

Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9
Guía para la construcción de un cuadro
eléctrico de baja tensión conforme a las
normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2

Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2

Índice

Introducción	3	6 Formas de segregación interna	17
1 Normas relativas a los cuadros de baja tensión y aplicabilidad		7 Verificación de los límites de sobretemperatura en el interior de un cuadro	
1.1 Norma IEC 61439-1	4	7.1 Introducción	18
2 Características eléctricas nominales de un cuadro	8	7.2 Verificación térmica del cuadro	19
3 Clasificación de los cuadros eléctricos		7.3 Cálculo de la sobretemperatura conforme a la norma IEC 60890	22
3.1 Cuadros de tipo abierto y cerrado	10	7.4 Ejemplos de cálculo de sobretemperatura	26
3.2 Diseño externo	10	8 Verificación del rendimiento en caso de cortocircuito	
3.3 Condiciones de instalación	10	8.1 Verificación de resistencia a cortocircuitos	31
3.4 Clasificación funcional	11	8.2 Corriente de cortocircuito e idoneidad del cuadro para la instalación	32
4 Grado de protección IP del cuadro	12	8.3 Elección del sistema de distribución con respecto a la resistencia a cortocircuitos	34
4.1 Grado de protección IP de los cuadros ArTu	13	8.4 Verificación de cortocircuito conforme a las normas de diseño	38
4.2 Grado de protección IP y entorno de instalación	14	9 Verificación de las propiedades dieléctricas del cuadro	
4.3 Grado de protección IP y sobretemperatura	15	9.1 Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial	39
4.4 Grado de protección IP de las partes desmontables	15	9.2 Prueba de tensión soportada a impulsos	42
5 Grado de protección IK de las envolventes			
5.1 Grado de protección IK de los cuadros ArTu . 16			

Continúa

Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2

Índice

10 Protección contra descargas eléctricas

- 10.1 Protección contra el contacto directo 44
- 10.2 Protección contra el contacto indirecto..... 44
- 10.3 Manejo seguro del cuadro 45

11 Recomendaciones prácticas para la construcción de cuadros

- 11.1 Construcción del cuadro eléctrico 46
- 11.2 Posicionamiento de los interruptores automáticos 46
- 11.3 Anclaje de los conductores cerca de los interruptores automáticos 48
- 11.4 Recomendaciones para la conexión de los interruptores automáticos al embarrado de distribución 51
- 11.5 Recomendaciones sobre las distancias de instalación de los interruptores automáticos 55
- 11.6 Otras recomendaciones logísticas y prácticas..... 58
- 11.7 Manipulación, transporte e instalación definitiva..... 59
- 11.8 Intervenciones en cuadros en servicio 62

12 Guía para la certificación de los cuadros

- 12.1 Conformidad de los cuadros con las normas.. 63
- 12.2 Verificaciones principales que debe llevar a cabo el fabricante original 63
- 12.3 Verificaciones particulares (pruebas) que debe llevar a cabo el fabricante del cuadro 65
- 12.4 Verificaciones particulares conforme a la norma IEC 61439 66
- 12.5 Otras comprobaciones durante las pruebas ...67
- 12.6 Otros datos sobre la verificación particular del aislamiento 68
- 12.7 Documentación final y conclusión de las pruebas 69

13 Ejemplo de construcción de un cuadro ArTu

- 13.1 Diagrama unifilar 70
- 13.2 Selección de los interruptores automáticos y los conductores externos del cuadro 71
- 13.3 Parte frontal del cuadro de distribución, sistema de distribución y estructura metálica 71
- 13.4 Conformidad con la norma IEC 61439-2.... 73

Anexo A

- Formularios de declaración de conformidad y certificado de pruebas..... 75

Introducción

Un cuadro eléctrico es una combinación de varios dispositivos de protección y maniobra, agrupados en una o más cajas adyacentes (columnas).

En un cuadro es posible distinguir las siguientes partes: una caja, denominada envoltente conforme a las normas (y cuya función es el soporte y la protección mecánica de los componentes que alberga) y el equipamiento eléctrico, formado por los aparatos, las conexiones internas y los terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación.

Como todos los componentes de un sistema eléctrico, los cuadros también deben cumplir las normas correspondientes.

En lo referido a las normas, se ha producido un cambio con la sustitución de la antigua norma IEC 60439-1 por las normas IEC 61439-1 e IEC 61439-2. Estas normas son aplicables a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC).

En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión.

Este cuaderno de aplicaciones técnicas tiene como fin:

1) describir las principales innovaciones y cambios introducidos en las nuevas normas en lo relativo a estructura, definiciones y contenido (por ejemplo, métodos de verificación de cuadros y condiciones de aplicación correspondientes), prestando especial atención a la verificación del rendimiento en cuanto a: límites de sobretensión, resistencia a cortocircuitos y propiedades dieléctricas;

2) proporcionar un documento que incluya información útil para la construcción y certificación de cuadros de baja tensión conforme a las normas IEC 61439.

Este documento está dividido en siete apartados principales;

- introducción y descripción de las nuevas normas IEC 61439;
- definición de las características eléctricas nominales, de los grados IP e IK y de las formas de segregación interna de un cuadro;
- requisitos normativos en cuanto a: sobretensión, resistencia a cortocircuitos y propiedades dieléctricas (distancias de aislamiento);
- requisitos para la protección contra el contacto directo e indirecto;
- instrucciones para la construcción, manipulación, transporte e instalación definitiva de los cuadros;
- propiedades y rendimiento (verificaciones de diseño) de los cuadros y una guía para llevar a cabo verificaciones particulares (certificación del cuadro);
- un ejemplo de selección de productos (interruptores automáticos, conductores, sistema de distribución, embarrados y estructura metálica) para la construcción de cuadros ArTu.

1 Normas relativas a los cuadros de baja tensión y aplicabilidad

La reciente publicación de la nueva norma IEC 61439 ha obligado a cambiar y perfeccionar el concepto de cuadro eléctrico de distribución y maniobra, que había permanecido invariable desde 1990, cuando el concepto de "cuadros montados en fábrica" fue sustituido por CS (cuadros de tipo probado) y CDS (cuadros de tipo parcialmente probado).

La nueva norma sigue considerando que un cuadro es un componente estándar de la instalación, como un interruptor automático o una toma de corriente, aunque está formado por la unión de varios aparatos, agrupados en una o más cajas adyacentes (columnas).

En un cuadro es posible distinguir las siguientes partes: una caja, denominada envoltorio conforme a las normas (y cuya función es el soporte y la protección mecánica de los componentes que alberga), y el equipo eléctrico, formado por los aparatos, las conexiones internas y los terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación.

Este sistema debe ser montado de manera que cumpla los requisitos de seguridad y realice de forma óptima las funciones para las cuales ha sido diseñado.

Como todos los componentes de una instalación eléctrica, los cuadros también deben cumplir las normas correspondientes. Las normas IEC 61439-1 y 2 sobre esta materia han entrado recientemente en vigor a nivel internacional.

Estas normas se aplican a cuadros de baja tensión con una tensión nominal máxima de 1000 V CA o 1500 V CC. IEC 61439-1 establece normas generales para los cuadros de baja tensión, mientras que las demás partes especifican las tipologías concretas de los cuadros y deben ser leídas junto con las normas generales.

Las partes previstas son las siguientes:

- IEC 61439-2: "Cuadros de distribución de potencia y maniobra (cuadros PSC)";
- IEC 61439-3: "Cuadros de distribución" (sustituye a IEC 60439-3);
- IEC 61439-4: "Cuadros para obras" (sustituye a IEC 60439-4);
- IEC 61439-5: "Cuadros para distribución de potencia" (sustituye a IEC 60439-5);
- IEC 61439-6: "Sistemas de canalización para embarrado" (sustituye a IEC 60439-2).

Existen otros dos documentos publicados por IEC, sobre cuadros eléctricos, todavía disponibles:

- la norma IEC 60890, que describe un método de evaluación de sobretensión mediante cálculo;
- la norma IEC 61117, que describe un método para evaluar la resistencia a cortocircuitos mediante cálculo o mediante la aplicación de las normas de diseño.

Este documento, después de estudiar la situación desde el punto de vista de los requisitos y normas, describe los cuadros ArTu conforme a la norma IEC 61439-2.

1.1 Norma IEC 61439-1

Como se ha mencionado anteriormente, el nuevo grupo de normas, identificado por la IEC con el código 61439, está compuesto por la norma básica 61439-1 y las normas específicas que hacen referencia a la tipología de los cuadros. La primera norma aborda las características, propiedades y rendimiento comunes a todos los cuadros, los cuales serán después detallados en las normas específicas relevantes.

Esta es la estructura actual de la nueva norma IEC 61439:

- 1) IEC 61439-1: "Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión - Parte 1: "Reglas generales";
- 2) IEC 61439-2: "Cuadros de distribución de potencia y maniobra";
- 3) IEC 61439-3: "Cuadros de distribución";
- 4) IEC 61439-4: "Cuadros para obras";
- 5) IEC 61439-5: "Cuadros para distribución de potencia en redes públicas";
- 6) IEC 61439-6: "Sistemas de canalización para embarrado".

En lo referido a la declaración de conformidad, cada tipología específica de cuadro deberá ser declarada conforme a la respectiva norma de producto (es decir, que deberá declararse la conformidad de los cuadros PSC con IEC 61439-2, mientras que para los cuadros de distribución deberá declararse su conformidad con IEC 61439-3).

La transición de la anterior norma IEC 60439 a la actual IEC 61439 deberá tener lugar de este modo: La "antigua" norma 60439-1 deberá ser sustituida por las nuevas normas 61439-1 y 2, que ya están disponibles, aunque permanecerá vigente hasta el 31 de octubre de 2014 para cuadros de distribución de potencia y maniobra (también denominados cuadros PSC).

Después de esa fecha, los nuevos cuadros PSC deberán cumplir únicamente las nuevas normas.

El periodo de validez de la norma 60439-1 y las otras normas 60439-X se prolonga hasta 2014 para la construcción de otros cuadros especiales (obras, sistemas de canalización para embarrado, distribución, etc.), dado que por el momento las nuevas normas solamente están previstas pero aún no están disponibles. La norma básica establece los requisitos para la construcción, seguridad y mantenimiento de los cuadros eléctricos identificando las características nominales, condiciones de servicio ambientales,

requisitos mecánicos y eléctricos, así como los requisitos relativos al rendimiento.

La antigua norma, de 1990, dividía los cuadros en dos tipos, CS (cuadros de tipo probado) y CDS (cuadros de tipo parcialmente probado), en función de su conformidad total o parcial con las pruebas de tipo en laboratorio. La nueva norma elimina completamente esta dualidad sustituyéndola por el concepto de cuadro “conforme”, es decir cualquier cuadro que cumpla las verificaciones de diseño impuestas por la norma misma.

Con este fin, la norma introduce tres tipos de verificación distintos pero equivalentes (verificación de diseño) de los requisitos de conformidad de un cuadro; se trata de:

- 1) verificación mediante pruebas en laboratorio (anteriormente denominada pruebas de tipo y ahora verificación mediante pruebas);
- 2) verificación mediante cálculo (empleando algoritmos antiguos y nuevos);
- 3) verificación mediante el cumplimiento de las normas de diseño (análisis y consideraciones independientes de las pruebas; verificación mediante criterios físicos/analíticos o deducciones de diseño).

Las diferentes características (sobretensión, aislamiento, corrosión, etc.) pueden garantizarse empleando cualquiera de estos tres métodos; puede utilizarse uno u otro indiferentemente para garantizar la conformidad.

Debido a que no siempre es posible elegir uno de los tres métodos, la Tabla D.1 del Anexo D de la norma (véase la Tabla 1.1) indica cuál de los tres tipos de verificación puede utilizarse para cada característica.

Tabla 1.1

N.º	Características a verificar	Apartados o subapartados	Opciones de verificación disponibles		
			Verificación mediante pruebas	Verificación mediante cálculo	Verificación mediante cumplimiento de las normas de diseño
1	Resistencia de los materiales y partes del cuadro:	10.2			
	Resistencia a la corrosión	10.2.2	SÍ	NO	NO
	Propiedades de los materiales aislantes:	10.2.3			
	Estabilidad térmica	10.2.3.1	SÍ	NO	NO
	Resistencia de los materiales aislantes al calor normal	10.2.3.2	SÍ	NO	NO
	Resistencia de los materiales aislantes al calor anormal y al fuego causados por efectos eléctricos internos	10.2.3.3	SÍ	NO	NO
	Resistencia a la radiación ultravioleta (UV)				
	Elevación	10.2.4	SÍ	NO	NO
	Impacto mecánico	10.2.4	SÍ	NO	NO
	Marcado	10.2.6	SÍ	NO	NO
		10.2.7	SÍ	NO	NO
2	Grado de protección de las envolventes	10.3	SÍ	NO	SÍ
3	Distancias de aislamiento en aire y superficialmente	10.4	SÍ	SÍ	SÍ
4	Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección:	10.5			
	Continuidad efectiva entre las partes conductoras expuestas del cuadro y el circuito de protección	10.5.2	SÍ	NO	NO
	Efectividad del cuadro con fallos externos	10.5.3	SÍ	SÍ	SÍ
5	Instalación de los aparatos y los componentes de maniobra	10.6	NO	NO	SÍ
6	Circuitos y conexiones eléctricas internas	10.7	NO	NO	SÍ
7	Terminales para conductores externos	10.8	NO	NO	SÍ
8	Propiedades dieléctricas:	10.9			
	Rigidez dieléctrica a frecuencia industrial	10.9.2	SÍ	NO	NO
	Tensión soportada a impulsos	10.9.3	SÍ	NO	SÍ
9	Límites de sobretensión	10.10	SÍ	SÍ	SÍ
10	Resistencia a cortocircuitos	10.11	SÍ	SÍ	SÍ
11	Compatibilidad electromagnética (EMC)	10.12	SÍ	NO	SÍ
12	Funcionamiento mecánico	10.13	SÍ	NO	NO

Como puede observarse, en algunas características, como la resistencia a la corrosión o a los impactos mecánicos, solamente se acepta la verificación mediante pruebas; en otras, como la sobretensión y los cortocircuitos, se aceptan las tres formas de verificación: pruebas, cálculo o normas de diseño.

Otro importante cambio en la nueva norma es una definición más concreta de la figura del fabricante. Existen “dos formas de ser” fabricante: fabricante “original” y fabricante del “cuadro”.

El primero es el responsable de realizar el diseño inicial de la serie a la cual pertenece el cuadro que se va a construir y con este fin ha llevado a cabo las verificaciones de diseño (anteriormente pruebas de tipo) o los cálculos, o bien comprobado las normas de diseño, para abarcar todas las posibles formas de verificar el cuadro.

Es evidente que cuanto más efectivos sean los diseños que el fabricante original pueda “normalizar” y proponer, mayor será la probabilidad de que sus diseños sean construidos y, por lo tanto, obtenga beneficios.

El segundo, el fabricante del “cuadro”, es quien realmente construye el cuadro, es decir, quien obtiene las distintas partes y componentes y los monta del modo requerido, para completar el cuadro, el ensamblado y el cableado empleando una de las posibilidades de diseño ya mencionadas, listas para usar y ofrecidas por el fabricante “original”.

La norma continúa aceptando que algunas fases del montaje de los cuadros también pueden tener lugar fuera del laboratorio o taller del fabricante (en la obra o en una máquina), pero deben cumplirse sus instrucciones.

Desde el punto de vista operativo, los cuadristas y los instaladores, es decir, los fabricantes finales, pueden seguir utilizando del modo habitual productos vendidos en forma de kit e incluidos en los catálogos de los fabricantes “originales” para montarlos en los cuadros de acuerdo al modo que precisen.

En resumen, el fabricante “original” deberá:

- diseñar (calcular, diseñar y ejecutar) la gama de cuadros deseada;
- probar varios prototipos pertenecientes a esa gama de cuadros;
- superar las pruebas para demostrar la conformidad con los requisitos obligatorios de la norma;
- derivar de las pruebas otras configuraciones mediante cálculo u otras evaluaciones o mediciones;
- añadir otras configuraciones obtenidas sin pruebas gracias a “normas de diseño” adecuadas;
- recopilar toda la información anteriormente descrita y ponerla a disposición del cliente final mediante catálogos, reglas de cálculo o software, de modo que pueda construir el nuevo cuadro, utilizarlo y gestionarlo de la mejor manera posible, llevando a cabo los controles y mantenimiento adecuados.

La lista de verificaciones de diseño requerida por la norma bajo la responsabilidad del fabricante “original”, quien, conforme a la Tabla 1.1, deberá decidir cómo las lleva a cabo, es la siguiente:

Verificación de las características relativas a la construcción:

- Resistencia de los materiales y partes del cuadro;
- Grados de protección IP del cuadro;
- Distancias de aislamiento (en aire y superficialmente);
- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección;
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra;
- Circuitos y conexiones eléctricas internas;
- Terminales para conductores externos.

Verificación de las características relativas al rendimiento:

- Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica a 50 Hz y tensión soportada a impulsos);
- Verificación de los límites de sobretensión;
- Resistencia a cortocircuitos;
- Compatibilidad electromagnética (EMC);
- Funcionamiento mecánico.

Por su parte, el fabricante del “cuadro” será responsable de:

- seleccionar e instalar los componentes cumpliendo fielmente las instrucciones proporcionadas;
- la ejecución de la verificación particular de cada cuadro fabricado;
- la certificación del cuadro.

La lista de pruebas particulares requeridas por la norma bajo la responsabilidad del fabricante del “cuadro” es la siguiente:

Características relativas a la construcción:

- Grados de protección IP de la envolvente;
- Distancias de aislamiento (en aire y superficialmente);
- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección;
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra;
- Circuitos y conexiones eléctricas internas;
- Terminales para conductores externos;
- Funcionamiento mecánico.

Características relativas al rendimiento:

- Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica a 50 Hz y tensión soportada a impulsos);
- Cableado y rendimiento en servicio.

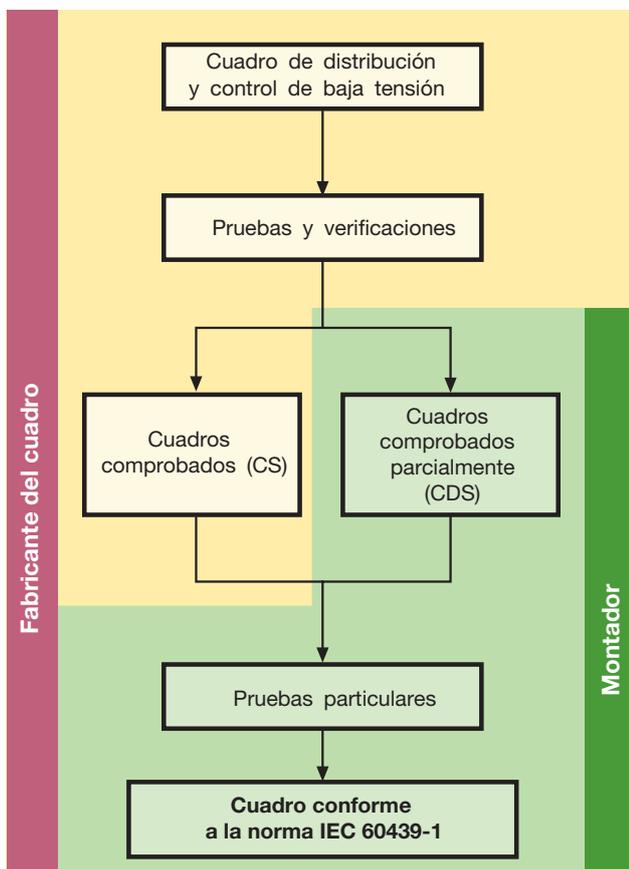
Estas verificaciones pueden llevarse a cabo en cualquier orden.

El hecho de que las verificaciones particulares sean llevadas a cabo por el fabricante del “cuadro” no exime al instalador de verificarlos después del transporte e instalación del cuadro.

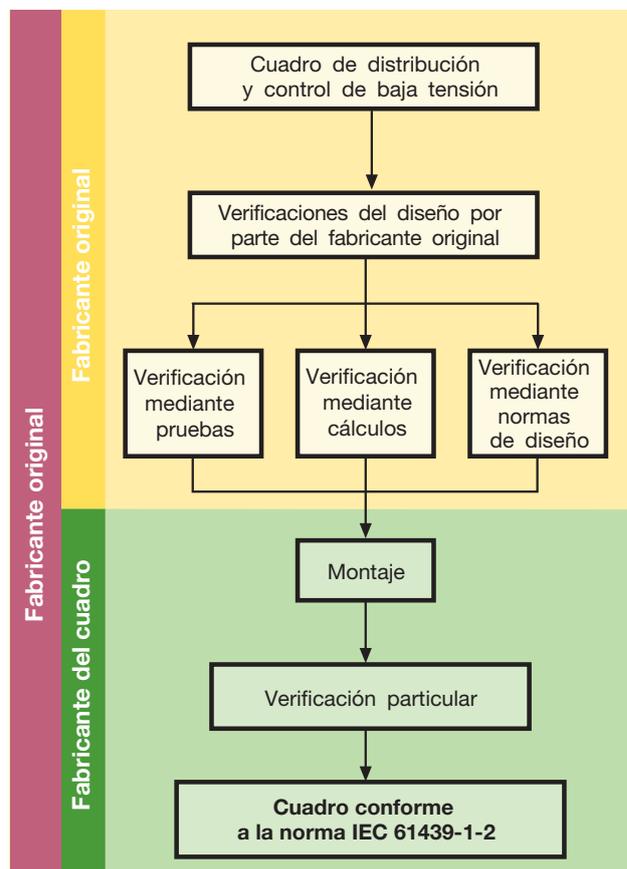
Los principales cambios y novedades, introducidos por la norma IEC 61439 con respecto a la anterior IEC 60439, pueden resumirse en los diagramas de la Figura 1.1:

Figura 1.1

Norma IEC 60439-1



Norma IEC 61439-1-2



2 Características eléctricas nominales de un cuadro

Tensión nominal (U_n)

Valor nominal máximo de tensión de CA (rms) o de CC, declarado por el fabricante del cuadro, a la cual el circuito o circuitos principales del cuadro está o están diseñados para conectarse. En circuitos trifásicos es la tensión entre fases.

Tensión nominal de empleo (U_e)

Tensión nominal del circuito de un cuadro que, combinada con la intensidad nominal del circuito, determina su aplicación. En circuitos trifásicos, esta tensión equivale a la tensión entre fases.

En un cuadro normalmente hay un circuito principal, con su propia tensión nominal, y uno o más circuitos auxiliares con sus respectivas tensiones nominales.

El fabricante deberá indicar los límites de tensión a respetar para el correcto funcionamiento de los circuitos del interior del cuadro.

Tensión nominal de aislamiento (U_i)

Valor de tensión del circuito de un cuadro al que hacen referencia las tensiones de prueba (rigidez dieléctrica) y

las distancias de aislamiento superficiales. La tensión nominal de cada circuito no deberá superar la tensión nominal de aislamiento.

Tensión nominal soportada a impulsos (U_{imp})

Valor máximo de un impulso de tensión que el circuito de un cuadro puede resistir en condiciones específicas y al cual hacen referencia los valores de las distancias de aislamiento en aire. Debe ser igual o mayor que los valores de las sobretensiones transitorias que se producen en el sistema en el cual se instala el cuadro.

Con este fin, la norma IEC 61439-1 proporciona dos tablas:

- La Tabla G.1 (véase la Tabla 2.1) muestra los valores preferentes de la tensión nominal soportada a impulsos en los diferentes puntos de la instalación como función de la tensión de empleo a tierra;
- La Tabla 10 (véase la Tabla 2.2) proporciona los valores de tensión de prueba correspondientes a la tensión soportada a impulsos como función de la altitud a la cual se realizan las pruebas.

