65,0	65,7	65,5
Corriente de pico [kA]	-129	144	-106	
Inicio [ms]	75,8	76,5	75,9	
Fin [ms]	409,4	408,5	409,4	
Cosφ				0,16

Leyenda:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: corrientes en las tres fases
- Cosφ: factor de potencia

La siguiente figura ilustra el oscilograma en el que se aprecia la evolución de las tensiones línea a línea (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) y de las corrientes (1_I1, 2_I2, 3_I3) en las tres fases.



B. prueba con ignición de arco en los terminales de una unidad de salida

Tras el calibrado del circuito, se lleva a cabo una prueba de arco interno con una corriente de 65 kA durante 0,3 s a la tensión de 462 V (440 V+5%).

El arco se inicia entre los terminales superiores de un interruptor de una de las unidades de salida: la duración efectiva de la corriente resulta de sólo 7,7 ms, causando la autoextinción del arco. Por consiguiente, la amplitud de la corriente también se ve reducida.

La corriente se ha extinguido en la primera mitad de la duración total prevista para la prueba sin activarse de nuevo y, por tanto, según la publicación técnica IEC 61641, dicha prueba debe ser repetida utilizando el mismo punto de activación de la primera vez.

Dado que también en la repetición la corriente se ha extinguido en la primera mitad de la duración total, no se requiere una nueva repetición.

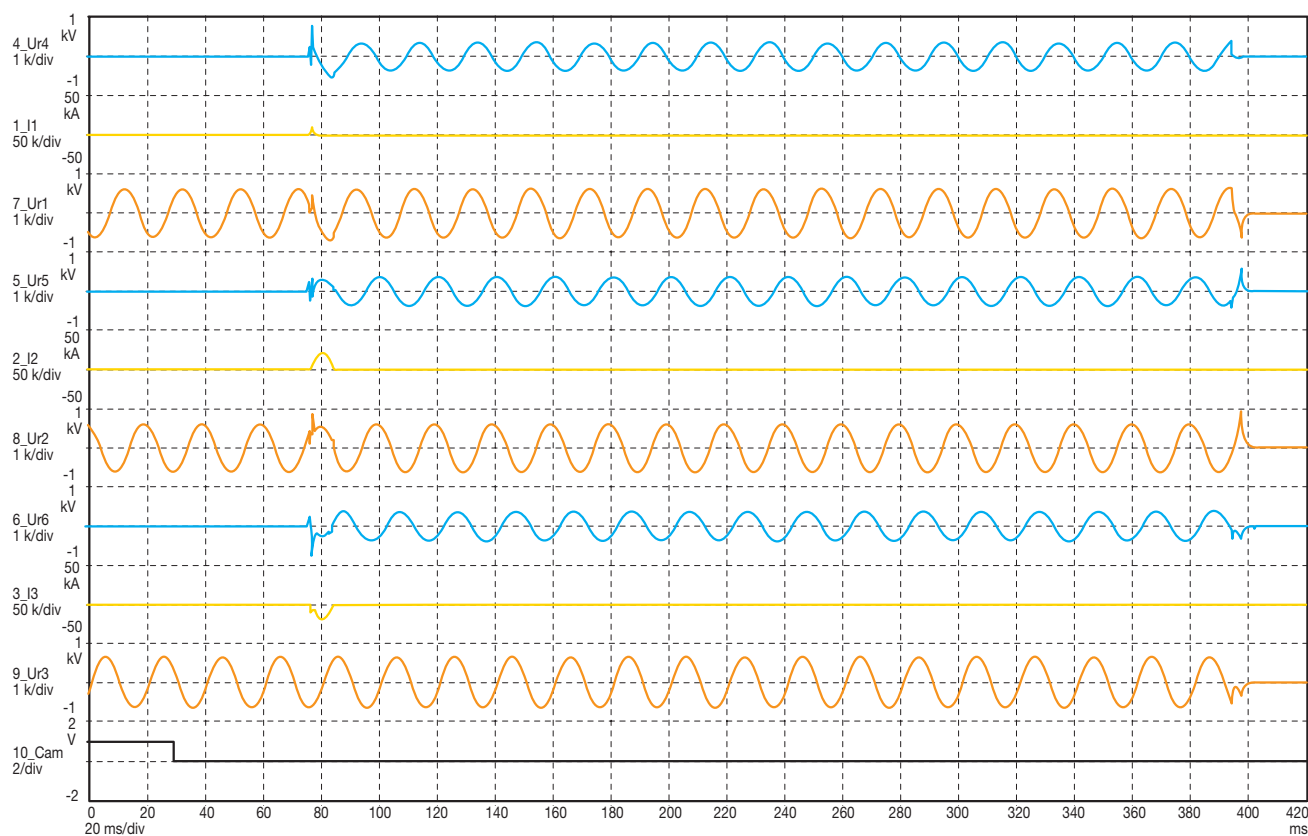
En la siguiente tabla figuran los valores obtenidos durante la prueba.