Tabla 2.1

Correspondencia entre la tensión nominal del sistema de alimentación y la tensión nominal soportada a impulsos, en el caso de la protección contra sobretensiones con dispositivos de protección contra sobretensiones conforme a la norma IEC 60099-1

Valor máximo de la tensión nominal de empleo a tierra en CA (valor rms) o de CC	Tensión nominal del sistema de alimentación (\leq tensión nominal de aislamiento del equipo) V				Valores preferentes de tensión nominal soportada a impulsos (1,2/50 μ s) a 2000 m kV			
	 Valor de CA rms	 Valor de CA rms	 Valor de CA rms o de CC	 Valor de CA rms o de CC	Categoría de sobretensión			
					IV	III	II	I
V					Nivel al origen de instalación (entrada de servicio)	Nivel del circuito de distribución	Nivel de la carga (equipos eléctricos)	Nivel especialmente protegido
50	-	-	12,5, 24, 25, 30, 42, 48	-	1,5	0,8	0,5	0,33
100	66/115	66	60	-	2,5	1,5	0,8	0,5
150	120/208 127/220	115, 120 127	110, 120	220-110, 240-120	4	2,5	1,5	0,8
300	220/380 230/400 240/415 260/440 277/480	220, 230 240, 260 277	220	440-220	6	4	2,5	1,5
600	347/600 380/660 400/690 415/720 480/830	347, 380, 400 415, 440, 480 500, 577, 600	480	960-480	8	6	4	2,5
1000	-	660 690, 720 830, 1000	1000	-	12	8	6	4

Tabla 2.2

Tensión nominal soportada a impulsos U_{imp} kV	Tensiones soportadas a impulsos									
	U1, 2/50, CA pico y CC kV					Valor de CA rms kV				
	Nivel del mar	200 m	500 m	1000 m	2000 m	Nivel del mar	200 m	500 m	1000 m	2000 m
2,5	2,95	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2	2	1,9	1,8
4	4,8	4,8	4,7	4,4	4	3,4	3,4	3,3	3,1	2,8
6	7,3	7,2	7	6,7	6	5,1	5,1	5	4,7	4,2
8	9,8	9,6	9,3	9	8	6,9	6,8	6,6	6,4	5,7
12	14,8	14,5	14	13,3	12	10,5	10,3	9,9	9,4	8,5

Intensidad nominal del cuadro (I_{nA})

Se trata de una nueva característica introducida por la norma IEC 61439 que normalmente indica la corriente de carga de entrada máxima permanente y permitida o bien la corriente máxima que un cuadro puede resistir. En cualquier caso deberá poder resistir la intensidad nominal, siempre que se cumplan los límites de sobretensión indicados por la norma.

Intensidad nominal de un circuito (I_{nC})

Es el valor de corriente que puede ser transportado por un circuito sin que la sobretensión, de las diversas partes del cuadro, supere los límites especificados conforme a las condiciones de prueba del apartado 7.

Intensidad nominal de corta duración (I_{cW})

Valor rms de la corriente durante la prueba de cortocircuito durante 1 segundo; este valor, declarado por el fabricante, no provoca la apertura del dispositivo de protección y es el valor que el cuadro puede resistir sin sufrir daños en condiciones específicas, definidas en términos de corriente y tiempo. Es posible asignar valores I_{cW} diferentes a un cuadro para distintos periodos de tiempo (por ejemplo, 0,2 o 3 segundos).

Intensidad nominal de pico admisible (I_{pK})

Valor pico de la corriente de cortocircuito declarado por el fabricante del cuadro que éste es capaz de resistir en las condiciones especificadas.

Intensidad nominal de cortocircuito condicional (I_{cC})

Valor eficaz rms de una posible corriente de cortocircuito, declarada por el fabricante, que ese circuito, equipado con un dispositivo de protección contra cortocircuito

especificado por el fabricante, puede resistir satisfactoriamente durante el tiempo de servicio del dispositivo en las condiciones de prueba especificadas.

Factor nominal de contemporaneidad (RDF)

Valor, por unidad de la intensidad nominal, asignado por el fabricante del cuadro al cual pueden estar cargados, de forma continua y simultánea, los circuitos de salida de un cuadro, teniendo en cuenta las mutuas influencias térmicas. El factor nominal de contemporaneidad puede indicarse:

- para grupos de circuitos;
- para todo el cuadro.

El factor nominal de contemporaneidad es igual a:
$$\frac{\sum I_b}{\sum I_n}$$

El factor nominal de contemporaneidad, multiplicado por la intensidad nominal de los circuitos (I_n), debe ser igual o mayor que la carga estimada de los circuitos de salida (I_b).

El factor nominal de contemporaneidad se aplica a los circuitos de salida del cuadro y demuestra que es posible cargar parcialmente varias unidades funcionales.

Cuando el fabricante indica un factor nominal de contemporaneidad, dicho factor deberá utilizarse para la prueba de sobretensión; en caso contrario deberá hacerse referencia a los valores recomendados en el Anexo E de la norma 61439-1.

Frecuencia nominal

Valor de frecuencia al cual se hace referencia en las condiciones de funcionamiento. Si los circuitos de un cuadro han sido diseñados para distintos valores de frecuencia, deberá indicarse la frecuencia nominal de cada circuito.

3 Clasificación de los cuadros eléctricos

Los cuadros eléctricos pueden clasificarse en función de diversos criterios: tipología de construcción, diseño externo, condiciones de instalación o función realizada.

3.1 Cuadros de tipo abierto y cerrado

De acuerdo con la tipología de su construcción, la norma IEC 61439-1 distingue entre cuadros de tipo abierto y de tipo cerrado.

- Cuadro de tipo cerrado

Un cuadro es cerrado cuando está rodeado por paneles protectores por todos sus lados con el fin de proporcionar un grado de protección contra el contacto directo no inferior a IPXXB (véase el Capítulo 4). Los cuadros destinados a su instalación en entornos comunes deberán ser del tipo cerrado.

- Cuadro de tipo abierto

Un cuadro, con o sin cubierta frontal, en el que las piezas con tensión del equipo eléctrico son accesibles. Estos cuadros solamente pueden ser utilizados en lugares donde sean accesibles para personal cualificado.

3.2 Diseño externo

Desde el punto de vista del diseño externo, los cuadros se dividen en:

- Tipo armario (columna)

Se utilizan para grandes equipos de distribución y control; los cuadros multiarmario, formados por varios armarios unidos mecánicamente, se forman combinando varios cuadros de tipo armario adyacentes.

- Tipo pupitre

Se utilizan para controlar máquinas o instalaciones complejas en la industria mecánica, siderometalúrgica o química.

- Tipo caja

Destinados a su instalación en un plano vertical (pared), sea sobresaliendo o empotrado; estos cuadros se utilizan principalmente para la distribución en departamentos o áreas en entornos industriales o del sector servicios.

- Tipo multicaja

Una combinación de cajas, generalmente del tipo protegido y con bridas de sujeción, cada una de las cuales alberga una unidad funcional que puede ser un interruptor automático, un arrancador o un conector acompañado de un interruptor automático de bloqueo o protección. De este modo se crea una serie de compartimentos, unidos mecánicamente entre sí con o sin una estructura de soporte común; las conexiones eléctricas entre dos cajas contiguas se realizan a través de aberturas en las caras adyacentes.

3.3 Condiciones de instalación

En función de las condiciones de instalación, los cuadros pueden dividirse en:

- Cuadro para instalación en interior

Cuadro diseñado para su uso en lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales para uso en interior especificados en la norma IEC 61439-1, es decir:

Condiciones ambientales para instalación en interior

Tabla 3.1

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
50% (a una temperatura máxima de 40 °C)	Temperatura máxima \leq 40 °C	2000 m como máximo
90% (a una temperatura máxima de 20 °C)	Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h \leq 35 °C	
	Temperatura mínima \geq -5 °C	

- Cuadro para instalación en exterior

Cuadro diseñado para usar en lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales para uso en exterior especificados en la norma IEC 61439-1, es decir:

Condiciones ambientales para instalación en exterior

Tabla 3.2

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
100% temporalmente (a una temperatura máxima de 25 °C)	Temperatura máxima ≤ 40 °C	2000 m como máximo
	Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h ≤ 35 °C	
	Temperatura mínima ≥ -25 °C en clima templado	
	Temperatura mínima ≥ -50 °C en clima ártico	

- Cuadro fijo

Cuadro diseñado para ser fijado en su lugar de instalación, sobre el suelo o una pared, por ejemplo, y para ser utilizado en ese lugar.

- Cuadro móvil

Cuadro diseñado para ser fácilmente trasladado de un lugar a otro.

Estos cuadros incluyen una o más unidades de entrada, interruptores de acoplamiento de barras y un número relativamente reducido de unidades de salida.

- Cuadros secundarios de distribución

Los cuadros secundarios de distribución incluyen una amplia categoría de cuadros destinados a la distribución de la energía y normalmente están equipados con una unidad de entrada y varias unidades de salida.

- Cuadros de control de motores

Los cuadros de control de motores están destinados al control y protección centralizada de motores. Por esta razón incluyen el equipo coordinado de maniobra y protección relevante, así como equipos de control auxiliar y señalización. También se denominan Centros de control de motores (Motor Control Center, MCC)

- Cuadros de control, medición y protección

Los cuadros de control, medición y protección están compuestos normalmente por pupitres que contienen principalmente equipos para el control, maniobra y medición de instalaciones y procesos industriales.

- Cuadros integrados a la máquina

Los cuadros integrados, también denominados cuadros de automatización, se asemejan a los anteriores desde el punto de vista funcional; están destinados a actuar como interfaz entre la fuente de alimentación y el operador. La serie de normas IEC 60204 establece otros requisitos para cuadros que forman parte integral de la máquina.

- Cuadros para obras

Los cuadros para obras tienen distintos tamaños, desde unidades sencillas con una toma hasta cuadros de distribución en envoltorio metálica o en material aislante.

Estos cuadros normalmente son móviles o transportables.

3.4 Clasificación funcional

Dependiendo de las funciones a las cuales están destinados, pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- Cuadros primarios de distribución

Los cuadros primarios de distribución, también denominados Cuadros de potencia (Power Centers, PC) normalmente se encuentran en el lado de carga de los transformadores MT/BT o de los generadores.

4 Grado de protección IP del cuadro

El código IP indica el grado de protección proporcionado por la envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la introducción de objetos sólidos extraños y contra la entrada de agua.

El código IP es el sistema de identificación de los grados de protección conforme a los requisitos de la norma IEC 60529.

La tabla siguiente muestra, en detalle, el significado de las distintas cifras y letras.

Figura 4.1

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

IP 6 5 C H

Tabla 4.1

	Protección del equipo	Contra el acceso a piezas peligrosas con:
Primera cifra característica (entrada de cuerpos sólidos extraños)	0	no protegido
	1 \geq 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 \geq 1 mm de diámetro	cable
	5 protegido contra el polvo	cable
Segunda cifra característica (entrada de agua)	6 totalmente protegido contra el polvo	cable
	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 (similar 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	

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

Las letras adicionales solo se utilizan:

- 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 aberturas de forma adecuada o de distancias internas en el interior de la envolvente.

4.1 Grado de protección IP de los cuadros ArTu

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.

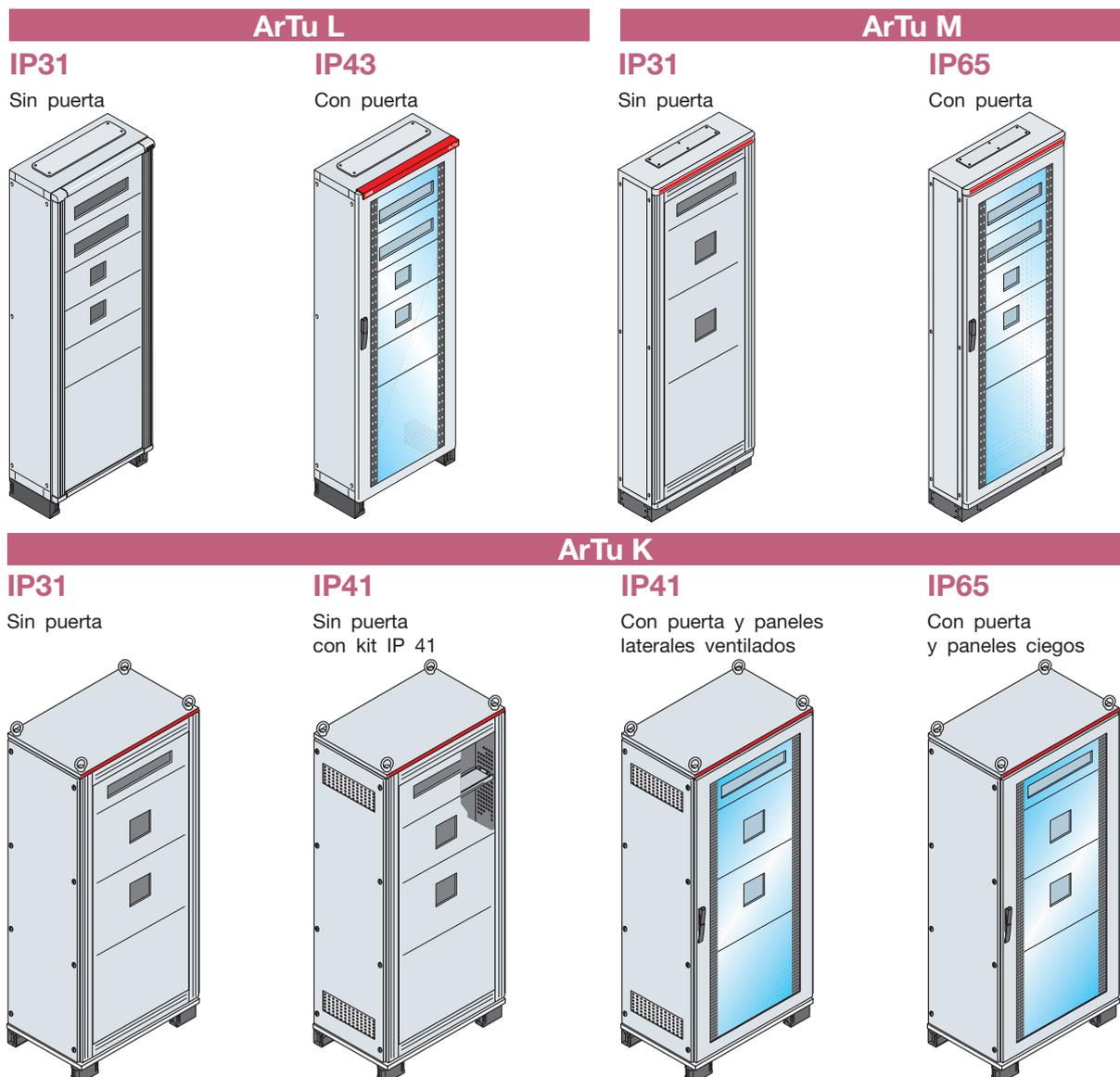
Para los cuadros destinados a instalación en interior, en entornos sin riesgo de entrada de agua, la norma

requiere, como mínimo, los siguientes grados de protección: IP 00, IP 2X, IP 3X, IP 4X, IP 5X, IP 6X.

Para cuadros cerrados, el grado de protección IP deberá ser $\geq 2X$ después de la instalación, conforme a las instrucciones proporcionadas por el fabricante del cuadro. El grado IP en la parte frontal y la parte posterior deberá ser, como mínimo, igual a IP XXB. En lo relativo a los cuadros destinados a instalación en exterior y sin protección adicional, la segunda cifra del código IP deberá ser, como mínimo, igual a 3.

A continuación se exponen los grados de protección que pueden obtenerse con los cuadros ABB ArTu.

Figura 4.2



4.2 Grado de protección IP y entorno de instalación

Actualmente no existe ninguna norma que relacione el grado de protección IP con el entorno de instalación de los cuadros, excepto en el caso de entornos especiales con riesgo de explosión (CEI 64-2).

Tabla 4.2

Factorías industriales	IP 31-41	IP 43	IP 65
acumuladores (fabricación)		•	
ácidos (fabricación y almacenamiento)		•	
bebidas alcohólicas (almacenamiento)		•	
alcohol (fabricación y almacenamiento)		•	
aluminio (fabricación y almacenamiento)			•
animales (crianza)			•
alquitrán para asfalto (almacenamiento)		•	•
fábricas de cerveza		•	•
cal (hornos)			•
carbón (almacenes)			•
combustibles (fabricación y almacenamiento)			•
papel (almacenamiento)	•		
papel (fabricación)		•	•
papel (preparación de la pulpa)			•
cartón (fabricación)		•	
líneas de embotellado			•
alquitrán (tratamiento)		•	
canteras			•
celulosa (fabricación de objetos)	•		
celulosa (fabricación)			•
cementeras			•
cloro (fabricación y almacenamiento)		•	
plantas de carbonización			•
pegamentos (fabricación)		•	
líquidos combustibles (almacenamiento)		•	
curtidurías			•
fertilizantes (fabricación y almacenamiento)			•
cromado (fábricas de)		•	
decapado			•
detergentes (fabricación)			•
destilerías		•	
electrólisis		•	
explosivos (fabricación y almacenamiento)			•
ebanistería			•
ferretería (fabricación)	•		
hierro (fabricación y tratamiento)			•
hilaturas			•
fabricación de queso			•
gas (fábricas y almacenamiento)	•		
yeso (fabricación y almacenamiento)			•
gomaespuma (fabricación y transformación)			•
cereales (fábricas y almacenamiento)			•
grasas (tratamiento de cuerpos grasos)			•
hidrocarburos (extracción)		•	•
tintas (fabricación)	•		

A modo ilustrativo, la tabla siguiente, extraída de la Guía UTE C 15-103, muestra la relación entre el entorno y los grados de protección de los cuadros ABB de la serie ArTu.

Debe tenerse en cuenta que los cuadros ArTu fabricados por ABB están destinados a la instalación en interior.

Factorías industriales	IP 31-41	IP 43	IP 65
grabado de metales		•	
lana (cardadura)			•
explotaciones lecheras			•
lavanderías		•	•
lavanderías públicas			•
madera (ebanistería)			•
líquidos halógenos (uso)	•		
líquidos inflamables (almacenamiento y uso)	•		
licores (fabricación)	•		
máquinas (salas de máquinas)	•		
carniceros			•
magnesio (fabricación, procesamiento y almacenamiento)	•		
materiales plásticos (fabricación)			•
mataderos			•
ladrillos (fábrica)			•
metales (tratamiento de metales)		•	
motores térmicos (pruebas)	•		
munición (polvorines)		•	
níquel (tratamiento de minerales)		•	
petróleo (extracción)	•		
cuero (fabricación y almacenamiento)	•		
peletería (separación)			•
pintura (fabricación y almacenamiento)		•	
fábrica de pólvora			•
sustancias químicas (fabricación)	•		•
perfumes (fabricación y almacenamiento)	•		
refinerías petrolíferas			•
cobre (tratamiento de minerales)	•		
residuos (tratamiento)			•
soldaduras		•	
fábricas de embutidos			•
jabones (fabricación)	•		
aserraderos			•
seda y pelo (preparación)			•
silos de grano o azúcar			•
sosa (fabricación y almacenamiento)		•	
tejidos (fabricación)			•
fábricas de teñido			•
imprentas	•		
pinturas (fabricación y almacenamiento)		•	
prendas de ropa (depósitos)	•		
vidrierías		•	
cinc (procesamiento del zinc)	•		
azufre (tratamiento)			•
refinerías de azúcar			•

4.3 Grado de protección IP y sobretemperatura

El grado de protección de un cuadro influye en su capacidad para disipar el calor: cuanto mayor sea el grado de protección, menos calor disipa el cuadro. Por esta razón es aconsejable utilizar un grado de protección adecuado para el entorno de instalación.

Al utilizar, por ejemplo, un cuadro del tipo ArTu K con puerta y paneles laterales ventilados, se obtiene un grado de protección equivalente a IP 41, mientras que si se emplean paneles laterales ciegos, el grado es IP 65.

Ambos cuadros garantizan el acceso a los interruptores automáticos mediante la puerta frontal, pero el cuadro con paneles laterales ventilados dispone de mejor ventilación que el cuadro con paneles laterales ciegos. Por lo tanto, es preferible utilizar el primero si el entorno de instalación lo permite.

4.4 Grado de protección IP de las partes desmontables

Es posible extraer partes móviles de un cuadro instalado en dos casos diferentes:

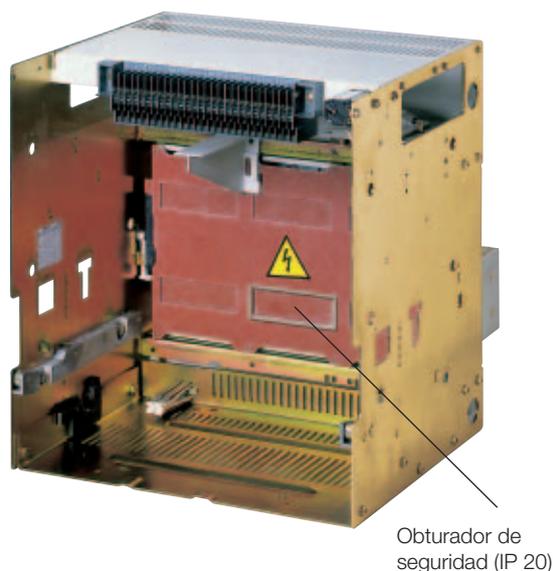
- 1) la extracción de una parte desmontable de un componente (por ejemplo: interruptor automático o interruptor seccionador extraíbles o portafusibles) para su reparación, control o mantenimiento;
- 2) la extracción de una parte fija, como bridas, paneles, cubiertas o zócalos, para realizar trabajos eléctricos, como la incorporación de nuevas líneas de entrada o salida o la sustitución de los cables existentes.

En el primer caso deberá mantenerse el mismo grado IP que antes de la extracción, que generalmente es IP 2X;

los obturadores de seguridad, situados en la parte fija de los interruptores de bastidor abierto extraíbles, permiten cumplir este requisito (véase la Figura 4.3). Si el grado IP fuera mayor (por ejemplo, IP 44, IP 55 u otro), la parte extraída se encontraría en el interior de la envolvente, por lo que, una vez cerrada de nuevo, recuperaría ese grado.

En el caso de los trabajos eléctricos, si no se mantuviera el grado de protección original tras la extracción de una parte fija mediante una herramienta, se deben adoptar las medidas adecuadas - como se especifica EN 50110-1 y en las normas nacionales correspondientes - con objeto de garantizar un nivel de seguridad adecuado para los operadores.

Figura 4.3



Obturador de seguridad (IP 20)

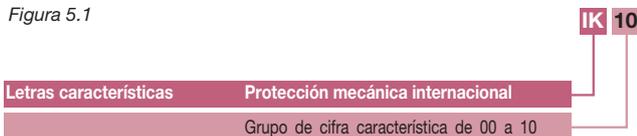
5 Grado de protección IK de las envolventes

El grado IK indica el nivel de protección que proporciona la envolvente al equipo contra daños causados por impactos mecánicos y se verifica mediante métodos de prueba normalizados.

El código IK es el sistema de códigos empleado para indicar el grado de protección garantizado contra el daño causado por impactos mecánicos conforme a los requisitos de la norma IEC 62262 de 2002.

El grado de protección de la envolvente contra los impactos se indica por medio del código IK del modo siguiente:

Figura 5.1



Cada grupo numérico característico representa un valor de energía de impacto, tal y como se indica en la tabla 5.1.

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.

5.1 Grado de protección IK de los cuadros ArTu

En lo que se refiere a los cuadros ArTu, el grado de protección IK es válido para todo el cuadro, montado e instalado según su uso habitual (con puerta cerrada).

Tabla 5.1

Relación entre el grado de protección IK y la energía de impacto											
Código IK	IK 00	IK 01	IK 02	IK 03	IK 04	IK 05	IK 06	IK 07	IK 08	IK 09	IK 10
Energía de impacto (en joules)	(*)	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

(*) No protegido según la norma

A continuación se expone el grado de protección contra los impactos mecánicos externos (código IK) de los cuadros de la serie ArTu.

Figura 5.2

IK 08

300mm

1,7 kg

ArTu L

Energía de impacto
5 Joules

IK 09

200mm

5 kg

ArTu M - K

Energía de impacto
10 Joules

Con puerta transparente

IK 10

400mm

5 kg

ArTu M - K

Energía de impacto
20 Joules

Con puerta ciega

6 Formas de segregación interna

La forma de segregación es el tipo de subdivisión prevista en el interior del cuadro.

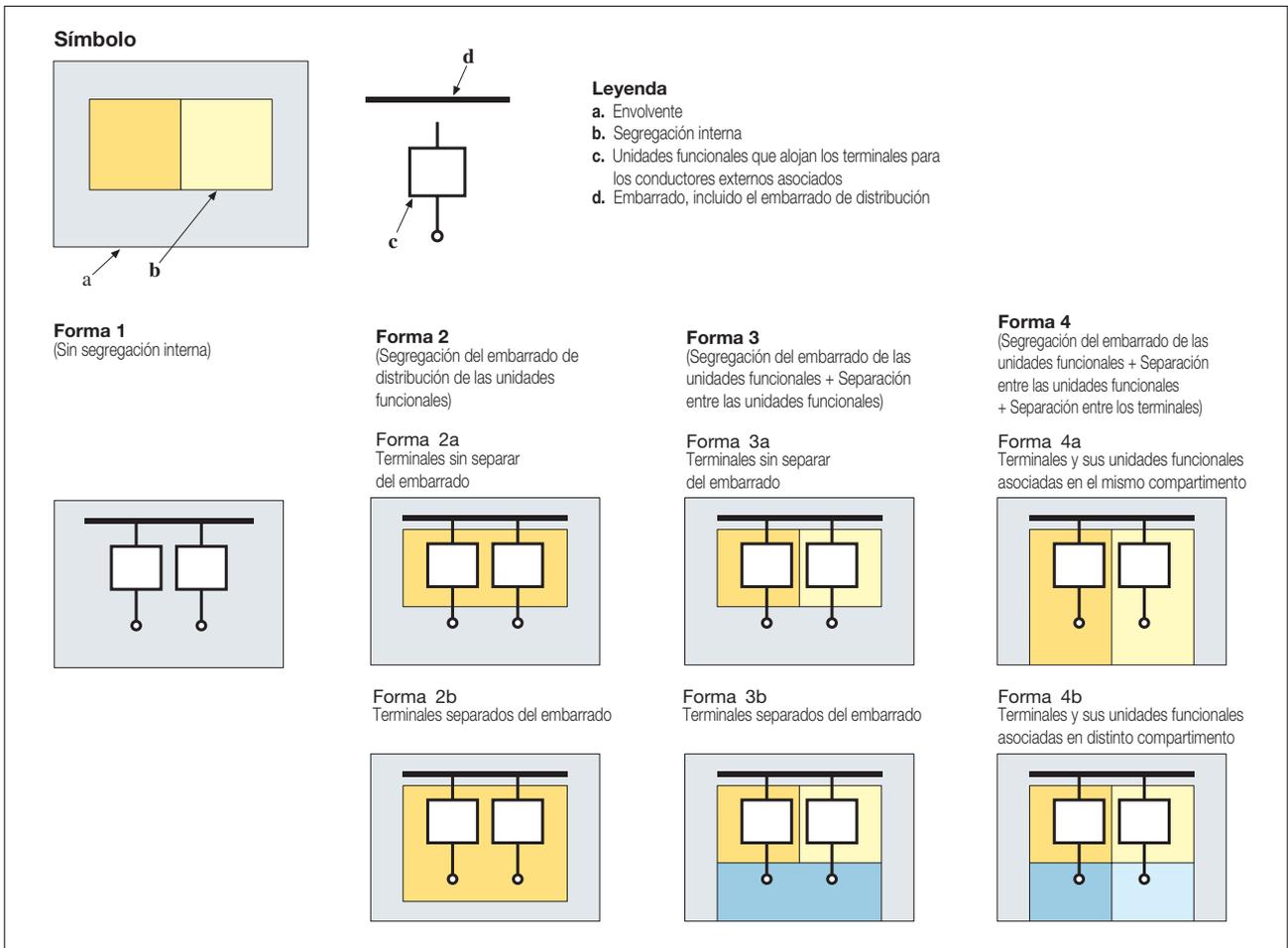
La segregación mediante barreras o tabiques (metálicos o aislantes) está destinada a:

- garantizar la protección contra los contactos directos (al menos IP XXB), 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 IP 2X).

Un tabique 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 61439-2, revela las formas típicas de segregación que pueden obtenerse mediante el uso de barreras o tabiques:

Tabla 6.1



Empleando un kit adecuado, los cuadros ABB del tipo ArTu K pueden disponer de las siguientes formas de segregación:

- Forma 1** (sin segregación interna)
- Forma 2** (incluye las formas 2a y 3a de la norma)
- Forma 3** (incluye la forma 3b de la norma)
- Forma 4** (incluye la forma 4b de la norma)

7 Verificación de los límites de sobretemperatura en el interior de un cuadro

7.1 Introducción

La verificación de los límites de sobretemperatura impuestos por la norma IEC 61439-1 pueden realizarse conforme a uno o más de los siguientes métodos:

- prueba de verificación con corriente (en laboratorio);
- deducción de las normas de diseño;
- cálculo algebraico.

En realidad, la norma IEC 61439-1 requiere la conformidad con los mismos límites de sobretemperatura de la

versión anterior, que no deben ser superados durante la prueba. Dichos límites de sobretemperatura se aplican considerando una temperatura ambiente que no debe superar los +40 °C, con un valor medio durante un periodo de 24 horas no superior a +35 °C.

La Tabla 7.1, a continuación, muestra los límites de sobretemperatura dictados por la norma para los diferentes componentes del cuadro.

Tabla 7.1

Partes del cuadro	Sobretemperatura (K)
Componentes incorporados ^{a)}	(*) Conforme a los requisitos de la norma relevantes para los componentes individuales o conforme a las instrucciones del fabricante (f), teniendo en cuenta la temperatura en el interior del cuadro.
Terminales para conductores externos aislados	70 ^{b)}
Embarrados y conductores	Limitada por: <ul style="list-style-type: none"> - resistencia mecánica del material conductor ^{g)}; - posibles efectos sobre el equipo adyacente; - límite de temperatura admisible de los materiales aislantes en contacto con el conductor; - el efecto de la temperatura del conductor sobre los aparatos conectados a éste; - para contactos enchufables, la naturaleza y el tratamiento superficial del material de contacto.
Elementos de mando manuales:	
- de metal	15 ^{c)}
- de material aislante	25 ^{c)}
Envoltentes y cubiertas externas accesibles:	
- superficies metálicas	30 ^{d)}
- superficies aislantes	40 ^{d)}
Conexiones particulares del tipo macho y hembra	Determinada por los límites de los componentes del mecanismo del que forman parte ^{e)}

^{a)} El término "componentes incorporados" significa:

- aparatos convencionales de protección y de maniobra;
- subsistemas electrónicos (por ejemplo, puente rectificador o circuito impreso);
- partes del equipo (por ejemplo, regulador, unidad de alimentación estabilizada o amplificador operacional).

^{b)} El límite de sobretemperatura de 70 K es un valor basado en la prueba convencional según 10.10. Un cuadro utilizado o probado en las condiciones de instalación podría tener conexiones cuyo tipo, naturaleza y disposición no sean los mismos que los empleado para la prueba, y ello podría resultar en una sobretemperatura distinta de los terminales, la cual podría ser requerida o aceptada. Cuando los terminales de los componentes incorporados son también los terminales para los conductores externos aislados, se aplicará el límite de sobretemperatura más bajo.

^{c)} Para los elementos de mando manuales instalados en el interior de los cuadros, accesibles sólo abriendo el cuadro como, por ejemplo, asas de extracción, de uso poco frecuente, se admite un aumento de 25 K en los límites de sobretemperatura.

^{d)} A menos que se especifique lo contrario, en el caso de cubiertas y envoltentes que son accesibles pero no exigen ser manipuladas durante el servicio normal, se admite un aumento de 10 K en estos límites de sobretemperatura. Las superficies externas y las partes situadas a más de 2 m de altura desde la base del cuadro se consideran inaccesibles.

^{e)} Esto permite un grado de flexibilidad con respecto al equipo (por ejemplo, dispositivos electrónicos) sujeto a límites de sobretemperatura diferentes de los normalmente atribuidos a los aparatos de protección y maniobra.

^{f)} Para las pruebas de sobretemperatura según 10.10, los límites de sobretemperatura deben ser especificados por el fabricante original teniendo en cuenta cualquier punto de medición adicional y los límites impuestos por el fabricante de los componentes.

^{g)} Suponiendo que todos los demás criterios descritos se cumplan, se establece como sobretemperatura máxima 105 K para los embarrados y conductores de cobre descubiertos.

Nota: Estos 105 K hacen referencia a la temperatura más allá de la cual el cobre se recocería. Otros materiales pueden tener un límite de sobretemperatura máxima distinto.

(*) En el caso de los interruptores automáticos instalados en cuadros, los límites de sobretemperatura son los siguientes:

- 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 siempre hace referencia a una temperatura ambiente en el exterior del cuadro de 35 °C).

Figura 7.1

Conexión con embarrado

85K

Conexión con cable aislado con PVC

70K



7.2 Verificación térmica del cuadro

El objetivo de este documento es proporcionar a los cuadristas que utilizan cuadros ABB una ayuda para verificar la sobretemperatura en el interior de los cuadros conforme a los criterios de la norma IEC 61439.

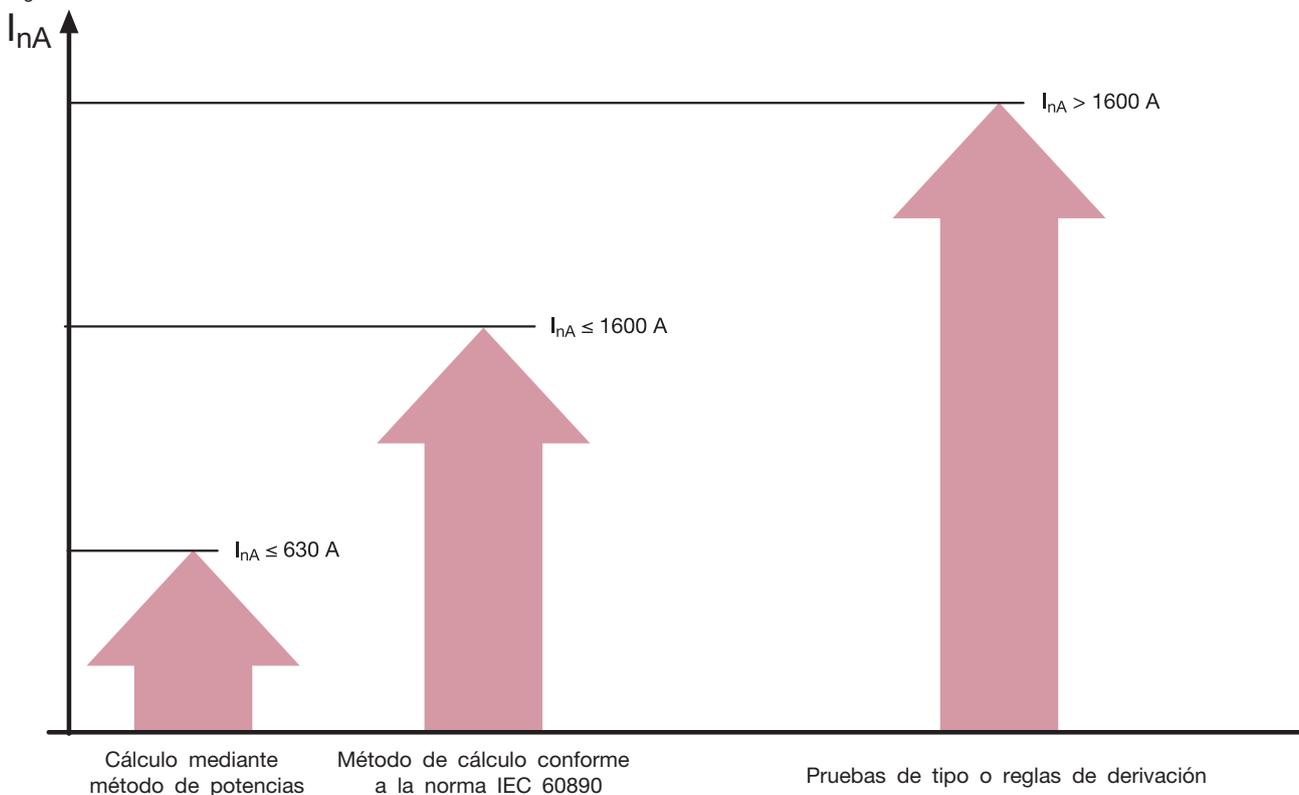
En lo referido a los límites de sobretemperatura, desde el punto de vista de la certificación del cuadro, es posible seguir uno de los tres nuevos procedimientos disponibles, especialmente:

- 1) la prueba de verificación (anteriormente denominada prueba de tipo), en la cual la sobretemperatura alcanzada y mantenida en condiciones de servicio se mide en puntos predefinidos en el interior de los cuadros prototipo probados con corriente en el laboratorio. Estos valores se comparan con los permitidos (mostrados en la Tabla 7.1); si los valores medidos son inferiores o iguales a los permitidos, la prueba se considera superada con esos valores de corriente y en las condiciones determinadas en ésta (temperatura ambiente, humedad, etc.);
- 2) la derivación (desde un cuadro cableado verificado) para variantes similares; este procedimiento, aplicable solamente si se dispone de datos obtenidos mediante pruebas, define el modo de verificar las variantes de cuadros de diseño similar ya comprobados. Los cuadros derivados se consideran conformes si, comparados con los cuadros comprobados, tienen:
 - unidades funcionales del mismo tipo (por ejemplo, mismos diagramas eléctricos, aparatos del mismo tamaño, misma disposición y sujeción, idéntica estructura de montaje y mismos cables y cableado) que las unidades utilizadas en la prueba;
 - el mismo tipo de construcción que la unidad utilizada en la prueba;
 - dimensiones externas idénticas o mayores que las de la unidad utilizada en la prueba;
 - condiciones de refrigeración idénticas o mayores que las de la unidad utilizada en la prueba (convección forzada o natural, aberturas de ventilación iguales o más amplias);
 - segregación interna idéntica o menor a la de la unidad utilizada en la prueba (si existe);
 - pérdidas de potencia idénticas o menores en la misma sección que en la unidad utilizada en la prueba;
 - número de circuitos de salida idéntico o menor en cada sección.
- 3) verificación de la sobretemperatura mediante cálculo. En este caso no se tienen en cuenta las pruebas en laboratorio y se emplean algoritmos matemáticos de tipo termodinámico, empleados desde hace años

por los cuadristas. Existen dos métodos de cálculo puro, diferentes e independientes el uno del otro y que constituyen una alternativa a las pruebas. Son los siguientes:

- a) el conocido como “método de potencias” se basa en no sobrepasar el límite superior de capacidad de pérdida de potencia térmica en una envolvente concreta. Para establecer el valor de las pérdidas, en vatios, se simula la sobretemperatura en el cuadro vacío introduciendo varias resistencias de calentamiento regulables que hacen que la envolvente alcance su estabilidad térmica. Una vez alcanzada la estabilidad térmica y después de verificar que la sobretemperatura está dentro de los límites tabulados (ver tabla 7.1) es posible obtener el valor máximo de la pérdida de potencia térmica. Este método tiene algunas limitaciones, especialmente en lo referido a cuadros de aparatos de protección:
 - con un solo compartimento y una corriente máxima de 630 A;
 - con distribución homogénea de las pérdidas internas;
 - en los que las partes mecánicas y el equipo instalado están dispuestos de modo que no haya obstáculos importantes para la circulación del aire;
 - en los que los conductores transportan corrientes que superan los 200 A y las partes estructurales están dispuestas de modo que las pérdidas debidas a corrientes parásitas sean despreciables;
 - en los que la intensidad nominal de los circuitos no supere el 80% de la corriente térmica nominal de aire libre (I_{th}), de los dispositivos de conmutación y componentes eléctricos incluidos en el circuito.
- b) el algoritmo de cálculo de la norma IEC 60890, aplicable a cuadros con múltiples compartimentos y con una intensidad nominal máxima de 1600 A (anteriormente hasta 3150 A). En este caso se utilizan procedimientos de cálculo algebraico sin datos experimentales. Se trata de un procedimiento de cálculo que permite trazar, de abajo a arriba, el mapa térmico del cuadro en condiciones estables, conforme a valores de temperatura que aumentan linealmente y alcanzan su valor máximo exactamente en la parte superior de la envolvente. De esta forma, es posible evaluar la sobretemperatura a diferentes niveles en el interior del cuadro, desde la parte inferior a la superior, mediante la pérdida total de potencia.

Figura 7.2



Empleando solamente los métodos de cálculo es posible verificar la conformidad de los límites de sobretemperatura de cuadros con intensidades nominales que:

- no superen los 630 A (mediante el método de potencias)
- no sean mayores de 1600 A (mediante la norma IEC 60890)

La verificación de la sobretemperatura puede realizarse mediante pruebas de tipo o reglas de derivación, sin límite alguno en cuanto a la potencia o corriente del cuadro.

El método empleado en este documento se basa en el cálculo del aumento de la temperatura del aire en el interior del cuadro conforme a la norma IEC 60890 ya mencionada. La norma anterior, junto con IEC 61439-1, establece que este método de cálculo solamente es aplicable cuando se cumplen las siguientes condiciones:

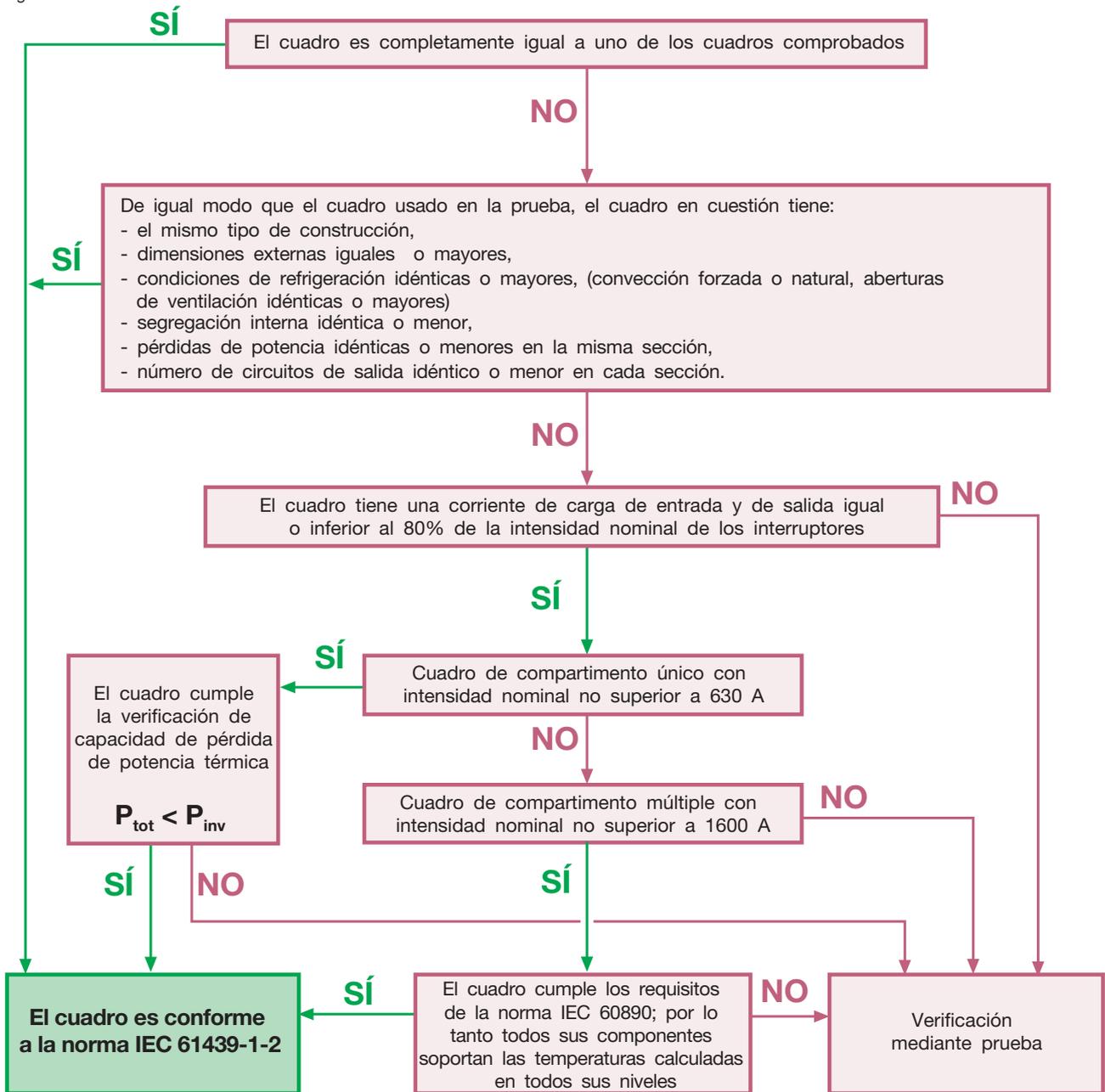
- la intensidad nominal de los circuitos del cuadro no debe superar el 80% de la intensidad nominal (al aire libre) de los dispositivos de protección y los componentes eléctricos instalados en el circuito;
- existe una distribución relativamente homogénea de la pérdida de potencia en el interior de la envolvente y no hay obstáculos que impidan su disipación hacia el exterior del cuadro;
- las partes mecánicas y el equipo instalado están dispuestos de modo que no haya obstáculos importantes para la circulación del aire;

- el cuadro instalado está diseñado para corriente continua y alterna con una frecuencia máxima de 60 Hz, con una corriente de alimentación total que no supere los 1600 A;
- los conductores que transportan corrientes de más de 200 A y las partes estructurales están dispuestos de modo que las pérdidas por corrientes parásitas sean despreciables;
- en el caso de envolventes con aberturas de ventilación, la sección transversal de las aberturas de salida de aire es al menos 1,1 veces mayor que la sección transversal de las aberturas de entrada de aire;
- que no haya más de tres tabiques horizontales en cada sección del cuadro;
- en el caso de que las envolventes con aberturas de ventilación externas estén divididas en compartimentos, la superficie de las aberturas de ventilación en cada tabique horizontal interno deberá ser igual, como mínimo, al 50% de la sección horizontal del compartimento.

Las aplicaciones con cuadros segregados no cumplen todas las condiciones de aplicación de la norma IEC 60890; se ha decidido, no obstante, utilizar este método de cálculo también en estos casos porque, al ser válidas igualmente para cuadros con material aislante, proporciona resultados conservadores cuando se trata de estructuras metálicas.

La verificación térmica del cuadro (mediante cálculo o reglas de derivación) puede resumirse en el siguiente diagrama.

Figura 7.3



7.3 Cálculo de la sobretemperatura conforme a la norma IEC 60890

La Figura 7.4 muestra los distintos métodos de instalación descritos en la norma IEC 60890.

Cálculo de las potencias generadas por los distintos componentes y disipadas en el interior del cuadro

El cálculo de las pérdidas de potencia observadas en las configuraciones que se muestran, se realiza teniendo en cuenta las potencias efectivas disipadas por los distintos componentes.

Interruptores automáticos

Partiendo de las pérdidas de potencia con la intensidad nominal (I_n) indicada en las tablas siguientes y la corriente que realmente circula a través de los interruptores

automáticos (I_b), es posible calcular las pérdidas de potencia efectivas del equipo:

$$P(I_b) = P(I_n) \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2$$

Los valores así obtenidos deben ser multiplicados por un factor que depende del tipo de interruptor automático. Este coeficiente se utiliza para tener en cuenta las conexiones que transportan corriente hasta los interruptores automáticos.

Tabla 7.2

Tipo de interruptor automático	Interruptores de bastidor abierto y en caja moldeada grande (T7)	Interruptores automáticos en caja moldeada	Interruptores automáticos modulares
Coefficiente de aumento (C)	1,3	1,5	2

Figura 7.4

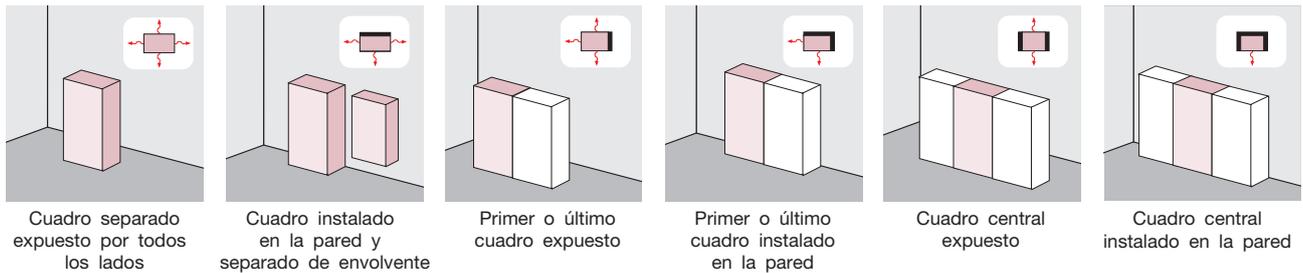


Tabla 7.3

Pérdida de potencia (interruptores automáticos en caja moldeada Tmax XT)

Pérdida de potencia total (3/4 polos) (W)

Relé de protección	In (A)	XT1		XT2		XT3		XT4	
		F	P	F	P/W	F	P	F	P/W
TMD TMA TMG MA MF	1,6			6	7,14				
	2			7,14	8,28				
	2,5			7,41	8,55				
	3			8,28	9,69				
	4			7,41	8,55				
	6,3			9,99	11,7				
	8			7,71	9,12				
	10			8,85	10,26				
	12,5			3,15	3,72				
	16	4,5	4,8	3,99	4,56				
	20	5,4	6	4,86	5,7				
	25	6	8,4						
	32	6,3	9,6	7,71	9,12			13,32	13,32
	40	7,8	13,8	11,13	13,11			13,47	14,16
	50	11,1	15	12,27	14,25			14,04	14,76
	63	12,9	18	14,55	17,1	12,9	15,3	15,9	17,28
	80	14,4	21,6	17,4	20,52	14,4	17,4	16,56	18
	100	21	30	24,24	28,5	16,8	20,4	18,72	20,88
	125	32,1	44,1	34,2	41,91	19,8	23,7	22,32	25,92
	160	45	60	48,45	57	23,7	28,5	26,64	32,4
200					39,6	47,4	35,64	44,64	
250					53,4	64,2	49,32	63,36	

F: fijo; W: extraíble; P: enchufable

Tabla 7.4

Pérdida de potencia (interruptores automáticos en caja moldeada Tmax)

Pérdida de potencia total (3/4 polos) (W)

Relé de protección	In (A)	T11P		T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7 S, H, L		T7 V	
		F	F	F	P	F	P	F	P/W	F	P/W	F	W	F	W	F	W	F	W
TMF	1			4,5	5,1														
	1,6			6,3	7,5														
	2			7,5	8,7														
	2,5			7,8	9														
	3,2			8,7	10,2														
	4			7,8	9														
	5			8,7	10,5														
	6,3			10,5	12,3														
	8			8,1	9,6														
	10			9,3	10,8														
	12,5			3,3	3,9														
	16	1,5	4,5	4,2	4,8														
	20	1,8	5,4	5,1	6					10,8	10,8								
	25	2	6	6,9	8,4														
	32	2,1	6,3	8,1	9,6					11,1	11,1								
	40	2,6	7,8	11,7	13,8														
	50	3,7	11,1	12,9	15					11,7	12,3								
	63	4,3	12,9	15,3	18	12,9	15,3												
	80	4,8	14,4	18,3	21,6	14,4	17,4	13,8	15										
	100	7	21	25,5	30	16,8	20,4	15,6	17,4										
125	10,7	32,1	36	44,1	19,8	23,7	18,6	21,6											
160	15	45	51	60	23,7	28,5	22,2	27											
200					39,6	47,4	29,7	37,2											
250					53,4	64,2	41,1	52,8											
320									40,8	62,7									
400									58,5	93									
500									86,4	110,1									
630											92	117							
800											93	119							
PR221	10			1,5	1,8														
	25			3	3,6														
	63			10,5	12														
	100			24	27,2				5,1	6,9									
	160			51	60				13,2	18									
	250								32,1	43,8									
	320								52,8	72	31,8	53,7							
	400										49,5	84			15	27	24	36	
	630										123	160,8	90	115	36	66	60	90	
	800												96	125	57,9	105,9	96	144	
	1000												150		90	165	150	225	
1250														141	258	234,9	351,9		
1600														231	423				

F: fijo; W: extraíble; P: enchufable

Tabla 7.5

Pérdida de potencia (interruptores de bastidor abierto series Emax y X1)

Pérdida de potencia total (3/4 polos) (W)

In (A)	X1B-N		X1L		E1B-N		E2B-N-S		E2L		E3N-S-H-V		E3L		E4S-H-V		E6H-V	
	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	31	60	61	90														
In=800	51	104	99	145	65	95	29	53			22	36						
In=1000	79	162	155	227	96	147	45	83			38	58						
In=1250	124	253	242	354	150	230	70	130	105	165	60	90						
In=1600	203	415			253	378	115	215	170	265	85	150						
In=2000							180	330			130	225	215	330				
In=2500											205	350	335	515				
In=3200											330	570			235	425	170	290
In=4000														360	660	265	445	
In=5000															415	700		
In=6300															650	1100		

F: fijo; W: extraíble;

Los valores mostrados en las tablas corresponden a cargas equilibradas, con corrientes de fase iguales a In y son válidas tanto para interruptores automáticos de 3 y 4 polos como para interruptores seccionadores. Para estos últimos, la corriente del neutro es cero por definición.