	1_I1/4_Ur4	2_I2/5_Ur5	3_I3/6_Ur6
Corriente máxima [kA]	10,3	19,8	-19,8
Tensión máxima [V]	786	349	-746
Energía de arco [kJ]	1,28	22,7	22,3
Energía específica total [A2s]	4,38E+04	1,43E+06	1,52E+06
Potencia de arco [W]	6,98E+06	5,52E+06	7,55E+06
Duración de arco [ms]	1,1	7,7	7,6

Leyenda:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: corrientes en las tres fases
- 4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6: tensiones de arco
- Cosφ: factor de potencia

La siguiente figura ilustra el oscilograma en el que se aprecia la evolución de las tensiones de arco (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6), de las tensiones línea a línea (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) y de las corrientes (1_I1, 2_I2, 3_I3) en las tres fases. En el oscilograma se puede observar la corta duración de las corrientes debida a la rápida extinción del arco.



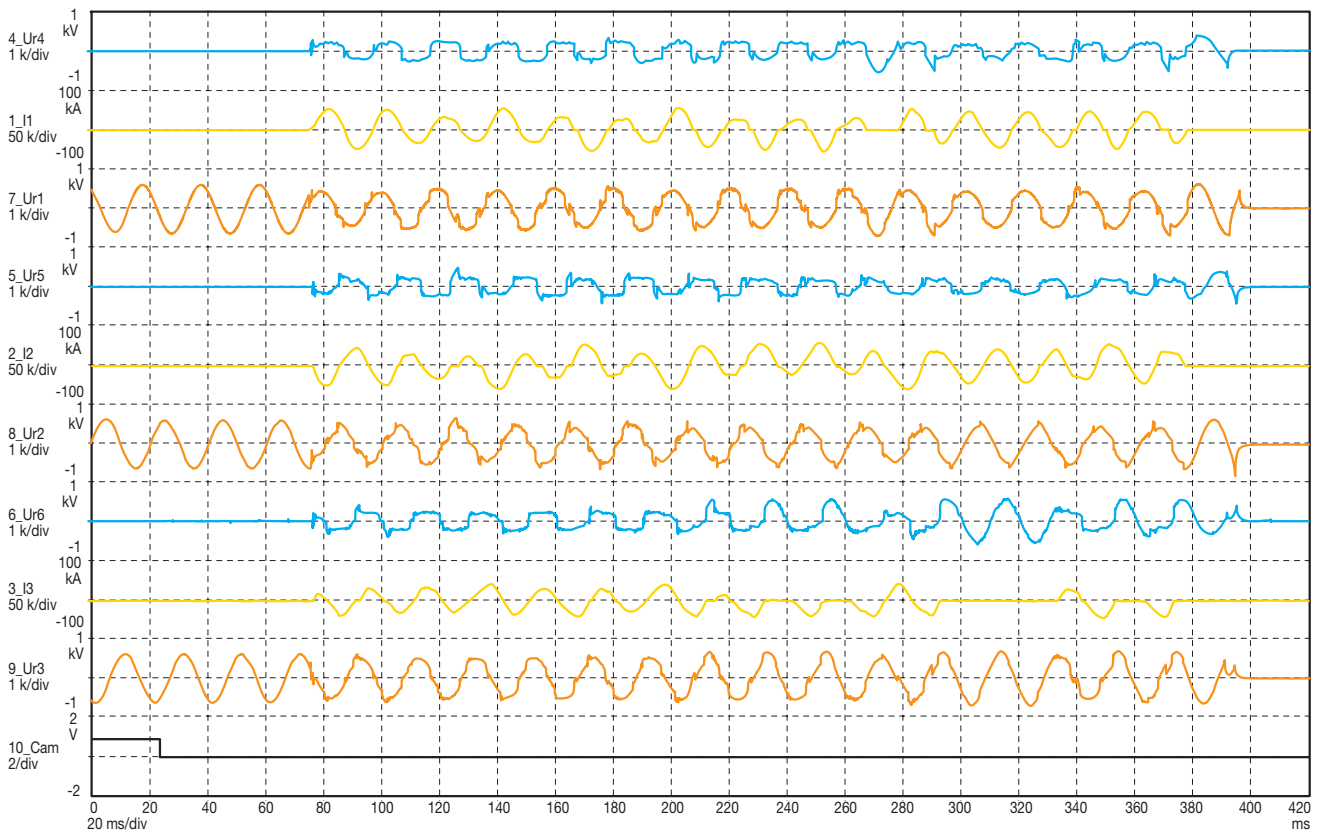
C. prueba con ignición de arco entre las barras principales

Se ha llevado a cabo una prueba posterior, de nuevo a 65 kA y 462 V, con ignición de arco del arco entre las barras principales: la duración efectiva de la corriente ha sido de 0,3 s, con autoextinciones temporales del arco en las fases L1 y L3 y sucesiva reactivación.

En la siguiente tabla figuran los valores obtenidos durante la prueba

	1_I1	2_I2	3_I3
Corriente de pico [kA]	55,7	-62,3	46,6
Duración [ms]	301,37	301,37	216,76
Energía específica [A2s]	2,53E+08	2,97E+08	1,12E+08

La siguiente figura ilustra el oscilograma en el que se aprecia la evolución de las tensiones de arco (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6), de las tensiones línea a línea (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) y de las corrientes (1_I1, 2_I2, 3_I3) en las tres fases.



Contacte con nosotros

Asea Brown Boveri, S.A.
Low Voltage Products
Torrent de l'Olla 220
08012 Barcelona
Tel. 93 484 21 21
Fax 93 484 21 90
www.abb.es/bajatension



1TXA007105G0701-000310