Para más información y una descripción en profundidad deben consultarse los catálogos técnicos del producto en cuestión.

Embarrados de distribución

Deben considerarse los embarrados presentes en la columna examinada al calcular la pérdida de potencia. La longitud puede estimarse aproximadamente observando la parte frontal del cuadro de distribución.

La potencia disipada por los embarrados puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$P(I_b) = P(I_n) \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot L_{\text{sección}} \cdot 3$$

donde:

- $P(I_n)$ es la pérdida de potencia por unidad de longitud con la intensidad nominal y su valor puede obtenerse bien en la Tabla B.2 de la norma IEC 60890, mostrada a continuación, o en el catálogo del fabricante.
- $(L_{\text{sección}} \cdot 3)$ es la longitud de la sección de barra que pasa a través de la columna estudiada, multiplicada por 3, ya que se trata de un circuito trifásico.

Se ha utilizado la Tabla B.2 de la norma IEC 60890 (véase la Tabla 7.6) para los cálculos descritos en este documento, suponiendo que la temperatura del aire en torno a la barra es 55 °C.

Corriente de empleo y pérdidas de potencia de las barras descubiertas, con disposición vertical y sin conexión directa con el equipo

Tabla 7.6

Altura x Espesor	Sección transversal del embar- rado (Cu)	Temperatura máxima permitida del conductor: 85 °C															
		Temperatura del aire dentro de la envolvente alrededor de los conductores 35 °C								Temperatura del aire dentro de la envolvente alrededor de los conductores 55 °C							
		de 50 a 60 Hz CA				CC y CA hasta 16 2/3 Hz				de 50 a 60 Hz CA				CC y CA hasta 16 2/3 Hz			
		Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)
mm x mm	mm ²	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	78	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	27,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	101,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0

* un conductor por fase

** dos conductores por fase

(1) longitud individual

Cables de entrada y salida del cuadro

La pérdida de potencia de la sección de cable que entra en el cuadro debe ser calculada por separado. Las variaciones en la longitud de estas secciones hacen que su potencia sea despreciable en algunos casos o decisiva en otros para el cálculo correcto de la pérdida de potencia en el interior del cuadro.

La pérdida de potencia puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$P(I_b) = P(I_n) \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot L_{\text{sección}} \cdot 3$$

donde:

- $P(I_n)$ es la pérdida de potencia por unidad de longitud con la intensidad nominal y su valor puede obtenerse bien en la Tabla B.1 de la norma IEC 60890 (véase la Tabla 7.7) o en el catálogo del fabricante
- $(L_{\text{sección}} \cdot 3)$ es la longitud de la sección de cable que pasa a través del cuadro o por el interior de la columna estudiada, multiplicada por 3, ya que se trata de un circuito trifásico; esta longitud puede ser determinada aproximadamente observando la parte frontal del cuadro de distribución.

Se ha utilizado la Tabla B.1 de la norma IEC 60890 (véase la Tabla 7.7) para estos cálculos, suponiendo que la temperatura del aire en torno al cable es igual a 55 °C.

Corrientes de empleo y pérdidas de potencia de los conductores aislados

Tabla 7.7

Sección transversal (Cu)	Temperatura máxima permitida del conductor: 70 °C											
	Temperatura del aire dentro del cuadro alrededor de los conductores											
	35 °C		55 °C		35 °C		55 °C		35 °C		55 °C	
	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (2)
mm ²	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,6	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,6	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,6	460	17,5	371	11,4

(1) Cada disposición deseada, con sus valores específicos, hace referencia a un grupo de conductores agrupados (seis conductores cargados al 100%).
 (2) Longitud individual.

Cálculo de la sobretemperatura

El valor de sobretemperatura en el interior del cuadro puede calcularse empleando las herramientas de software de ABB, como el DOC.

Los parámetros que requiere el software son los siguientes:

- dimensiones lineales del cuadro (altura, ancho y profundidad);
- métodos de instalación (separado expuesto, instalado en pared, etc.);
- superficie de entrada de aire; (la norma IEC 60890 requiere un área de salida de aire igual, como mínimo, a 1,1 veces la de entrada; en caso contrario, el área de entrada debe ser un 10% inferior a la real)
- temperatura ambiente;
- número de divisiones horizontales;
- pérdida de potencia total.

Las temperaturas del aire a media altura y en la parte superior del cuadro que se va a construir se calculan empleando el mismo método o herramienta.

Llegados a este punto y una vez trazado el mapa térmico del interior del cuadro, desde abajo hacia arriba, si resultara que, para cada aparato instalado, la temperatura correspondiente en el punto de sujeción siguiera siendo igual o inferior a la permitida (indicada por el fabricante) se considerará que todo el cuadro habrá sido verificado correctamente.

Para esta especificación es obligatorio, además, una reducción de las cargas de tal forma que sean iguales o inferiores al 80% de la intensidad nominal de los dispositivos de protección.

Nota

Partiendo de la conformidad de un cuadro con respecto a la norma IEC 60890, es posible obtener los datos de otros diseños mediante análisis y deducciones físicas de naturaleza conservadora. Estos diseños pueden ser válidos si:

- utilizan una estructura con dimensiones lineales mayores;

- están situados en un lugar con aire acondicionado, con una temperatura ambiente media $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- utilizan un método de instalación que aumenta la ventilación del cuadro;
- emplean un dispositivo de ventilación forzada del cuadro.

En caso necesario, estos parámetros pueden ser introducidos en el cálculo de sobretemperatura a fin de crear un mapa térmico preciso del cuadro.

Sin embargo, los diferentes grados de protección y las distintas formas de segregación no pueden ser tenidos en cuenta para obtener valores de temperatura inferiores.

7.4 Ejemplos de cálculo de sobretemperatura

Las páginas siguientes presentan cuatro ejemplos de cálculo de sobretemperatura conforme al método descrito en la norma IEC 60890.

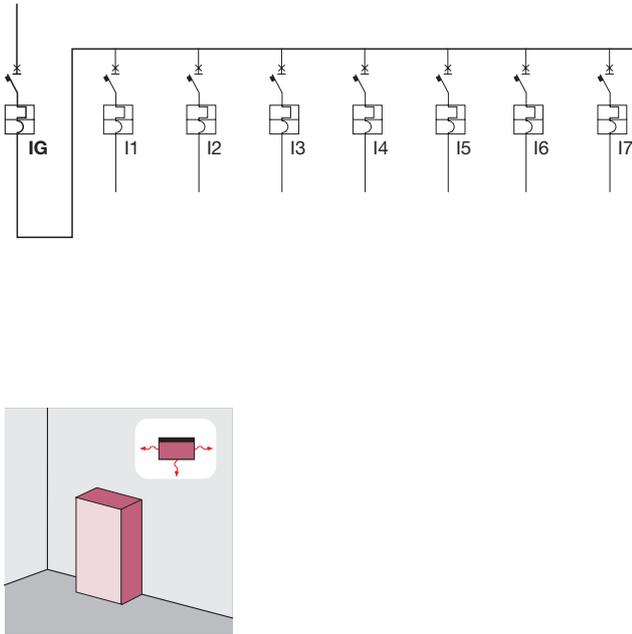
Todos los ejemplos están compuestos por:

- un diagrama unifilar;
- un esquema de la parte frontal del cuadro de distribución con la disposición de las barras;
- detalles de los embarrados (longitud, sección transversal, corriente, pérdida de potencia);
- detalles de los interruptores automáticos (modelo, tamaño, corriente, pérdida de potencia, terminales, versión);
- detalles de los cables (longitud, sección transversal, corriente, pérdida de potencia);
- temperaturas del aire, calculadas mediante el software DOC de ABB.

Ejemplo n.º 1

Diagrama unifilar

Figura 7.5



Parte frontal del cuadro de distribución

Figura 7.6

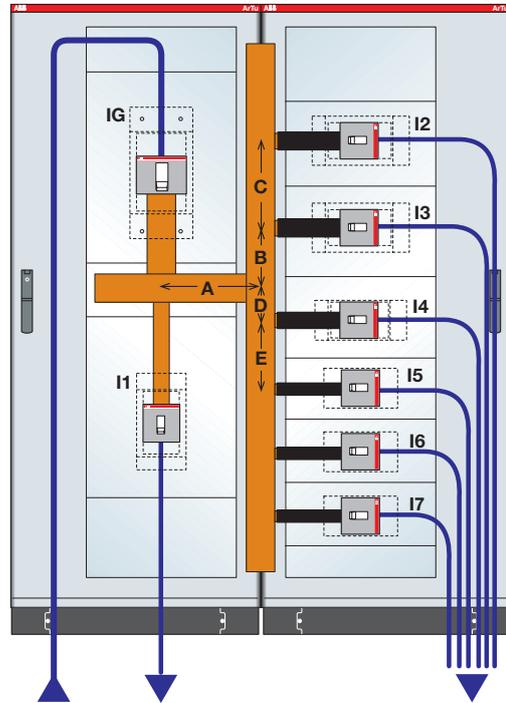


Tabla 7.8

Interruptores automáticos	Tipo	Terminal	In (A)	Ib (A)	P(In) (W)	P(Ib) (W)
IG	T7H1600 (F)	Posterior	1600	1200	231	168,92
I1	T5H400 (F)	Posterior	400	320	58,5	56,16
I2	T5H400 (F)	Posterior	400	300	58,5	49,36
I3	T5H400 (F)	Posterior	400	300	58,5	49,36
I4	T4H250 (F)	Posterior	250	200	41,1	39,46
I5	T2H160 (F)	Posterior	125	60	36	12,44
I6	T2H160 (F)	Posterior	125	0	36	0
I7	T2H160 (F)	Posterior	125	0	36	0
Pérdida de potencia total de los interruptores automáticos						375,7

Versión: F = fija

Tabla 7.9

Embarrado	Sección transversal (mm x mm)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
A	100x10	300	880	18
B	100x10	200	600	5,6
C	100x10	300	300	2,1
D	100x10	100	280	0,6
E	100x10	250	60	0,1
Pérdida de potencia total de los embarrados				26

Tabla 7.10

Cable	Sección transversal (mm2)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
IG	5x240	2400	1200	205,3
I1	240	500	320	15,2
I2	240	2100	300	56
I3	240	1800	300	48
I4	120	1500	220	41,3
I5	50	1100	60	5,5
Pérdida de potencia total de los cables				371,3

Tabla 7.11

Pérdida de potencia				Dimensiones (mm)			0 tabiques horizontales	Temperaturas obtenidas (°C) (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Emb.	Aparatos	Cables	Total	Al (mm)	An (mm)	P (mm)		Altura (m)	DOC
26	375,7	371,3	773	2000	1600	700	separado a muro	2	49
								1	42

Tabla 7.12

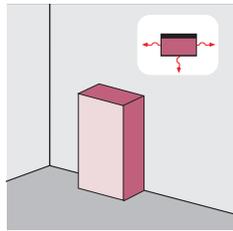
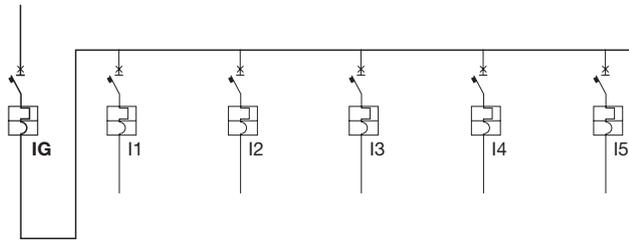
Ejemplo n.º 1

Estructura	ArTu K
Segregación	Sin segregación
Grado de protección	IP 65
Cuadro	Instalado en pared, separado

Ejemplo n.º 2

Diagrama unifilar

Figura 7.7



Parte frontal del cuadro de distribución

Figura 7.8

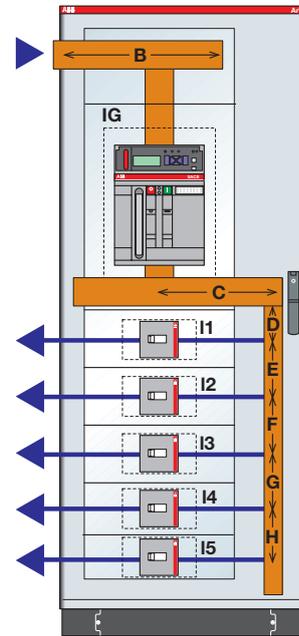


Tabla 7.13

Interruptor automático	Tipo	Terminales	In (A)	Ib (A)	P(In) (W)	P(Ib) (W)
IG	E2N1600 (W)	Horizontal	1600	1214	215	160,9
I1	T2S160 (F)	Posterior	160	50	51	7,47
I2	T2S160 (F)	Posterior	160	50	51	7,47
I3	T2S160 (F)	Posterior	160	50	51	7,47
I4	T2S160 (F)	Posterior	160	50	51	7,47
I5	T2S160 (F)	Posterior	160	50	51	7,47
Pérdida de potencia total de los interruptores automáticos						198,3

Versiones: F = fija; W = extraíble

Tabla 7.14

Embarado	Sección transversal (mm x mm)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
B	3x(60x10)	360	1214	21,2
C	3x(60x10)	480	1214	28,2
D	80x10	100	1214	13,8
E	80x10	200	1164	25,5
F	80x10	200	150	despreciable
G	80x10	200	100	despreciable
H	80x10	200	50	despreciable
Pérdida de potencia total de los embarrados				89

Tabla 7.15

Pérdida de potencia				Dimensiones (mm)			3 tabiques horizontales separado en pared	Temperaturas obtenidas (°C) (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Emb.	Aparatos	Cables	Total	Al (mm)	An (mm)	P (mm)		Altura (m)	DOC
89	198,3	0	287,3	2000	800	900	2	46,7	
							1	41,2	

Tabla 7.16

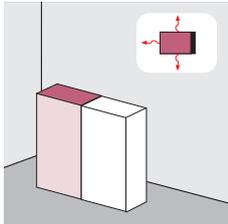
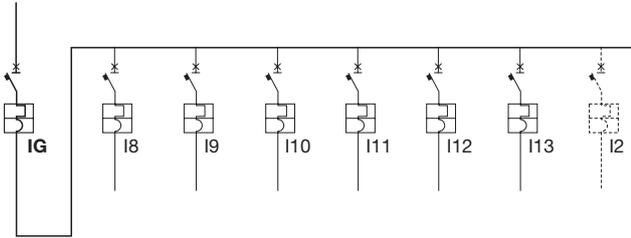
Ejemplo n.º 2

Estructura	ArTu K
Segregación	Forma 3a
Grado de protección	IP 65
Cuadro	Instalado en pared, separado

Ejemplo n.º 3

Diagrama unifilar

Figura 7.9



Parte frontal del cuadro de distribución

Figura 7.10

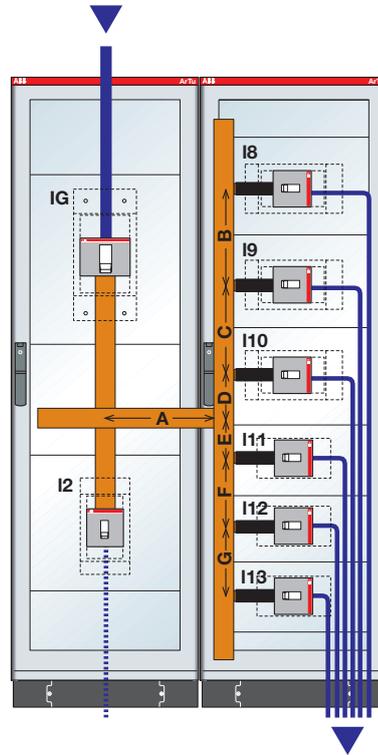


Tabla 7.17

Interruptor automático	Tipo	Terminales	In (A)	Ib (A)	P(In) (W)	P(Ib) (W)
IG	T7H1600 (F)	Posterior	1600	1360	231	217
I8	T5H400 (F)	Posterior	400	320	58,5	56,2
I9	T5H400 (F)	Posterior	400	320	58,5	56,2
I10	T4H250 (F)	Posterior	250	200	41,1	39,46
I11	T2H160 (F)	Posterior	160	125	51	46,7
I12	T2H160 (F)	Posterior	160	125	51	46,7
I13	T2H160 (F)	Posterior	160	125	51	46,7
Pérdida de potencia total de los interruptores automáticos						509

Versiones: F = fija

Tabla 7.18

Embarado	Sección transversal (mm²)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
A	2x80x10	360	1360	35,2
B	2x80x10	400	360	2,7
C	2x80x10	400	720	11
D	2x80x10	50	940	2,3
E	2x80x10	150	420	1,4
F	2x80x10	200	280	0,8
G	2x80x10	200	140	despreciable
Pérdida de potencia total de los embarrados				54

Tabla 7.19

Cable	Sección transversal (mm²)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
IG	5x240	400	1360	44
I8	240	1800	360	69,3
I9	240	1400	360	54
I10	120	1000	220	28
I11	70	800	140	17
I12	70	600	140	12,7
I13	70	400	140	8,5
Pérdida de potencia total de los cables				234

Tabla 7.20

Pérdida de potencia				Dimensiones (mm)			3 tabiques horizontales cubierto por un lado	Temperaturas obtenidas (°C) (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Emb.	Aparatos	Cables	Total	Al (mm)	An (mm)	P (mm)		Altura (m)	DOC
54	509	234	797	2000	1400	800	2	64	
							1	55	

Tabla 7.21

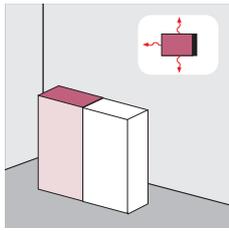
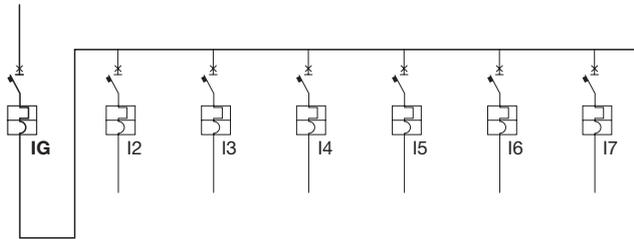
Ejemplo n.º 3

Estructura	ArTu K
Segregación	Forma 4
Grado de protección	IP 65
Cuadro	Expuesto, cubierto por un lado

Ejemplo n.º 4

Diagrama unifilar

Figura 7.11



Parte frontal del cuadro de distribución

Figura 7.12

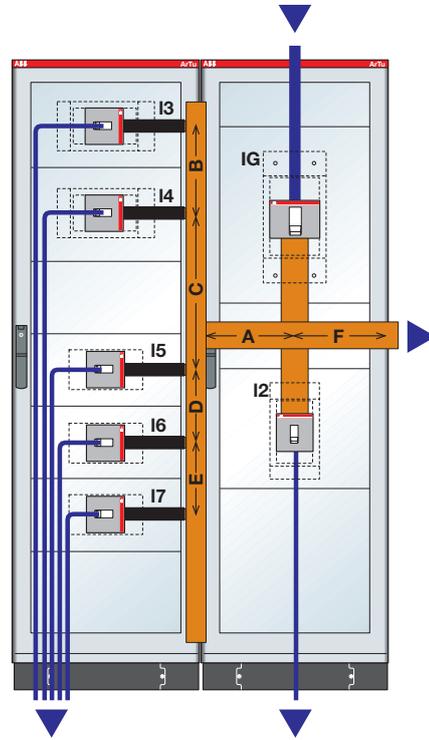


Tabla 7.22

Interruptor automático	Tipo	Terminales	In (A)	Ib (A)	P(In) (W)	P(Ib) (W)
IG	T7S1600 (F)	Posterior	1600	1140	231	152,45
I2	T5N400 (F)	Posterior	400	320	58,5	56,2
I3	T4N250 (F)	Posterior	250	200	41,1	39,46
I4	T4N250 (F)	Posterior	250	200	41,1	39,46
I5	T2N160 (F)	Posterior	160	125	51	46,7
I6	T2N160 (F)	Posterior	160	125	51	46,7
I7	T1N160 (F)	Posterior	125	100	45	43,2
Pérdida de potencia total de los interruptores automáticos						424

Versiones: F = fija

Tabla 7.23

Embarado	Sección transversal (mm²)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
A	2x80x10	360	780	11,6
B	40x10	400	210	3,1
C	40x10	400	420	12,4
D	40x10	50	360	1,1
E	40x10	150	230	1,4
F	40x10	200	100	0,3
Pérdida de potencia total de los embarrados				30

Tabla 7.24

Cable	Sección transversal (mm²)	Longitud (mm)	Corriente Ib (A)	P(Ib) (W)
IG	5x240	400	1140	31
I2	240	400	360	15,5
I3	120	1800	210	46,2
I4	120	1500	210	38,5
I5	70	1100	130	20
I6	70	900	130	16,4
I7	70	700	100	10
Pérdida de potencia total de los cables				177,6

Tabla 7.25

Pérdida de potencia				Dimensiones (mm)			3 tabiques horizontales cubierto por un lado	Temperaturas obtenidas (°C) (Temperatura ambiente = 25 °C)	
Emb.	Aparatos	Cables	Total	An (mm)	Al (mm)	P (mm)		Altura (m)	DOC
30	424	177,6	631,6	2000	1400	800	2	57	
							1	50	

Tabla 7.26

Ejemplo n.º 4

Estructura	ArTu K
Segregación	Forma 4
Grado de protección	IP 65
Cuadro	Expuesto, cubierto por un lado

8 Verificación del rendimiento en caso de cortocircuito

El cuadro de distribución eléctrica debe construirse de forma que resista las tensiones térmicas y dinámicas causadas por una corriente de cortocircuito igual al valor nominal. Además, el cuadro de maniobra debe estar protegido contra corrientes de cortocircuito mediante interruptores automáticos o fusibles que puedan ser instalados bien en el cuadro o bien en el lado de suministro de éste.

Al efectuar un pedido, el usuario debe especificar las condiciones de cortocircuito en el punto de instalación.

Este capítulo estudia los siguientes aspectos:

- la necesidad o no de verificar la resistencia a cortocircuitos en el interior del cuadro;
- la idoneidad de un cuadro para una instalación en función de la corriente de cortocircuito prevista para ésta y de los parámetros de cortocircuito del cuadro;
- la idoneidad del sistema de embarrado en función de la corriente de cortocircuito y de los dispositivos de protección;
- la verificación de la resistencia a cortocircuitos del cuadro empleando las normas de diseño definidas en la norma IEC 61439-1.

8.1 Verificación de la resistencia a cortocircuitos

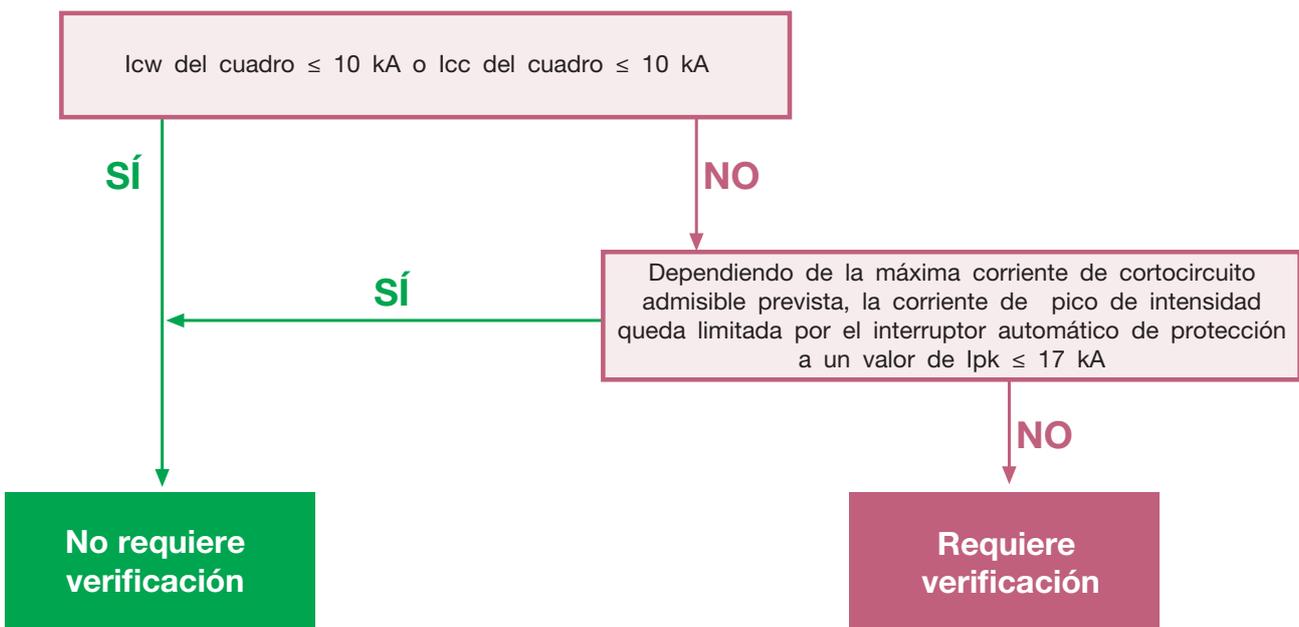
La verificación de la resistencia a cortocircuitos se describe en las recientes normas IEC 61439-1 y 2, especialmente los casos en los cuáles debe llevarse a cabo y los distintos tipos de verificación.

La verificación de la resistencia a cortocircuitos no es necesaria en los siguientes casos:

- para un cuadro cuya intensidad nominal de corta duración o intensidad nominal de cortocircuito condicional sea menor de 10 kA;
- para cuadros protegidos por dispositivos de limitación de corriente con una corriente pico limitada inferior a 17 kA, correspondiente a la corriente de cortocircuito máxima permitida prevista en los terminales del circuito de entrada del cuadro;
- para los circuitos auxiliares del cuadro a condición de que estén conectados a transformadores cuya potencia nominal no supere los 10 kVA con una tensión nominal del secundario no inferior a 110 V, o cuya potencia nominal no supere los 1,6 kVA con una tensión nominal del secundario inferior a 110 V y cuya tensión de cortocircuito mínima no sea inferior a 4%;
- para todas las partes del cuadro que ya han estado sometidas a pruebas de verificación válidas para las condiciones existentes.

Por lo tanto, la necesidad de verificar la resistencia a cortocircuitos puede resumirse del modo siguiente:

Figura 8.1



En lo relativo a los detalles de la ejecución de la prueba de cortocircuito, debe consultarse directamente la norma IEC 61439-1.

La tabla siguiente muestra los valores que representan aproximadamente la corriente de cortocircuito máxima prevista (en kA) para los distintos dispositivos de protección y para las tensiones más comunes en las instalaciones de modo que el pico limitado no supere los 17 kA, por lo que no debe realizarse la prueba de resistencia a cortocircuitos.

Tabla 8.1

Interruptor automático		Tensión nominal de la instalación			
Tipología	Intensidad nominal In (A)	230 V CA	415 V CA	500 V CA	690 V CA
S200	≤63	20	10	-	-
S200M	≤63	25	15	-	-
S200P	≤25	40	25	-	-
S200P	32-63	25	15	-	-
S800	≤125	50	50	15 (In≤80 A) 10 (In≤80 A)	6 (In≤80 A) 4,5 (In≤80 A)
S290	≤125	25	15	-	-
T1	<160	50	35	15	6
T1	160	37	33	15	6
T2	≤32	120	85	50	10
T2	≤50	120	85	39	10
T2	≤63	120	65	30	10
T2	80-160	120	50	29	10
T3	63	37	20	18	8
T3	80	27	18	17	8
T3	100	21	16	15	8
T3	125-160	18	15	14	8
T3	200-250	16	14	13	8
T4	20	200	200	150	80
T4	32-50	200	200	150	55
T4	80	200	100	48	32
T4	100-320	200	24	21	19
T5, T6, T7	320-1600	10	10	10	10

El valor de la corriente de cortocircuito indicado en la tabla anterior debe compararse con el poder de corte de las diversas versiones disponibles del interruptor automático.

8.2 Corriente de cortocircuito e idoneidad del cuadro para la instalación

La verificación de la resistencia a la corriente de cortocircuito se basa principalmente en dos parámetros del cuadro:

- intensidad nominal admisible de corta duración (I_{cw});
- intensidad nominal de cortocircuito condicional (I_{cc}).

Empleando uno de estos dos valores es posible determinar si el cuadro es adecuado para ser instalado en un punto concreto de la instalación.

Debe verificarse (mediante un equipo de respaldo, si fuera necesario) que los poderes de corte de los equipos en el interior del cuadro son compatibles con los valores de corriente de cortocircuito de la instalación.

La intensidad nominal admisible de corta duración (I_{cw}) es el valor eficaz rms de corriente, declarado por el fabricante, soportado durante 1 segundo en la prueba de cortocircuito sin que las protecciones se abran y que puede ser soportado por el cuadro sin sufrir daños en las condiciones especificadas, definidas en términos de corriente y tiempo. A un cuadro es posible asignar valores I_{cw} diferentes para distintos periodos de tiempo (por ejemplo, 0,2 o 3 segundos).

A partir de la prueba que, en caso de ser superada, permite definir el valor de I_{cw} , es posible obtener la energía específica pasante (I^2t) que resiste el cuadro (esta relación es válida gracias a la hipótesis de un fenómeno adiabático que no puede superar los 3 segundos):

$$I^2t = I_{cw}^2 \cdot t \text{ (generalmente } t = 1 \text{ s).}$$

La norma también define la intensidad nominal admisible de pico (I_{pk}) como el valor pico de corriente de cortocircuito, declarado por el fabricante del cuadro, que puede ser soportado por el cuadro en sí en condiciones específicas. El valor del pico de corriente de cortocircuito, que sirve para determinar las tensiones electrodinámicas, se obtiene multiplicando la corriente de corta duración por el factor “n” conforme a la Tabla 7 de la norma IEC 61439-1. Los valores del factor “n” se indican en la Tabla 8.2.

$$I_{pk} = I_{cw} \cdot n$$

Tabla 8.2

Valor rms del cortocircuito (en kA)	cos φ	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

Los valores de esta tabla tienen en cuenta la mayoría de las aplicaciones. En áreas concretas, como cerca de transformadores o generadores, el factor de potencia puede tener valores más bajos, por lo que, en estos casos, el valor pico máximo de la corriente prevista puede convertirse en el factor limitador en lugar del valor eficaz (rms) de la corriente de cortocircuito.

La intensidad nominal de cortocircuito condicional I_{cc} es el valor de corriente de cortocircuito prevista, declarado por el fabricante del cuadro, que éste puede resistir durante el tiempo de funcionamiento total (tiempo de corte) del dispositivo de protección contra cortocircuitos, en condiciones específicas.

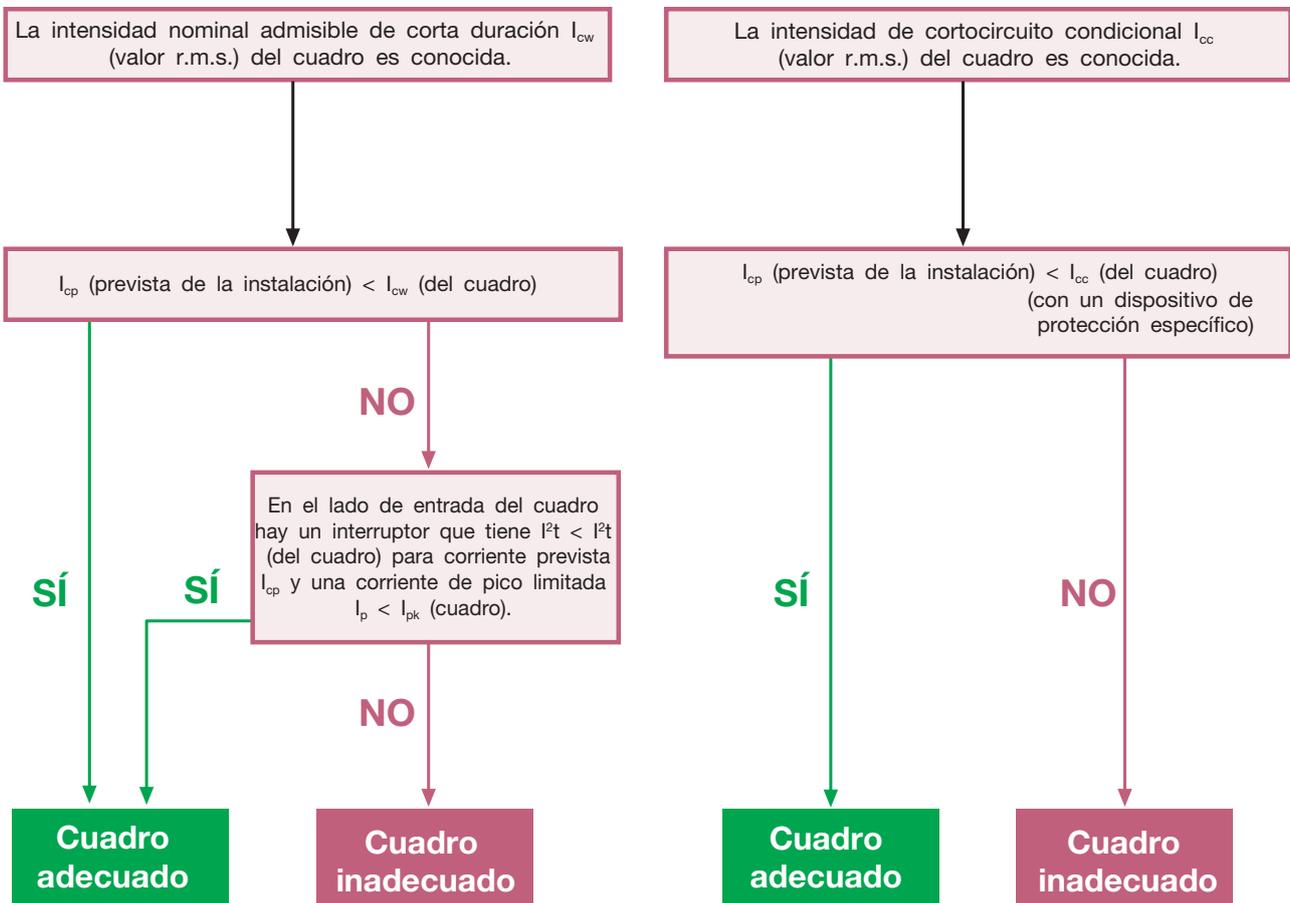
I_{cc} debe ser igual o superior al valor rms de la corriente de cortocircuito prevista en la instalación (I_{cp}) durante un tiempo limitado por el disparo del dispositivo de protección contra cortocircuitos que protege al cuadro.

Empleando los valores de I_{cw} o I_{cc} y la corriente de cortocircuito prevista de la instalación es posible determinar si el cuadro es adecuado para su instalación en la instalación.

Los siguientes diagramas muestran el método para determinar la compatibilidad del cuadro con la instalación¹

¹ Debe verificarse que los poderes de corte de los aparatos en el interior del cuadro son compatibles con los valores de corriente de cortocircuito de la instalación.

Figura 8.2



Ejemplo

Datos de la instalación existente:

$$\begin{aligned} V_n &= 400 \text{ V} \\ f_n &= 50 \text{ Hz} \\ I_{cp} &= 35 \text{ kA} \end{aligned}$$

Se presupone que existe en una instalación existente un cuadro cuya I_{cw} es igual a 35 kA y que, en el punto de instalación del cuadro, la corriente de cortocircuito prevista es igual a 35 kA.

Se está estudiando si incrementar la potencia de la instalación, aumentando el valor de cortocircuito hasta 60 kA.

Datos de la instalación después del aumento de potencia:

$$\begin{aligned} U_n &= 400 \text{ V} \\ f_n &= 50 \text{ Hz} \\ I_{cp} &= 60 \text{ kA} \end{aligned}$$

Debido a que el valor I_{cw} del cuadro es menor que la corriente de cortocircuito de la instalación, será necesario, a fin de verificar si el cuadro existente sigue siendo compatible:

- determinar los valores de I^2t e I_p que deja pasar el interruptor automático en el lado de suministro del cuadro;
- verificar que los dispositivos de protección puestos en el interior del cuadro tienen el poder de corte adecuado, individualmente o como respaldo.

$I_{cw} = 35 \text{ kA}$, de lo cual:

- $I^2t_{\text{cuadro}} = 35^2 \times 1 = 1225 \text{ MA}^2\text{s}$;
- $I_{pk \text{ cuadro}} = 35 \times 2,1 = 73,5 \text{ kA}$ (véase la Tabla 8.2).

Suponiendo que haya instalado un interruptor automático en caja moldeada Tmax T5H ($I_{cu}=70 \text{ kA}$ a 415 V) en el lado de suministro:

- $I^2t_{\text{int}} < 4 \text{ MA}^2\text{s}$;
- $I_{p \text{ int}} < 40 \text{ kA}$.

ya que:

- $I^2t_{\text{cuadro}} > I^2t_{\text{int}}$
- $I_{pk \text{ cuadro}} > I_{p \text{ int}}$

El cuadro (estructura y sistema de embarrado) resulta ser adecuado.

En lo que se refiere a los interruptores automáticos del interior del cuadro, se presupone que son interruptores automáticos en caja moldeada del tipo Tmax T1, T2, T3, versión N, con $I_{cu} = 36 \text{ kA}$ a 415 V.

En las tablas de respaldo puede observarse que los interruptores automáticos del interior del cuadro son adecuados para la instalación, ya que su poder de corte aumenta hasta los 65 kA gracias al interruptor automático T5H del lado de suministro.

8.3 Elección del sistema de distribución con respecto a la resistencia a cortocircuitos

El dimensionado del sistema de distribución del cuadro se realiza teniendo en cuenta la intensidad nominal que pasa por éste y la corriente de cortocircuito prevista en la instalación.

El fabricante normalmente proporciona tablas que permiten elegir la sección transversal del embarrado en función de la intensidad nominal y que indican las distancias a las que deben situarse los soportes del embarrado para garantizar la resistencia a cortocircuitos.

Los sistemas de distribución que pueden emplearse en los cuadros ArTu se describen en el catálogo técnico de ABB "Distribution Switchgear - General Catalogue" (catálogo general de cuadros de distribución); se trata de:

embarrado de sección perfilada de hasta:

- 3200 A (IP 65);
- 3600 A (IP 31)

embarrados perforados planos de hasta:

- 4000 A (IP 65);
- 4460 A (IP 31)

embarrados flexibles de hasta:

- 1250 A (IP 65);
- 1515 A (IP 31)

Sistema de cableado Unifix de hasta 400 A;
bastidores de distribución de hasta 400 A.

Para seleccionar un sistema de distribución compatible con los datos de cortocircuito de la instalación debe seguirse este procedimiento:

- Si se conocen cuáles son los dispositivos de protección situados en el lado de suministro del sistema de distribución examinado

se obtiene lo siguiente a partir del valor I_{cw} del sistema de distribución:

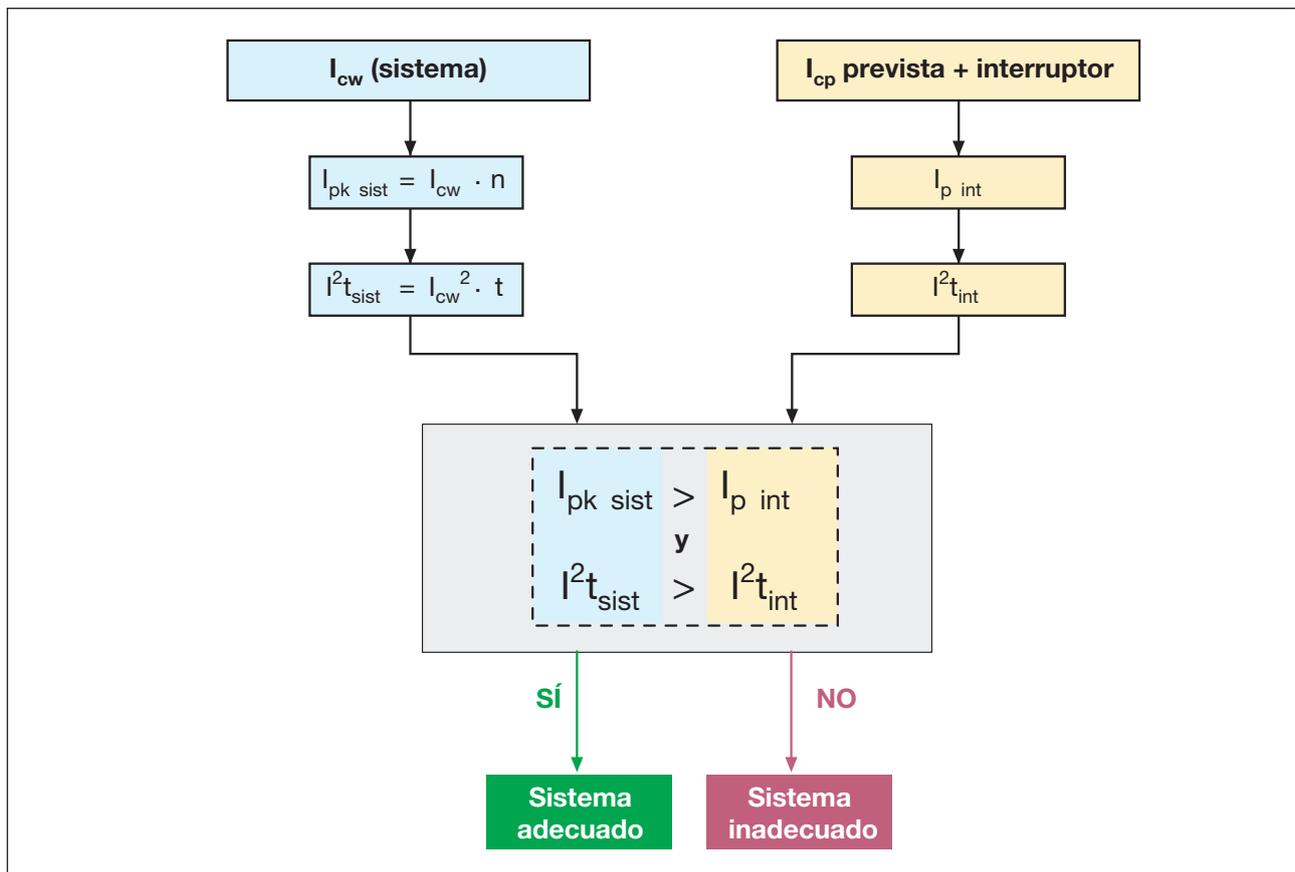
- $I_{pk\ sist} = I_{cw} \cdot n$
(donde n es el factor derivado de la Tabla 8.2)
- $I^2t_{sist} = I_{cw}^2 \cdot t$
(donde t es igual a 1 segundo).

De acuerdo con el valor de la corriente de cortocircuito prevista de la instalación, se determina lo siguiente:

- el valor de la corriente pico limitada por el interruptor automático ($I_{p\ int}$);
- la energía específica pasante del interruptor automático (I^2t_{int})

Si $I_{p\ int} < I_{pk\ sist}$ e $I^2t_{int} < I^2t_{sist}$, entonces el sistema de distribución es adecuado.

Figura 8.3



Ejemplo

Datos de la instalación:

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$I_{cp} = 65 \text{ kA}$$

Se asume que se necesita un sistema de embarrado con sección perfilada de 400 A.

Según el catálogo de ABB "Distribution Switchgear - General Catalogue" (catálogo general de cuadros de distribución), una posible elección podría ser:

BA0400 In 400 A (IP65), con $I_{cw} = 35 \text{ kA}$.

Suponiendo que haya un interruptor automático en caja moldeada Tmax T5H400 In 400 situado en el lado de suministro del sistema de embarrado, se obtiene lo siguiente a partir del valor I_{cw} del sistema de embarrado:

$$- I_{pk \text{ sist}} = I_{cw} \cdot 2,1 = 73,5 \text{ (kA)}$$

$$- I_{t \text{ sist}}^2 = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \text{ ((kA)}^2\text{s)}$$

A partir de las curvas de limitación y curvas de energía pasante del interruptor automático T5400 In 400, a una corriente de cortocircuito prevista (I_{cp}) igual a 65 kA le corresponden los siguientes valores:

$$- I_{p \text{ int}} < 40 \text{ kA}$$

$$- I_{t \text{ int}}^2 < 4 \text{ ((kA)}^2\text{s)}$$

Ya que:

$$- I_{p \text{ int}} < I_{pk \text{ sist}}$$

$$- I_{t \text{ int}}^2 < I_{t \text{ sist}}^2$$

el sistema de embarrado es adecuado para la instalación.

- Si se desconocen cuáles son los dispositivos de protección del lado de suministro del sistema de distribución examinado, será necesario verificar que:

$$I_{cp} \text{ (corriente prevista)} < I_{cw} \text{ (sistema de distribución)}$$

Secciones de los conductores del lado de suministro del dispositivo

La norma IEC 61439-1 señala que, en el interior del cuadro, los conductores (incluyendo embarrados de distribución) situados entre los embarrados principales y el lado de suministro de cada unidad funcional, así como los componentes que forman estas unidades, pueden dimensionarse en función de las tensiones de cortocircuito reducidas que se generan en el lado de carga del dispositivo de protección contra cortocircuitos de la unidad.

Esto puede ser posible si los conductores están dispuestos de modo que, en condiciones de servicio normales, los cortocircuitos internos entre fases o entres fases y la tierra estén considerados como una posibilidad remota; es preferible que estos conductores sean de estructura rígida y voluminosa.

A modo de ejemplo, la Tabla 4 de la norma (véase la Tabla 8.3 de este documento), indica conductores y requisitos para la instalación que permiten tomar en cuenta la remota hipótesis de un cortocircuito entre fases o entre fases y la tierra.

Si se dan estas condiciones es posible considerar como una hipótesis remota un cortocircuito interno, el procedimiento descrito anteriormente puede utilizarse para comprobar la idoneidad del sistema de distribución en condiciones de cortocircuito, determinadas conforme a las características del interruptor automático situado en el lado de carga de los embarrados.

Tabla 8.3

Tipo de conductor	Requisitos
Conductores expuestos o conductores unipolares con aislamiento básico, como cables que cumplan la norma IEC 60227-3.	Debe evitarse el contacto mutuo o el contacto con partes conductoras empleando, por ejemplo, espaciadores.
Conductores unipolares con aislamiento básico y una temperatura de servicio máxima permitida de al menos 90 °C, como los cables que cumplen la norma IEC 60245-3, o bien cables aislados con termoplástico (PVC) resistente al calor conforme a IEC 60227-3.	Se permite el contacto mutuo o el contacto con partes conductoras donde no se aplique presión externa. Debe evitarse el contacto con bordes afilados. Estos conductores solamente pueden cargarse de forma que no se supere una temperatura de servicio igual al 80% de la temperatura de servicio máxima permitida del conductor.
Conductores con aislamiento básico, como cables que cumplan la norma IEC 60227-3, que tengan un aislamiento secundario adicional, como cables cubiertos individualmente con revestimiento retráctil o cables extendidos individualmente en conductos de plástico.	No hay requisitos adicionales.
Conductores aislados con un material de gran resistencia mecánica, como etileno-tetrafluoroetileno (ETFE), o conductores con aislamiento doble con un revestimiento exterior mejorado para uso hasta 3 kV, como los cables que cumplen la norma IEC 60502.	
Cables unipolares o multipolares revestidos, como los cables que cumplen las normas IEC 60245-4 o IEC 60227-4.	

Ejemplo

Datos de la instalación:

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$I_{cp} = 45 \text{ kA}$$

Considerar el cuadro de la figura, en el que los embarrados verticales se derivan desde los embarrados principales.

Se trata de embarrados de 800 A con sección perfilada, incluidos en el Catálogo general de cuadros de distribución:

$$I_n 800, (IP 65)$$

$$I_{cw} \text{ máx. } 35 \text{ kA.}$$

Al tratarse de un sistema rígido con espaciadores, según la norma IEC 61439 la posibilidad de que se produzca un cortocircuito entre los embarrados es remota. Es necesario, no obstante, verificar que las tensiones reducidas de los interruptores automáticos en el lado de carga del sistema son compatibles con el cuadro de distribución.

Suponiendo que en los compartimentos hay los siguientes interruptores automáticos:

Tmax T3S250

Tmax T2S160

Debe comprobarse que, en el caso de un cortocircuito en cualquier salida, las limitaciones impuestas por el interruptor automático son compatibles con el sistema de embarrado.

Por lo tanto es preciso verificar que el interruptor automático que limita el pico y la energía representa un límite suficiente para el sistema de embarrado.

En el caso que nos ocupa se trata del T3S250 In250.

La comprobación se lleva a cabo del mismo modo que en el párrafo anterior:

Partiendo del valor I_{cw} del sistema de embarrado, resulta que:

$$- I_{pk \text{ sist}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2,1 = 73,5 \text{ (kA)}$$

$$- I^2t_{\text{ sist}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \text{ ((kA)}^2\text{s)}$$

Partiendo de las curvas de limitación y la energía específica pasante del T3S250 In 250 resulta que, a una corriente de cortocircuito prevista (I_{cp}) de 45 kA, corresponde lo siguiente:

$$- I_{p \text{ int}} < 30 \text{ kA}$$

$$- I^2t_{\text{ int}} < 2 \text{ [(kA)}^2\text{s]}$$

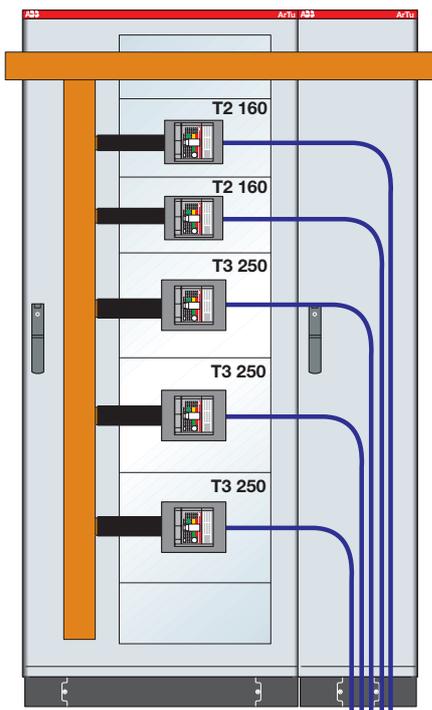
Ya que:

$$- I_{p \text{ int}} < I_{pk \text{ sist}}$$

$$- I^2t_{\text{ int}} < I^2t_{\text{ sist}}$$

el sistema de embarrado es compatible con el cuadro.

Figura 8.4



8.4 Verificación de cortocircuito conforme a las normas de diseño

Conforme a la nueva norma IEC 61439-1, la conformidad del cuadro en condiciones de cortocircuito puede demostrarse, además de las pruebas en laboratorio (I_{cw}), aplicando las normas de diseño oportunas, indicadas en la tabla siguiente (Tabla 13 de la norma IEC 61439-1).

No es necesaria ninguna prueba en laboratorio si, al comparar el cuadro a verificar con un proyecto de diseño

de referencia (ya comprobado) utilizando la tabla anterior, la respuesta a los requisitos comparados es "Sí".

Como puede deducirse de la tabla, los diseños derivados están en función de las pruebas realizadas en un proyecto de referencia porque solamente gracias a éstas es posible obtener una corriente de corta duración definida (I_{cw}) que a su vez permite obtener las otras dos variables permitidas del cuadro, es decir:

- la corriente de pico (I_{pk});
- la energía específica pasante que el cuadro puede resistir (I^2t).

Tabla 8.4

N.º de referencia	Requisitos a tener en cuenta	Sí	NO
1	¿El valor nominal de resistencia a cortocircuitos de cada circuito del CUADRO evaluado es inferior o igual a la del diseño de referencia?		
2	¿Las dimensiones de la sección transversal del embarrado y las conexiones de cada circuito del CUADRO evaluado son mayores o iguales que las del diseño de referencia?		
3	¿La distancia de separación de los embarrados y las conexiones de cada circuito del CUADRO evaluado son mayores o iguales que las del diseño de referencia?		
4	¿Los soportes de los embarrados de cada circuito del CUADRO evaluado son del mismo tipo, perfil y material, y tienen la misma - o menor - separación a lo largo del embarrado, que los del diseño de referencia?		
5	¿El material y las propiedades del material de los conductores de cada circuito del CUADRO evaluado son idénticos a los del diseño de referencia?		
6	¿Los dispositivos de protección contra cortocircuitos de cada circuito del CUADRO evaluado son equivalentes, es decir de la misma marca y serie ^{a)} , con las mismas o mejores características de limitación (I^2t , I_{pk}), según los datos del fabricante de los dispositivos, y tienen la misma disposición, que los del diseño de referencia?		
7	¿La longitud de los conductores con tensión desprotegidos, conforme a 8.6.4, de cada circuito no protegido del CUADRO evaluado es inferior o igual a la de los del diseño de referencia?		
8	Si el CUADRO evaluado incluye una envolvente, ¿el diseño de referencia incluía igualmente una envolvente cuando se verificó en la prueba?		
9	¿La envolvente del CUADRO evaluado es del mismo diseño, tipo y, como mínimo, las mismas dimensiones que la del diseño de referencia?		
10	Los compartimentos de cada circuito del CUADRO evaluado son del mismo diseño mecánico y, como mínimo, las mismas dimensiones que los del diseño de referencia?		

"Sí" a todos los requisitos: no son necesarias nuevas verificaciones.

"NO" a alguno de los requisitos: se necesitan más verificaciones; véase 10.11.4 y 10.11.5.

^{a)} Los dispositivos de protección contra cortocircuitos del mismo fabricante pero de distinta serie pueden considerarse como equivalentes si el fabricante del dispositivo declara que las características de rendimiento son idénticas o mejores, en todos los aspectos relevantes, que las de la serie empleada para la verificación, como las características de poder de corte, poder de cierre y de limitación (I^2t , I_{pk}), y las distancias críticas, por ejemplo.

9 Verificación de las propiedades dieléctricas del cuadro

Entre las principales características de rendimiento (verificaciones de diseño) de un cuadro, además de la resistencia térmica y a cortocircuitos ya examinada, se encuentra la verificación de las propiedades dieléctricas.

A este respecto, la nueva versión de la norma IEC 61439 ha introducido una doble conformidad, confirmando de nuevo la tensión de aislamiento (U_i) y añadiendo la nueva tensión soportada a impulsos (U_{imp}).

Es importante señalar que el incremento que afecta a las diferentes tensiones que caracterizan un cuadro comienza con U_e , la tensión de empleo como función del valor real empleado en una instalación concreta, continúa con U_n , la tensión nominal del cuadro considerada y declarada en el catálogo correspondiente, sigue con U_i , la tensión nominal de aislamiento del cuadro a la cual hacen referencia las pruebas dieléctricas y concluye con U_{imp} , la tensión soportada a impulsos que representa el pico máximo que el sistema puede resistir; este valor pico es asignado por el fabricante original del sistema mediante verificaciones de diseño adecuadas.

9.1 Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial

Las modificaciones de la norma están orientadas hacia una cierta simplificación técnica.

En lo que se refiere a los valores eficaces de las tensiones de prueba que deben aplicarse en laboratorios (véase la Tabla 8 de la norma IEC 61439-1, mostrada a continuación), puede observarse que se han reducido en comparación con la edición anterior, aunque se mantiene la posibilidad de realizar la verificación de los circuitos principales tanto con corriente alterna como continua, conservando, no obstante, la relación tradicional 1,41.

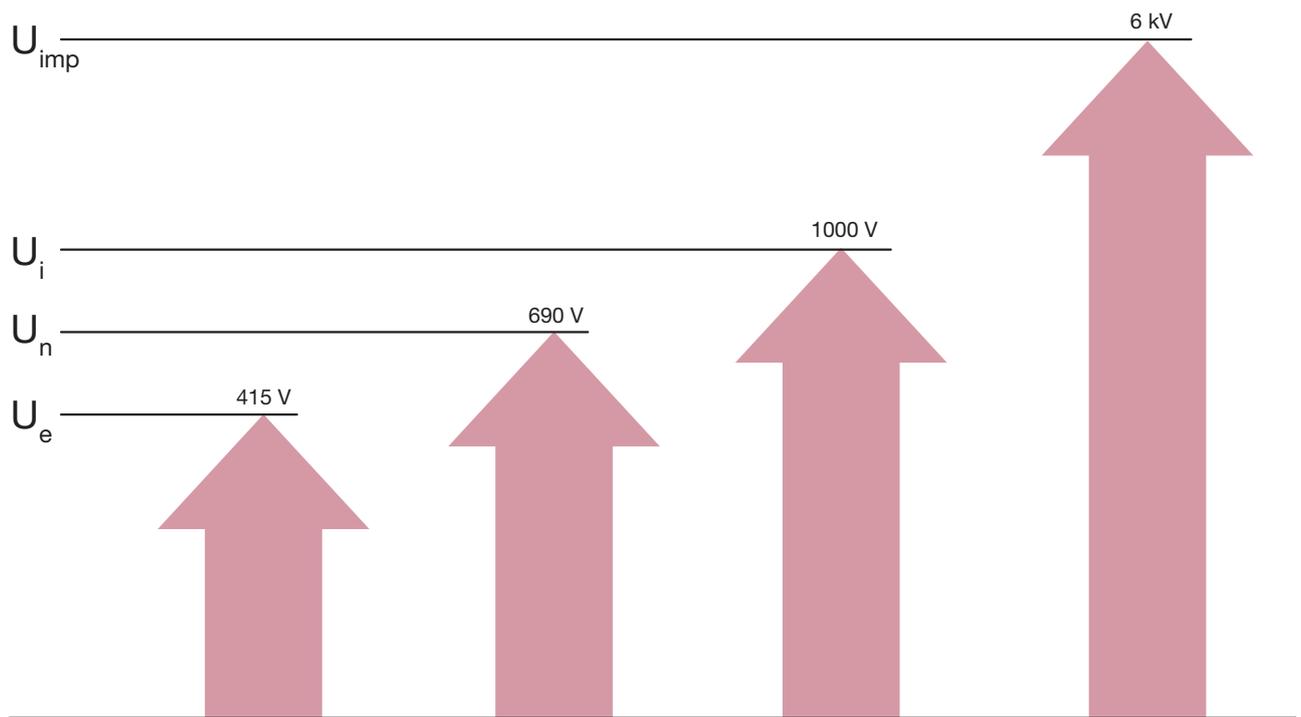
Tabla 9.1

Tensión nominal de aislamiento U_i (Entre las fases en CA o en CC) V	Tensión de prueba dieléctrica, valor rms de CA V	Tensión de prueba dieléctrica ^{b)} CC V
$U_i \leq 60$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2830
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
$1000 < U_i \leq 1500$ ^{a)}	-	3820

^{a)} Sólo para CC

^{b)} Tensiones de prueba basadas en 4.1.2.3.1, tercer párrafo, de la norma IEC 60664-1.

Figura 9.1



Esta prueba con corriente alterna a una frecuencia de 50 Hz permite definir la tensión nominal de aislamiento U_i y es necesaria y exclusiva, ya que no se acepta ninguna verificación alternativa, como emplear cálculos o normas de diseño. Por lo tanto, se trata de una prueba obligatoria para el fabricante original.

La prueba se realiza en dos fases, tanto con los circuitos principales como los circuitos auxiliares, una vez desconectada la alimentación y el lado de carga de todos los circuitos activos.

En lo referido a los circuitos principales, se han definido dos procedimientos distintos para la aplicación de la tensión de prueba:

- en primer lugar en todos los circuitos activos cortocircuitados entre ellos y la envolvente puesta a tierra (1ª prueba)
- a continuación, cada polo principal respecto a los demás polos cortocircuitados entre ellos y la envolvente puesta a tierra (2ª prueba).

La tensión de prueba, generada con equipos de laboratorio adecuados, se aplica mediante las tradicionales pinzas de seguridad a las partes que van a ser comprobadas. El método descrito, que supone la aplicación de una pendiente con valores en aumento hasta un máximo que se mantendrá durante cinco segundos, evidencia una reducción del tiempo de aplicación de la tensión de prueba (que anteriormente requería un minuto).

Para los circuitos auxiliares, que normalmente tienen tensiones de servicio inferiores a las de los circuitos principales, la nueva norma IEC 61439 define la Tabla 9 (véase la Tabla 9.2).

Tabla 9.2

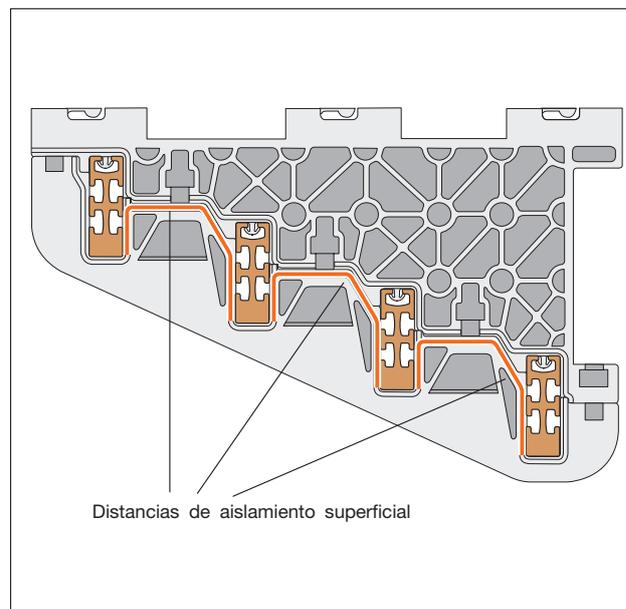
Tensión de aislamiento nominal U_i (entre fases) V	Tensión de prueba dieléctrica (CA rms) V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$60 < U_i$	$2 U_i + 1000$ con un mínimo de 1500

De forma similar a la prueba de tensión con corriente alterna descrita, se verifican las distancias de aislamiento mínimas en el interior del cuadro; este requisito incluye a

todos los componentes internos que disponen de partes aisladas entre las partes activas y la tierra.

Normalmente los puntos críticos a los que debe prestarse más atención son los soportes del embarrado y los terminales aislados.

Figura 9.2



Como es habitual, este procedimiento deberá tener en cuenta también el tipo de material aislante y su respectivo coeficiente de tracking CTI (en voltios), que expresa la tensión máxima que es posible resistir sin que se produzcan descargas. Cuanto más valioso sea el producto (vidrio, materiales cerámicos), más alto será este coeficiente (600 o más) y menor será el grupo de materiales relevante.

Tabla 9.3

Grupo de materiales	CTI tracking	
I	> 600	
II	600	> 400
IIIa	400	> 175
IIIb	175	> 100

Todo lo anterior se resume en la Tabla siguiente, que muestra las distancias de aislamiento superficial mínimas en milímetros para cada componente alojado en el cuadro como función de la tensión nominal de aislamiento U_i , el grado de contaminación y el grupo de materiales.

La medición directa de estos segmentos rara vez descubre situaciones críticas, ya que las tolerancias mecánicas y geométricas normales superan con mucho estos valores.

Tabla 9.4

Tensión nominal de aislamiento U_i V	Distancias de aislamiento superficial mínimas (mm)							
	Grado de contaminación							
	1 Grupo de materiales	2 Grupo de materiales			3 Grupo de materiales			
	I	I	II	IIIa y IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
40	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	1,8
50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	1,9
63	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	2	2
80	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,1
100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2	2,2	2,2
125	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	2,1	2,4	2,4
160	1,5	1,5	1,5	1,6	2	2,2	2,5	2,5
200	1,5	1,5	1,5	2	2,5	2,8	3,2	3,2
250	1,5	1,5	1,8	2,5	3,2	3,6	4	4
320	1,5	1,6	2,2	3,2	4	4,5	5	5
400	1,5	2	2,8	4	5	5,6	6,3	6,3
500	1,5	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8,0	8,0
630	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	10
800	2,4	4	5,6	8	10	11	12,5	
1000	3,2	5	7,1	10	12,5	14	16	
1250	4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	
1600	5,6	8	11	16	20	22	25	

9.2 Prueba de tensión soportada a impulsos

Aunque anteriormente era opcional, la prueba de sobretensión que permite definir la tensión nominal soportada a impulsos U_{imp} es actualmente obligatoria, lo que demuestra que la estrategia de las normas está dirigida a subrayar la importancia de esta característica.

Además de las sobretensiones temporales, normalmente provenientes de la red de suministro, las instalaciones y sus cuadros son víctimas potenciales de picos y sobretensiones transitorias no lineales provocadas por fenómenos atmosféricos (rayos) tanto directas, cuando afectan materialmente a la estructura, como indirectos, cuando su efecto es generado por los campos electromagnéticos inducidos en torno al punto de impacto del rayo. La capacidad de los cuadros para resistir estas fuerzas depende en su totalidad de la resistencia dieléctrica del aire entre las dos partes con tensión sobre las cuales se sostiene el impulso. Anteriormente esta característica solamente podía definirse mediante pruebas; según la nueva norma IEC 61439 la verificación mediante “norma de diseño” es igualmente aceptable como alternativa, con la misma validez que las pruebas.

La prueba requiere aplicar un impulso de tensión de 1,2/50 μs (véase la Figura 9.3) siguiendo un procedimiento específico.

La sobretensión deberá aplicarse cinco veces a intervalos mínimos de 1 segundo entre:

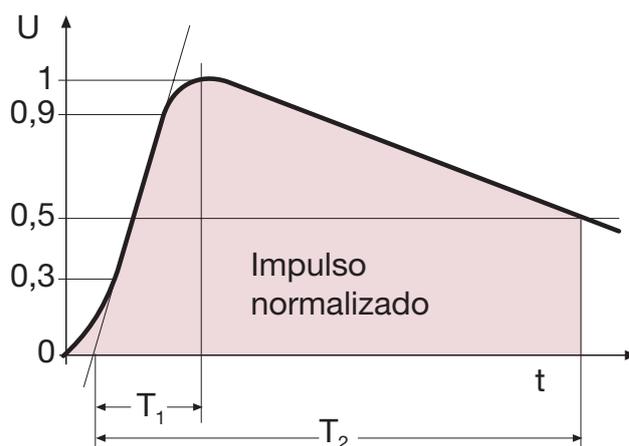
- todos los circuitos cortocircuitados entre sí y la envolvente puesta a tierra
- cada polo, respecto a los demás polos cortocircuitados entre sí con la envolvente puesta a tierra.

Una vez definido el perfil del impulso, el otro valor que permite la verificación es el valor pico, que representa el valor máximo absoluto de la función.

La tendencia actual, como puede observarse en las tablas de la norma IEC 61439-1, destaca algunas cifras redondas, como seis, ocho, diez y doce kV.

La prueba directa se realiza conforme a una tabla concreta (Tabla 10 de la norma IEC 61439-1, mostrada a continuación), que sugiere alternativas entre impulso efectivo, corriente alterna (valor rms) y corriente continua, con un valor definido como función de la altitud y, por lo tanto, de la calidad del aire ambiente en torno al cuadro probado. La prueba se considera superada si no se detectan descargas.

Figura 9.3



T1: Tiempo del pico = 1,2 μs

T2: Tiempo a la mitad del valor de U = 50 μs

Tabla 9.5

Tensión nominal soportada a impulsos U_{imp} (kV)	Tensiones soportada a impulsos									
	Nivel del mar	U1,2/50, CA pico y CC (kV)				Valor de CA rms (kV)				
		200 m	500 m	1000 m	2000 m	Nivel del mar	200 m	500 m	1000 m	2000 m
2,5	2,95	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2	2	1,9	1,8
4	4,8	4,8	4,7	4,4	4	3,4	3,4	3,3	3,1	2,8
6	7,3	7,2	7	6,7	6	5,1	5,1	5	4,7	4,2
8	9,8	9,6	9,3	9	8	6,9	6,8	6,6	6,4	5,7
12	14,8	14,5	14	13,3	12	10,5	10,3	9,9	9,4	8,5

La verificación mediante normas de diseño (como alternativa a la prueba) deberá confirmar que la separación entre todas las partes con tensión y sujetas a riesgo de descarga es de, como mínimo, 1,5 veces los valores especificados en la Tabla 1 de la norma IEC 61439-1 (ver tabla 9.6).

El factor de seguridad de 1,5 tiene en cuenta las tolerancias de fabricación.

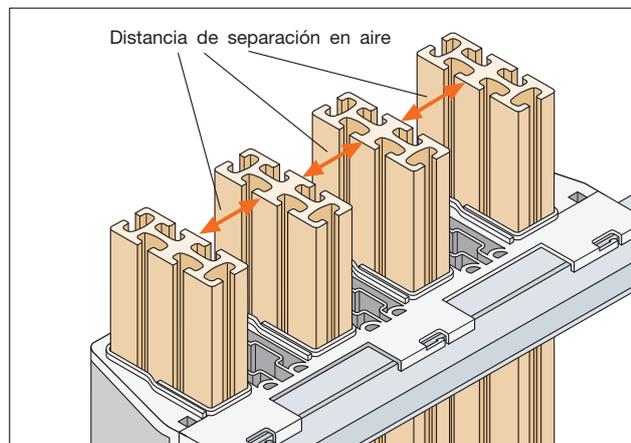
Tabla 9.6

Tensión nominal soportada a impulsos U_{imp} (kV)	Distancia mínima de separación en aire (mm)
$\leq 2,5$	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0

^{a)} Basada en condiciones de campo heterogéneas y grado de contaminación 3.

Las distancias de separación mínimas deben ser verificadas mediante medición o comprobación de las medidas en los planos de diseño.

Figura 9.4



Es evidente que, para garantizar que todo el cuadro tenga un valor U_{imp} concreto, además de la prueba o la verificación de la normas de diseño que confirmen esta característica, todos los componentes instalados en el interior del cuadro deberán tener a su vez un valor U_{imp} igual o mayor.

Desde hace años el sistema ArTu garantiza tanto rigidez dieléctrica a 50 Hz como resistencia a los impulsos de tensión; más concretamente:

- las versiones L y M tienen:
 - * $U_n = 690\text{ V}$
 - * $U_i = 1000\text{ V}$
 - * $U_{imp} = 6\text{ kV}$ en instalación en pared y 8 kV en instalación en el suelo
- la versión K tiene
 - * U_n y $U_i = 1000\text{ V}$
 - * $U_{imp} = 8\text{ kV}$

10 Protección contra descargas eléctricas

Los siguientes requisitos tienen como fin garantizar que se han tomado las medidas de protección requeridas cuando el cuadro se instala en la instalación eléctrica, conforme a las normas correspondientes.

10.1 Protección contra el contacto directo

La protección contra el contacto directo puede obtenerse tanto mediante la construcción del cuadro mismo como por medio de medidas complementarias utilizadas durante la instalación.

Las medidas de protección contra el contacto directo son:

- Protección mediante aislamiento de las partes con tensión

Las partes con tensión deben estar completamente cubiertas por un aislamiento que únicamente puede ser retirado mediante su destrucción.

Este aislamiento deberá estar fabricado con materiales adecuados, capaces de resistir el esfuerzo mecánico, eléctrico y térmico al que pueda estar sometido el aislamiento durante el servicio.

Pinturas, barnices, lacados y productos similares no se consideran adecuados por sí solos para proporcionar un aislamiento adecuado que proteja contra el contacto directo.

- Protección mediante barreras o envolventes

Todas las superficies externas deberán tener un grado de protección igual a IP XXB, como mínimo.

Las superficies horizontales accesibles cuya altura sea igual o menor de 1,6 m deberán proporcionar un grado de protección igual a IP XXD, como mínimo.

La distancia entre los elementos mecánicos previstos para la protección y las partes con tensión a las que protegen no deben ser inferiores a los valores especificados para las distancias de aislamiento en aire y superficial.

Todas las barreras y envolventes deberán estar firmemente sujetas. Deberán tener la estabilidad y resistencia suficientes, teniendo en cuenta su naturaleza, dimensiones y disposición, para resistir las tensiones y esfuerzos que probablemente se produzcan durante el servicio normal sin que se reduzcan las distancias de aislamiento en aire.

- Protección mediante obstáculos

Esta medida se aplica a un cuadro de tipo abierto.

10.2 Protección contra el contacto indirecto

El usuario debe indicar la medida de protección empleada en la instalación a la cual está destinado el cuadro.

Las medidas de protección contra el contacto indirecto son:

- Uso de circuitos de protección

Es posible establecer un circuito de protección (coordinado con un dispositivo para la desconexión automática del suministro) independiente de la envolvente metálica o bien utilizar la misma envolvente como parte del circuito de protección.

Las partes conductoras expuestas de un cuadro que no supongan ningún peligro bien porque están fuera del alcance o no puedan ser agarradas con la mano por ser de pequeño tamaño (como tornillos, placas electrónicas, etc.) no necesitan estar conectadas a los circuitos de protección.

Los elementos de maniobra manuales, como palancas, asas u otros elementos metálicos deberán estar conectados de forma segura con las partes conectadas a los circuitos de protección o disponer de aislamiento adicional adecuado para la tensión de aislamiento máxima del cuadro. Las partes metálicas cubiertas con una capa de barniz o esmalte no pueden considerarse, por regla general, adecuadamente aisladas para cumplir estos requisitos.

En el caso de tapas, puertas, cubiertas y similares, se considera que las conexiones atornilladas y bisagras metálicas normales son suficientes para garantizar la continuidad, siempre que no haya ningún equipo eléctrico que requiera puesta a tierra sujeto a ellas. En este caso, las partes con tensión deberán estar conectadas mediante un conductor de protección con una sección transversal igual a la sección transversal máxima del conductor de fase que alimenta al cuadro. La sección transversal de los conductores de protección (PE, PEN) en un cuadro destinado a estar conectado a conductores externos deberá determinarse empleando uno de los métodos siguientes:

- a) La sección transversal del conductor de protección no debe ser inferior al valor correspondiente que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 10.1

Sección transversal del conductor de fase S (mm)	Sección transversal mínima del conductor de protección correspondiente S (mm)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 400$	S/2
$400 < S \leq 800$	200
$S > 800$	S/4

Si se obtiene un valor no estándar al aplicar la Tabla 10.1, deberá utilizarse la sección transversal estándar más grande que más se aproxime al valor calculado.

Los valores de esta tabla solamente son válidos si el conductor de protección (PE, PEN) está fabricado

con el mismo material que el conductor de fase. En caso contrario, la sección transversal del conductor de protección (PE, PEN) deberá determinarse de forma que proporcione una conductancia equivalente a la resultante de aplicar la Tabla 10.1.

Se deberán aplicar los siguientes requisitos adicionales para conductores PEN:

- la sección transversal mínima deberá ser de 10 mm² para un conductor de cobre y de 16 mm² para uno de aluminio;
- la sección transversal del conductor PEN no debe ser inferior a la del conductor neutro*;
- no es necesario aislar los conductores PEN en el interior del cuadro;
- no deben utilizarse partes estructurales como conductor PEN. Es posible, no obstante, utilizar guías de montaje fabricadas en cobre o aluminio como conductores PEN;
- en determinadas aplicaciones en las cuales la corriente del conductor PEN puede alcanzar valores elevados como, por ejemplo, grandes instalaciones de lámparas fluorescentes, puede ser necesario emplear un conductor PEN con una capacidad de conducción de corriente igual o mayor que la de los conductores de fase; este punto debe ser acordado específicamente entre el fabricante y el usuario.

* La sección transversal mínima del neutro en un circuito trifásico más neutro deberá ser:

- para circuitos con un conductor de fase con una sección transversal $S \leq 16 \text{ mm}^2$, el 100% del de las fases correspondientes;
- para circuitos con un conductor de fase con una sección transversal $S > 16 \text{ mm}^2$, el 50% del de las fases correspondientes, con un mínimo de 16 mm².

Se parte del supuesto que las corrientes neutras no son mayores del 50% de las corrientes de fase.

b) la sección transversal del conductor de protección (PE, PEN) puede calcularse con ayuda de la siguiente fórmula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

Esta fórmula se utiliza para calcular la sección transversal, de los conductores de protección, que se necesita para resistir el esfuerzo térmico causado por corrientes con una duración de entre 0,2 y 5 segundos, donde:

S_p es el área de la sección, expresada en mm²;

I es el valor rms de la corriente de fallo (en CA) que circula a través del dispositivo de protección, en amperios, para un fallo de impedancia despreciable;

t es el tiempo de disparo del dispositivo de interrupción, en segundos;

k es un factor cuyo valor depende del material del conductor de protección, el aislamiento y otros elementos, así como de la temperatura inicial y final.

Valores del factor k para conductores de protección aislados no incorporados en cables o conductores de protección expuestos en contacto con el revestimiento de los cables.

Tabla 10.2

		PVC	Conductores desnudos XLPE EPR	Caucho butílico
Temperatura final		160 °C	250 °C	220 °C
K del conductor	cobre	143	176	166
	aluminio	95	116	110
	acero	52	64	60

Nota: Se parte del supuesto de que la temperatura inicial de los conductores es de 30 °C.

Las partes conductoras expuestas de un dispositivo que no puedan ser conectadas al circuito de protección por medio de sus propios elementos de sujeción deberán estar conectadas al circuito de protección del cuadro mediante un conductor cuya sección transversal deberá seleccionarse conforme a la tabla siguiente:

Tabla 10.3

Intensidad nominal de empleo I _n (A)	Sección transversal mínima del conductor de protección equipotencial (mm ²)
I _n ≤ 20	S
20 < I _n ≤ 25	2,5
25 < I _n ≤ 32	4
32 < I _n ≤ 63	6
63 < I _n	10

S: Sección transversal del conductor de fase

- Protección por medios distintos de los circuitos de protección

Los cuadros eléctricos pueden ofrecer protección contra el contacto indirecto mediante las siguientes opciones, que no requieren un circuito de protección:

- a) separación eléctrica de los circuitos;
- b) aislamiento completo.

10.3 Manejo seguro del cuadro

La protección del personal no cualificado debe estar garantizada al utilizar el cuadro, tanto durante su funcionamiento como al sustituir pequeños componentes, como lámparas o fusibles.

Otras operaciones más complejas o peligrosas deberán ser realizadas exclusivamente por personal autorizado, actuando con procedimientos específicos y el uso de componentes de protección concretos relacionados con el acceso al cuadro para:

- inspecciones y controles;
- mantenimiento;
- trabajos de ampliación con partes con tensión.

11 Recomendaciones prácticas para la construcción de cuadros

11.1 Construcción del cuadro eléctrico

El montaje de los distintos componentes mecánicos y eléctricos (envolventes, embarrados, unidades funcionales, etc.) que constituyen el cuadro definido por el fabricante original deberá realizarse conforme a las instrucciones (catálogo técnico o manual de instrucciones de montaje) del fabricante.

Una vez preparadas las piezas sueltas que van a ser montadas, el primer paso es construir la estructura metálica. Cuando se trata de un cuadro ArTu, la estructura puede estar ya disponible como estructura monobloque, como en el caso del ArTu M, o ser compuesta, como con los cuadros ArTu L y K.

En cuadros de tamaño pequeño o medio, la instalación de los componentes en el interior del cuadro puede llevarse a cabo más fácilmente colocando la envolvente en posición horizontal sobre unos caballetes adecuados. De este modo se evita tener que alzar los brazos y doblar las piernas como sería necesario si la envolvente estuviera en posición vertical.

Otra ventaja que ofrece en relación con el acceso interno es que permite trabajar sin los paneles metálicos laterales de la estructura, dejando al descubierto todo el sistema de cableado interno.

Obviamente, lo más adecuado es montar los aparatos desde el centro hacia fuera, conectando los cables poco a poco e introduciéndolos en los conductos para cables correspondientes.

En esta fase debe prestarse especial atención a las distancias mínimas de aislamiento (en aire y superficial) entre las distintas partes con tensión y la parte conductora expuesta.

11.2 Posicionamiento de los interruptores automáticos

A continuación se ofrecen varias recomendaciones generales acerca del mejor modo de situar los interruptores automáticos en el interior del cuadro.

El cuadrista es el más adecuado para diseñar la parte frontal del cuadro de distribución, ya que es quien mejor conoce los detalles de la instalación, su uso y lugar de instalación.

- Una buena norma general consiste en intentar situar los interruptores automáticos de modo que las trayectorias de las corrientes más altas sean las más cortas, reduciendo así la pérdida de potencia en el interior del cuadro, lo que ofrece evidentes beneficios desde el punto de vista térmico y económico.

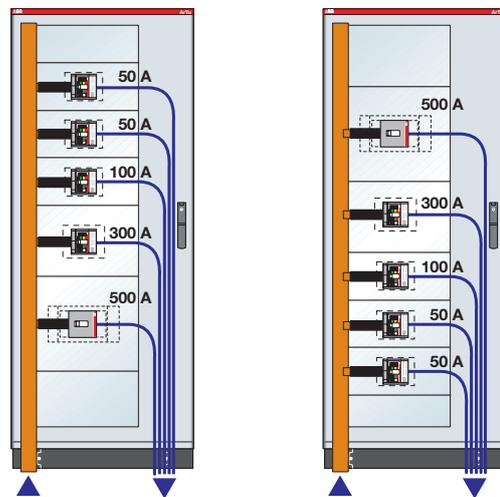
Figura 11.1

Método de posicionamiento recomendado:

La corriente más ALTA (500 A) sigue la trayectoria más CORTA

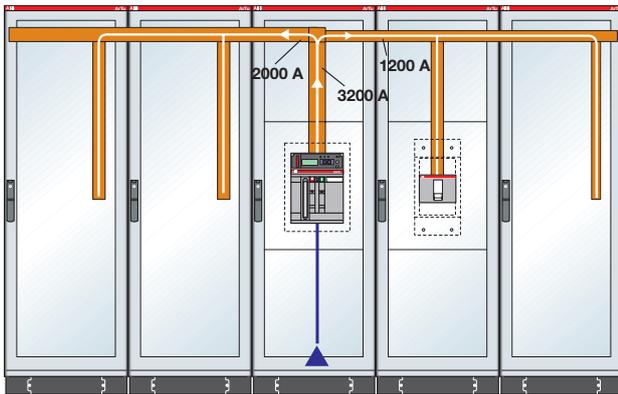
Método de posicionamiento NO recomendado:

La corriente más ALTA (500 A) sigue la trayectoria más LARGA



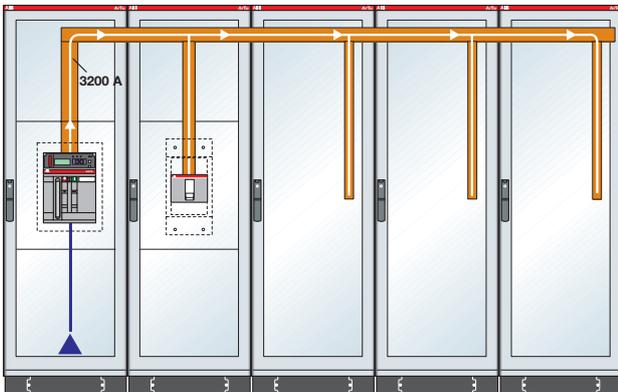
- En el caso de cuadros con numerosas columnas, es aconsejable situar el interruptor automático principal (int. general) en la columna central. De esta forma la corriente se divide inmediatamente entre las dos ramificaciones del cuadro y es posible reducir la sección transversal de los embarrados de distribución principales.

Figura 11.2



En el ejemplo de la figura el sistema de embarrado principal puede dimensionarse para 2000 A, con una ventaja económica considerable.

Figura 11.3

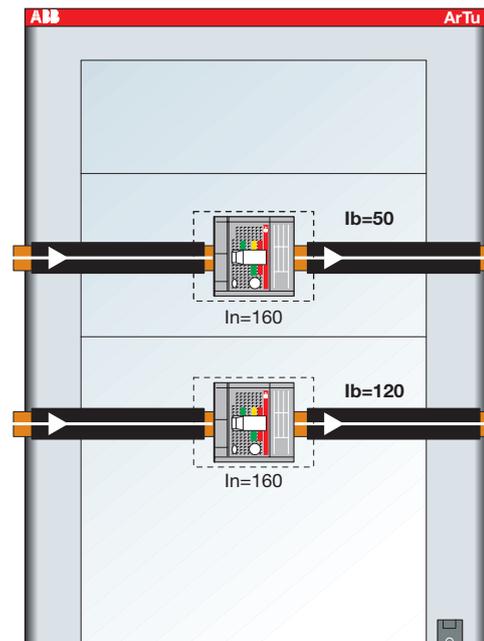


En este caso, por el contrario, el sistema de embarrado principal debe dimensionarse para conducir 3200 A.

- Es recomendable situar los interruptores automáticos más grandes (y por lo tanto los más pesados) en la parte inferior. Esto proporciona mayor estabilidad al cuadro, especialmente durante el transporte y la instalación.
- En un cuadro eléctrico la temperatura varía en dirección vertical:
 - las áreas más bajas son las más frías;
 - las áreas más altas son las más calientes;

Por esta razón es aconsejable situar en la parte inferior los aparatos por los que circula una corriente próxima al valor nominal (más cargados) y en la parte superior los aparatos por los que circula una corriente más alejada del valor nominal (más descargados).

Figura 11.4



- Para facilitar la maniobra de grandes aparatos es recomendable situarlos a una distancia de entre 0,8 y 1,6 m de la tierra.

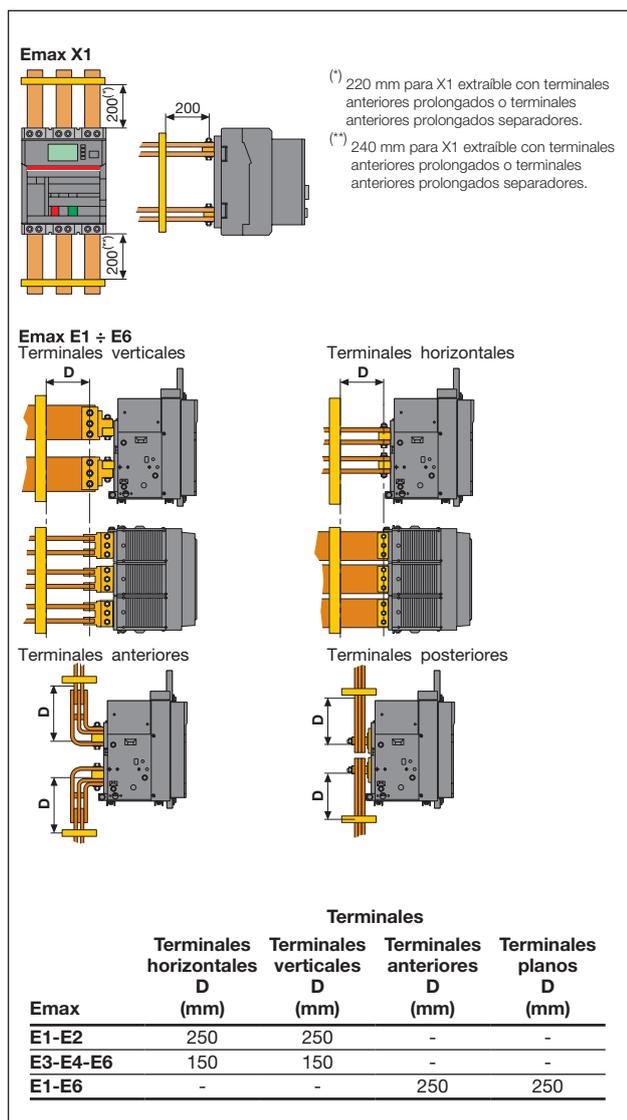
11.3 Anclaje de los conductores cerca de los interruptores automáticos

Es necesario que los cables y los embarrados en el interior de los cuadros estén sujetos a la estructura. De hecho, durante un cortocircuito las tensiones electrodinámicas generadas en los conductores podrían dañar los terminales de los interruptores automáticos.

Emax

La Figura 11.5 proporciona, para los interruptores de bastidor abierto Emax, un ejemplo de distancia máxima en mm (D) a la cual deberá estar situada la primera placa de anclaje de los embarrados conectados al interruptor automático, dependiendo del tipo de terminal, y haciendo referencia al valor máximo permitido de corriente de cortocircuito y su pico correspondiente. Para obtener más detalles deben consultarse los catálogos técnicos y los manuales de los interruptores automáticos.

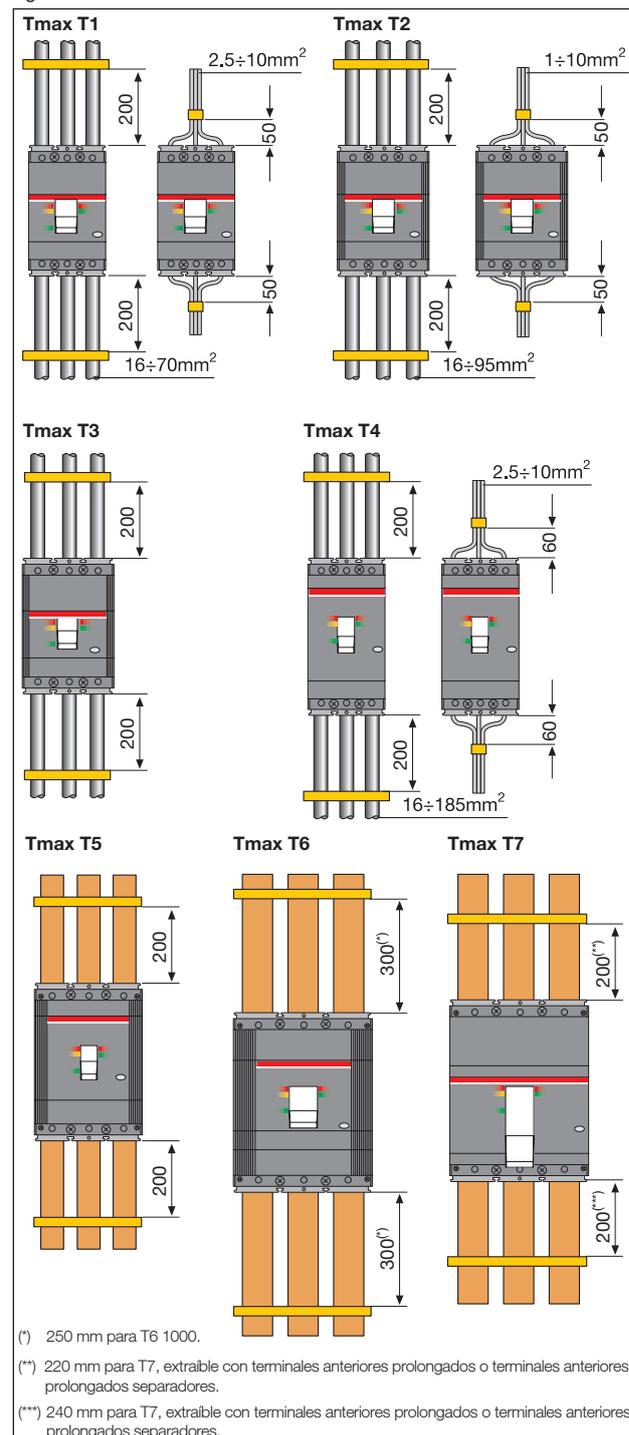
Figura 11.5



Tmax

La Figura 11.6 proporciona un ejemplo de la distancia máxima sugerida (en mm) a la cual debe situarse la primera placa de anclaje para los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax dependiendo del tipo de terminal y haciendo referencia al valor máximo de corriente pico permitido para el interruptor. Para obtener más detalles deben consultarse los catálogos técnicos y los manuales de los interruptores automáticos.

Figura 11.6



Los diagramas que figuran a continuación indican las distancias máximas permitidas entre los terminales del interruptor automático y la primera placa de anclaje de los conductores, en función del pico de corriente de cortocircuito máximo previsto y la tipología de los interruptores automáticos.

Cuando se habla de conductores se hace referencia a lo siguiente:

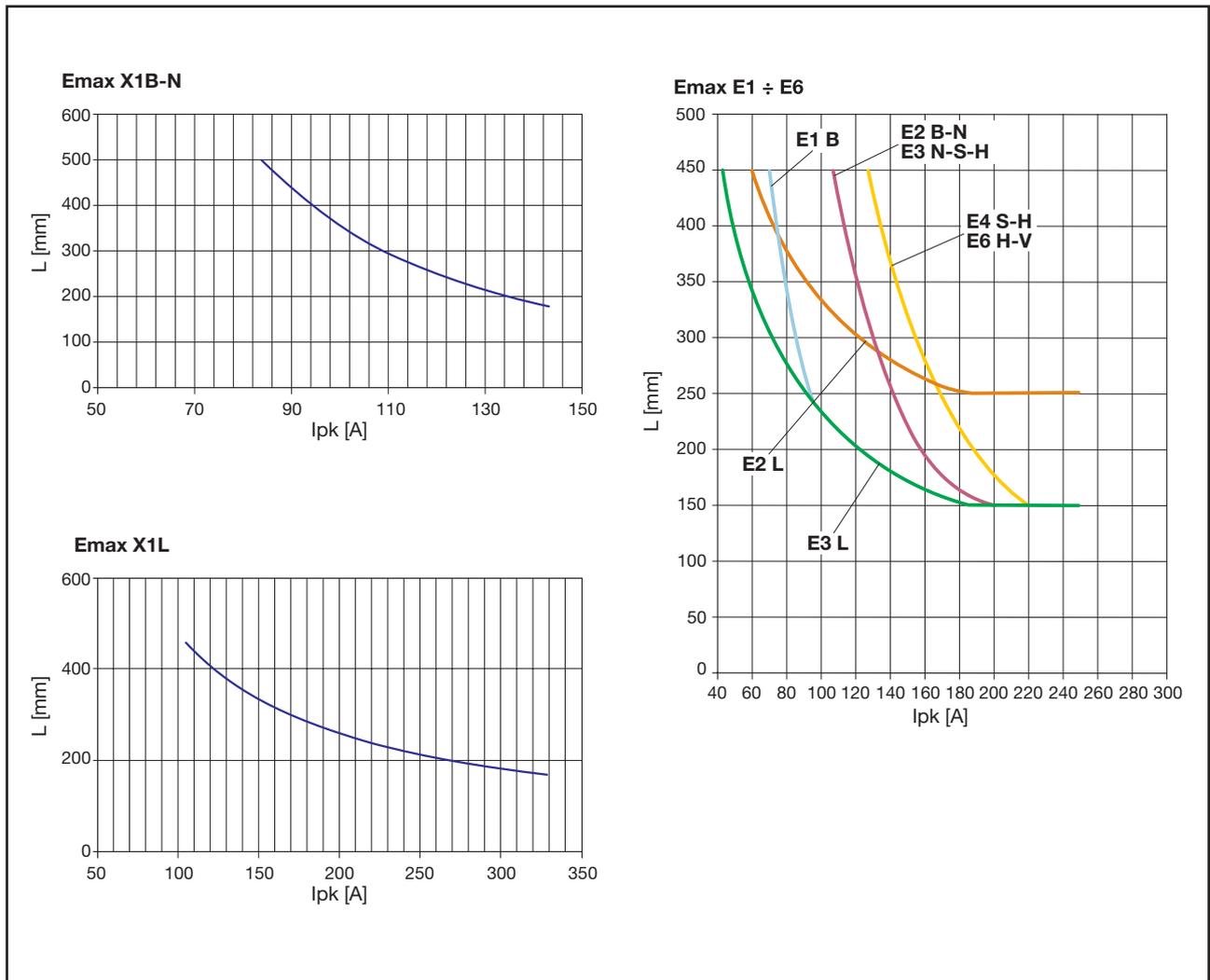
- cables para valores de corriente de hasta 400 A (incluidos);
- cables o barras equivalentes indicados en la Tabla 12 de la norma IEC 61439-1 para valores de corriente mayores de 400 A pero inferiores a 800 A;
- barras para valores de corriente mayores de 800 A pero inferiores a 4000 A.

Esta distinción se ha establecido conforme a las tablas 11 y 12 de la norma IEC 61439-1. Si los requisitos específicos demandan o prescriben el uso de barras también para corrientes menores de 400 A, las distancias que pueden derivarse de los diagramas no varían, aunque las distancias referidas al uso de barras no son válidas cuando se utilizan cables.

E_{max}

- Distancia de posicionamiento sugerida para la primera placa de anclaje del embarrado en función del pico máximo de corriente de cortocircuito previsto. Interruptor automático con terminales horizontales y verticales.

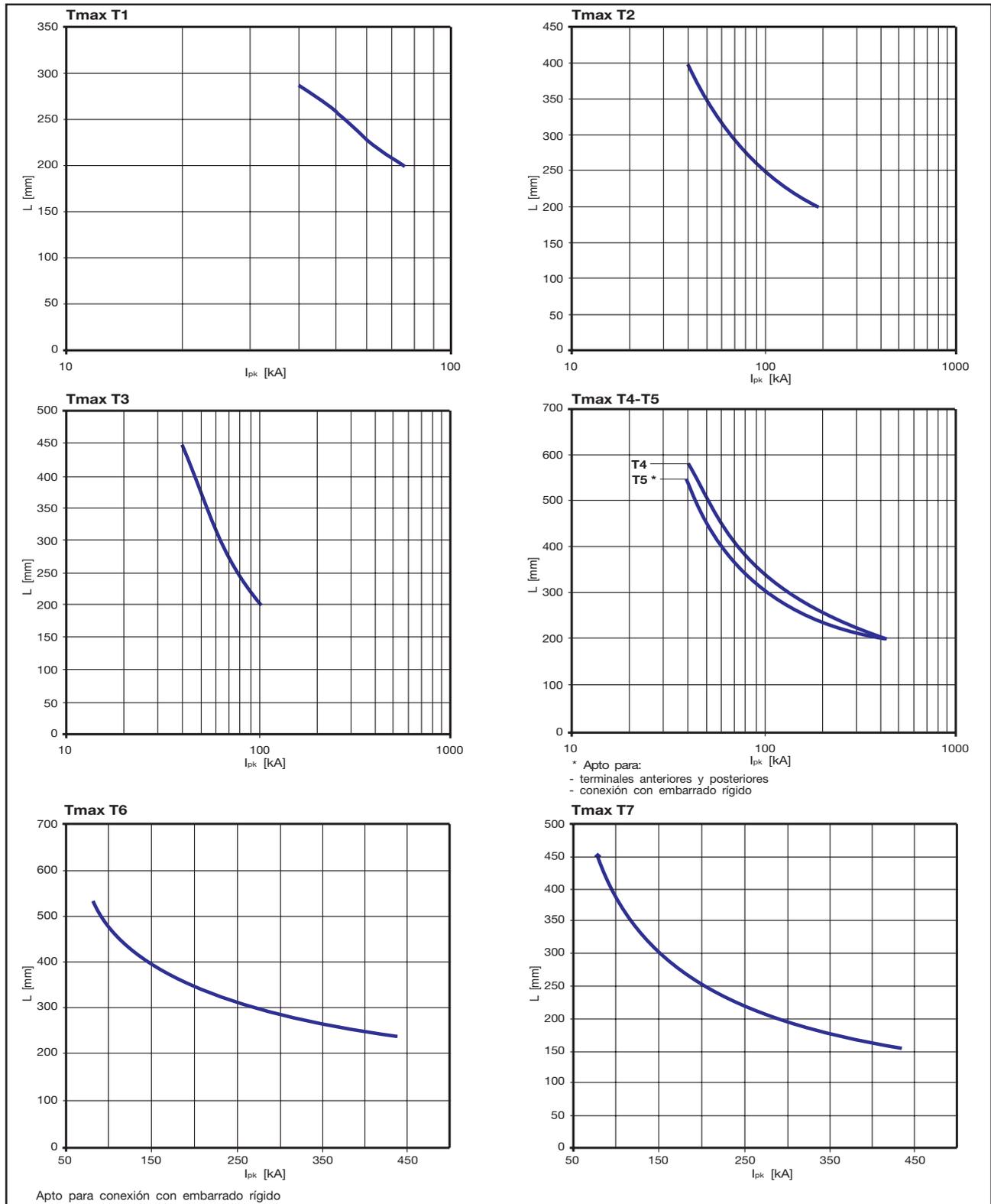
Figura 11.7



Tmax

- Distancia de posicionamiento sugerida para la primera placa de anclaje de los conductores en función del pico máximo de corriente de cortocircuito previsto.

Figura 11.8



11.4 Recomendaciones para la conexión de los interruptores automáticos al embarrado de distribución

A fin de establecer una conexión que permita un intercambio de calor adecuado entre los terminales y el sistema de distribución del cuadro, ABB ofrece algunas recomendaciones sobre la sección transversal mínima de los cables y embarrados que deben usarse.

La Tabla 11.1, a continuación, hace referencia a los interruptores automáticos en caja moldeada de las series Tmax T y Tmax XT, mientras que la Tabla 11.2 hace referencia a los interruptores de bastidor abierto serie Emax y Emax X1.

La sección transversal de los cables y embarrados indicada en las tablas 11.1 y 11.2 se emplea para determinar la capacidad de conducción de corriente al aire libre de los interruptores automáticos conforme a la norma IEC 60947-2.

Tabla 11.1

Interruptor automático Tmax T	In (A)	Cables (n //) x (mm ²)	Embarrados (n //) x (mm) x (mm)
T2	≤ 8	1	
T2-T4	10	1,5	
T1-T2	16	2,5	
T1-T2-T4	20	2,5	
T1-T2-T4	25	4	
T1-T2-T4	32	6	
T1-T2-T4	40	10	
T1-T2-T4	50	10	
T1-T2-T3-T4	63	16	
T1-T2-T3-T4	80	25	
T1-T2-T3-T4	100	35	
T1-T2-T3-T4	125	50	
T1-T2-T3-T4	160	70	
T3-T4	200	95	
T3-T4	250	120	
T4-T5	320	185	
T5	400	240	
T5	500	2x150	2x30x5
T5-T6	630	2x185	2x40x5
T6	800	2x240	2x50x5
T6-T7	1000	3x240	2x60x5
T7	1250	4x240	2x80x5
T7	1600	5x240	2x100x5

Interruptor automático Tmax XT	In (A)	Cables (n //) x (mm ²)
XT2	≤ 8	1
XT2	10	1,5
XT2	12,5	2,5
XT1-XT2-XT4	16	2,5
XT1-XT2-XT4	20	2,5
XT1-XT4	25	4
XT1-XT2-XT4	32	6
XT1-XT2-XT4	40	10
XT1-XT2-XT4	50	10
XT1-XT2-XT3-XT4	63	16
XT1-XT2-XT3-XT4	80	25
XT1-XT2-XT3-XT4	100	35
XT1-XT2-XT3-XT4	125	50
XT1-XT2-XT3-XT4	160	70
XT3-XT4	200	95
XT4	225	95
XT3-XT4	250	120

Tabla 11.2

Interruptor automático Emax X1	Terminales verticales (n //) x (mm) x (mm)	Terminales horizontales (n //) x (mm) x (mm)
X1 B/N/L 06	2x40x5	2x40x5
X1 B/N/L 08	2x50x5	2x40x5
X1 B/N 10	2x50x8	2x50x10
X1 L 10	2x50x8	2x50x10
X1 B/N 12	2x50x8	2x50x10
X1 L 12	2x50x8	2x50x10
X1 B/N 16	2x50x10	3x50x8

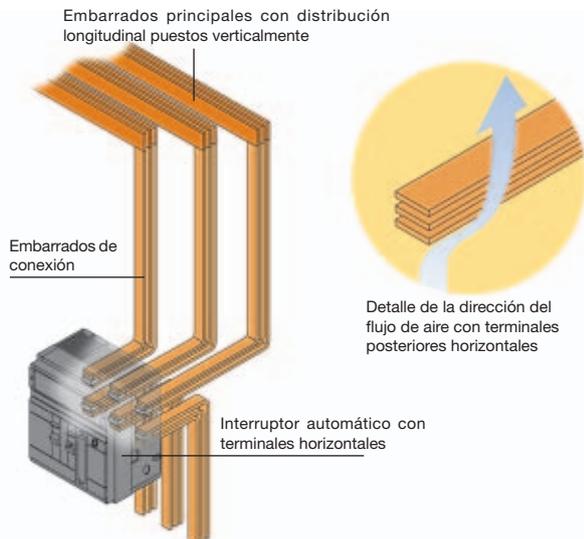
Interruptor automático Emax	Terminales verticales (n //) x (mm) x (mm)	Terminales horizontales y anteriores (n //) x (mm) x (mm)
E1B/N 08	1x(60x10)	1x(60x10)
E1B/N 12	1x(80x10)	2x(60x8)
E2B/N 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2B/N 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E2B/N 20	3x(60x10)	3x(60x10)
E2L 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2L 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E3S/H 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E3S/H 16	1x(100x10)	1x(100x10)
E3S/H 20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E3L20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3L 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E4H/V 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E4S/H/V 40	4x(100x10)	6x(60x10)
E6V 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E6H/V 40	4x(100x10)	4x(100x10)
E6H/V 50	6x(100x10)	6x(100x10)
E6H/V 63	7x(100x10)	-

A fin de mejorar la disipación de calor aprovechando la convección térmica*, es recomendable emplear terminales posteriores verticales que, en comparación con los horizontales, obstaculizan menos la circulación natural del aire (véase la Figura 11.9), incrementando de esta forma la disipación térmica.

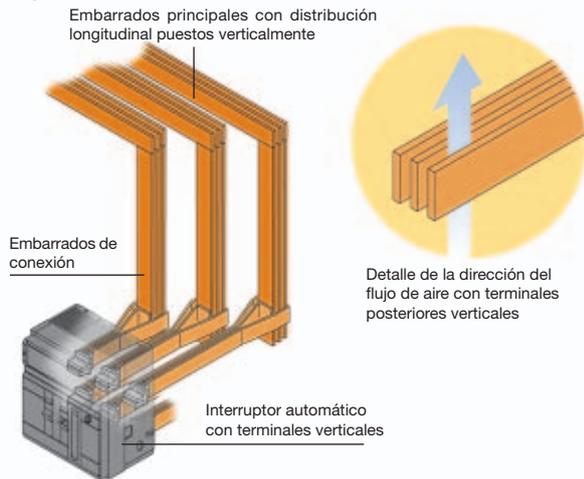
* Fenómeno basado en el movimiento convectivo del aire que, al calentarse, tiende a ascender

Figura 11.9

Interruptor automático con terminales horizontales y embarrados verticales



Interruptor automático con terminales verticales y embarrados principales verticales

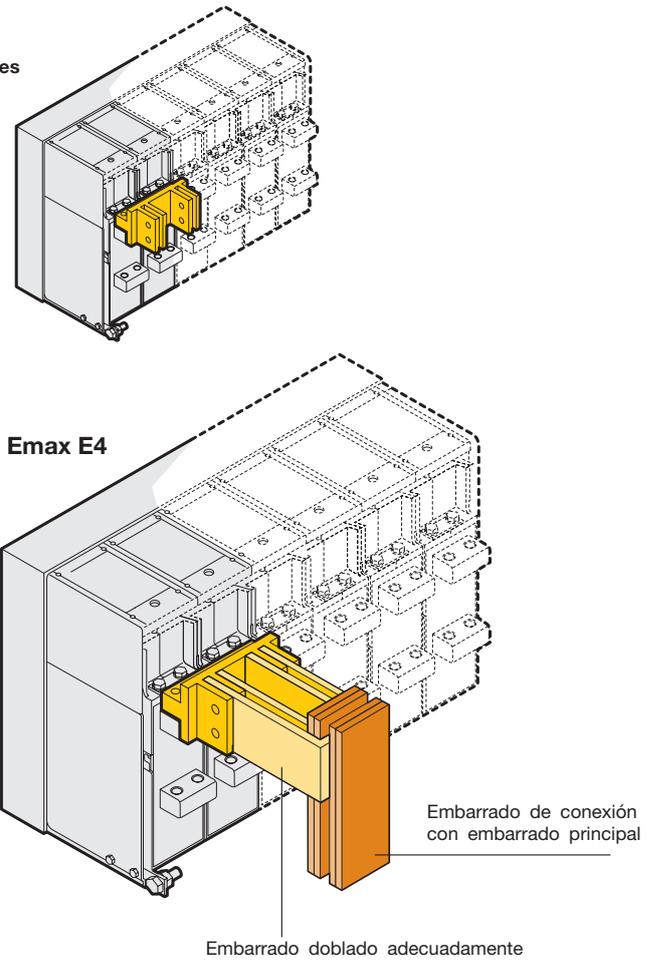


Como se muestra en la Figura 11.9, el uso de terminales verticales implica una complicada conexión con el sistema de embarrados principales dispuestos verticalmente y extendidos horizontalmente por el cuadro. Este problema no sucede con el mismo sistema de embarrado cuando los terminales de los interruptores automáticos son horizontales, ya que tanto embarrados como terminales están orientados siguiendo dos simples planos de conexión.

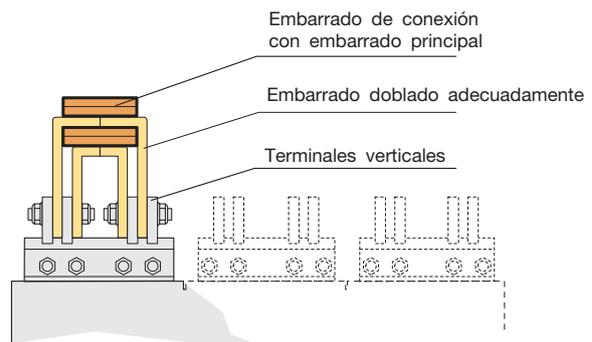
Para facilitar la conexión entre los terminales verticales de los interruptores automáticos Emax E4 y las barras de conexión con los embarrados principales es posible emplear barras dobladas adecuadamente, como puede verse en la Figura 11.10.

Figura 11.10

Terminales verticales para Emax E4 (detalle relativo a un polo)

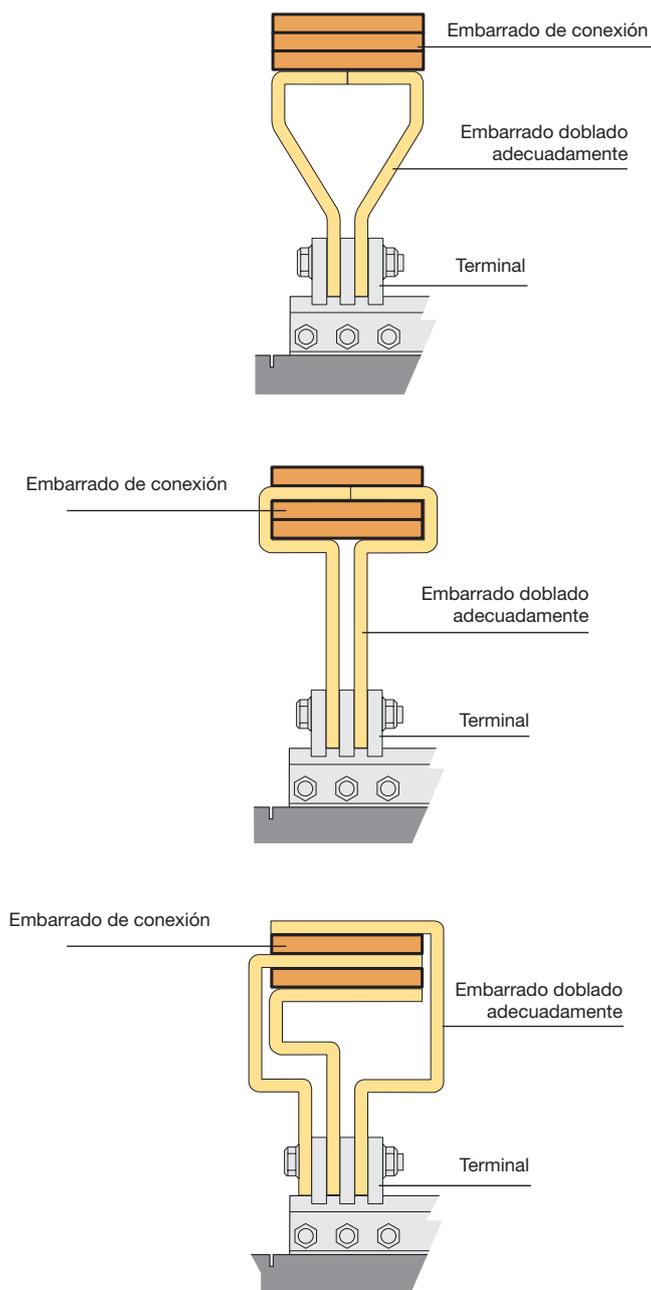


Vista cenital



Como ejemplo adicional, la Figura 11.11 muestra otras tres imágenes que representan posibles soluciones para la conexión de los terminales verticales al embarrado de conexión para interruptores automáticos Emax E3.

Figura 11.11

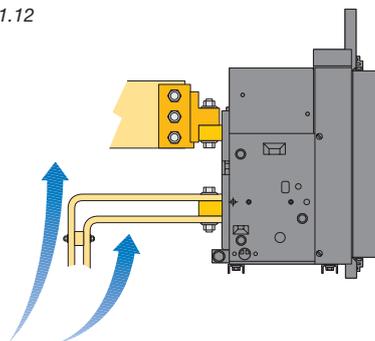


En el caso de terminales verticales superiores y terminales inferiores de otro tipo, o bien en el caso de terminales superiores e inferiores distintos, es necesario adoptar soluciones que no obstaculicen la circulación del aire hacia los terminales superiores.

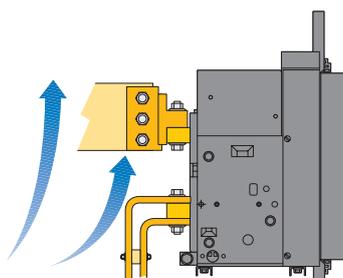
Como muestra la Figura 11.12, los terminales inferiores

no deben desviar excesivamente el flujo de aire e impedir que llegue a los terminales superiores, lo que supondría perder los beneficios de la refrigeración por convección.

Figura 11.12



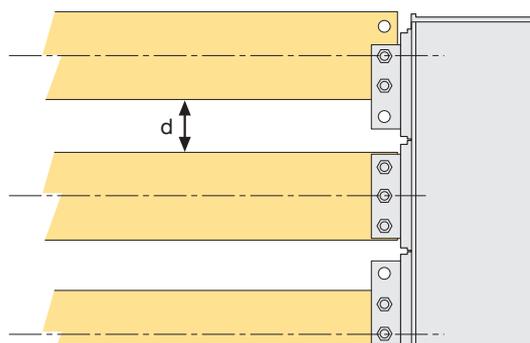
Conexión inferior con terminales posteriores horizontales. Se limita la circulación de aire cerca de los terminales superiores (verticales).



Conexión inferior con terminales anteriores. La circulación de aire cerca de los terminales superiores (verticales) sólo se reduce parcialmente.

En términos generales, la posición de los embarrados es especialmente importante para reducir el calentamiento de los terminales de los interruptores automáticos. Considerando que cuanto mayor sea la separación entre los embarrados más calor disiparán y que el terminal central superior es el que presenta más problemas desde del punto de vista térmico, es posible desalinear las conexiones externas con respecto a los terminales a fin de incrementar la distancia "d" y así reducir el calentamiento (por ejemplo en interruptores automáticos de tres polos, véase la Figura 11.13).

Figura 11.13



11.5 Recomendaciones para las distancias de instalación de los interruptores automáticos

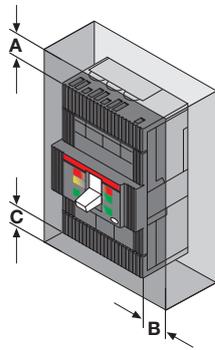
La norma IEC 61439-1 asigna al fabricante del interruptor automático la tarea de definir las recomendaciones y requisitos para la instalación de estos dispositivos en el cuadro.

Figura 11.14

A continuación, para los interruptores automáticos ABB de las series Tmax T, Tmax XT, Emax X1 y Emax, se indican las recomendaciones relativas a las distancias que deben respetarse en instalaciones de hasta 690 V CA; dichas distancias son las mismas especificadas en los catálogos técnicos y en los manuales de instalación, que deberán consultarse para un estudio en profundidad.

Tmax T

Distancias de aislamiento para instalación



Tmax	A (mm)	B (mm)	C (mm)
T1	25	20	20
T2	25	20	20
T3	50	25	20
T4	30 (*)	25	25 (*)
T5	30 (*)	25	25 (*)
T6	35 (**)	25	20
T7	50 (**)	20	10

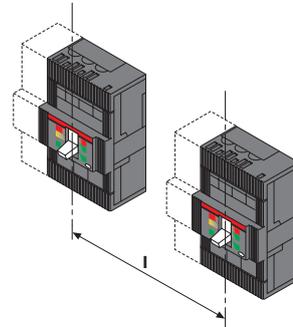
(*) Para $Un \geq 440$ V: A = 60 mm y C = 45 mm

(**) Para $Un \geq 440$ V (T6 y T7) o T6 L ($Un < 440$ V): A = 100 mm

Nota: Consulte a ABB en cuanto a las distancias de aislamiento de los interruptores automáticos de 1000 V.

Distancia entre dos interruptores automáticos lado a lado

Para el montaje lado a lado, verifique que los embarrados o los cables de conexión no reducen la distancia de aislamiento en aire.



Distancia mínima entre centros para dos interruptores automáticos lado a lado

Tmax	Ancho interruptor automático (mm)		Distancia entre centros I (mm)	
	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos
T1	76	101	77	102
T2	90	120	90	120
T3	105	140	105	140
T4	105	140	105 (*)	140 (*)
T5	140	184	140 (**)	184 (**)
T6	210	280	210	280
T7	210	280	210	280

(*) Para $Un \geq 500$ V: I (3 polos) = 145 mm; I (4 polos) = 180 mm.

(**) Para $Un \geq 500$ V: I (3 polos) = 180 mm; I (4 polos) = 226 mm.

Distancia mínima entre dos interruptores automáticos superpuestos

Para el montaje superpuesto, verifique que los embarrados o los cables de conexión no reducen la distancia de aislamiento en aire.

Tmax	AI (mm)
T1	80
T2	90
T3	140
T4	160
T5	160
T6	180
T7	180

Nota: Las dimensiones mostradas son válidas para una tensión de empleo Un de hasta 690 V. Las distancias que deben respetarse han de sumarse a las dimensiones máximas totales de las diversas versiones de los interruptores automáticos, incluyendo terminales. Consulte a ABB por las versiones de 1000 V.

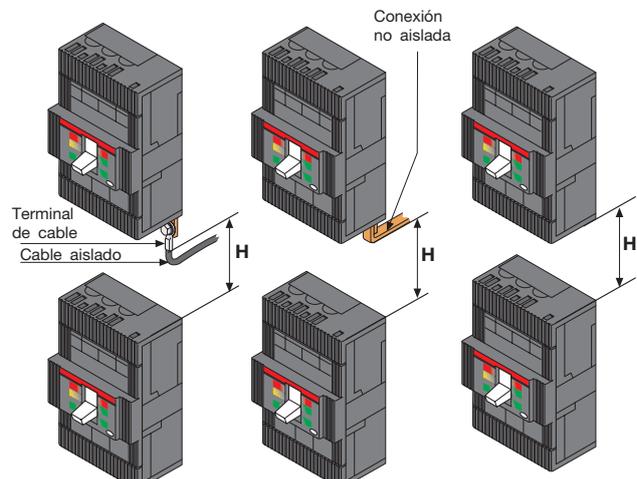


Figura 11.15

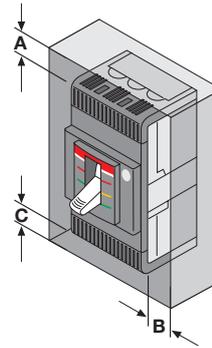
Tmax XT

Distancias de aislamiento para instalación en armario metálico

Un ≤ 440 V

Tmax	A (mm)	B (mm)	C (mm)
XT1	25	20	20
XT2 ¹⁾	30	20	25
XT3	50	20	20
XT4 ¹⁾	30	20	25

¹⁾ Para Un > 440 V: A = 50 mm y C = 45 mm

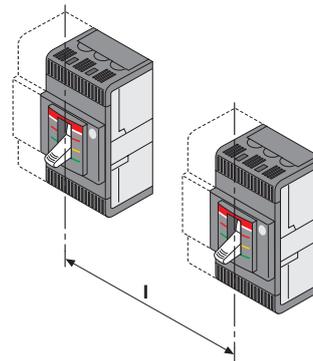


Distancia entre dos interruptores automáticos lado a lado

Para el montaje lado a lado compruebe que los embarrados o los cables de conexión no reducen las distancias de aislamiento.

Distancia mínima entre centros para dos interruptores automáticos montados lado a lado

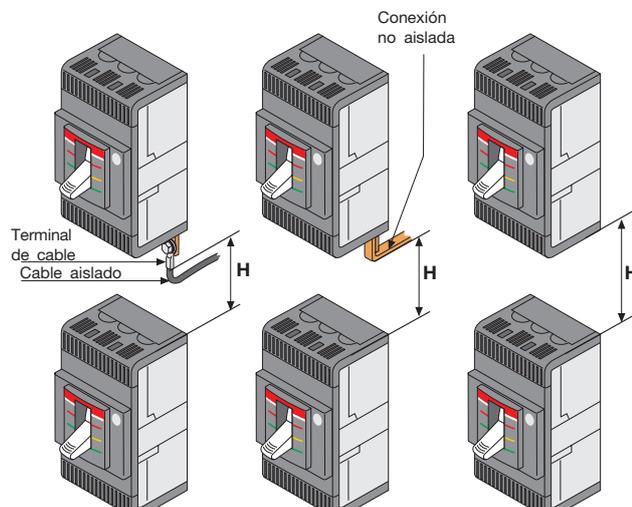
Tmax	Ancho interruptor automático (mm)		Distancia entre centros I (mm)	
	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos
XT1	76	102	76	102
XT2	90	120	90	120
XT3	105	140	105	140
XT4	105	140	105	140



Distancia mínima entre dos interruptores automáticos superpuestos

Para el montaje superpuesto compruebe que los embarrados o los cables de conexión no reducen las distancias de aislamiento.

Tmax	Al (mm)
XT1	80
XT2	120
XT3	140
XT4	160



Nota: Las distancias que deben respetarse han de sumarse a las dimensiones máximas totales de las diversas versiones de los interruptores automáticos, incluyendo terminales.

Figura 11.16

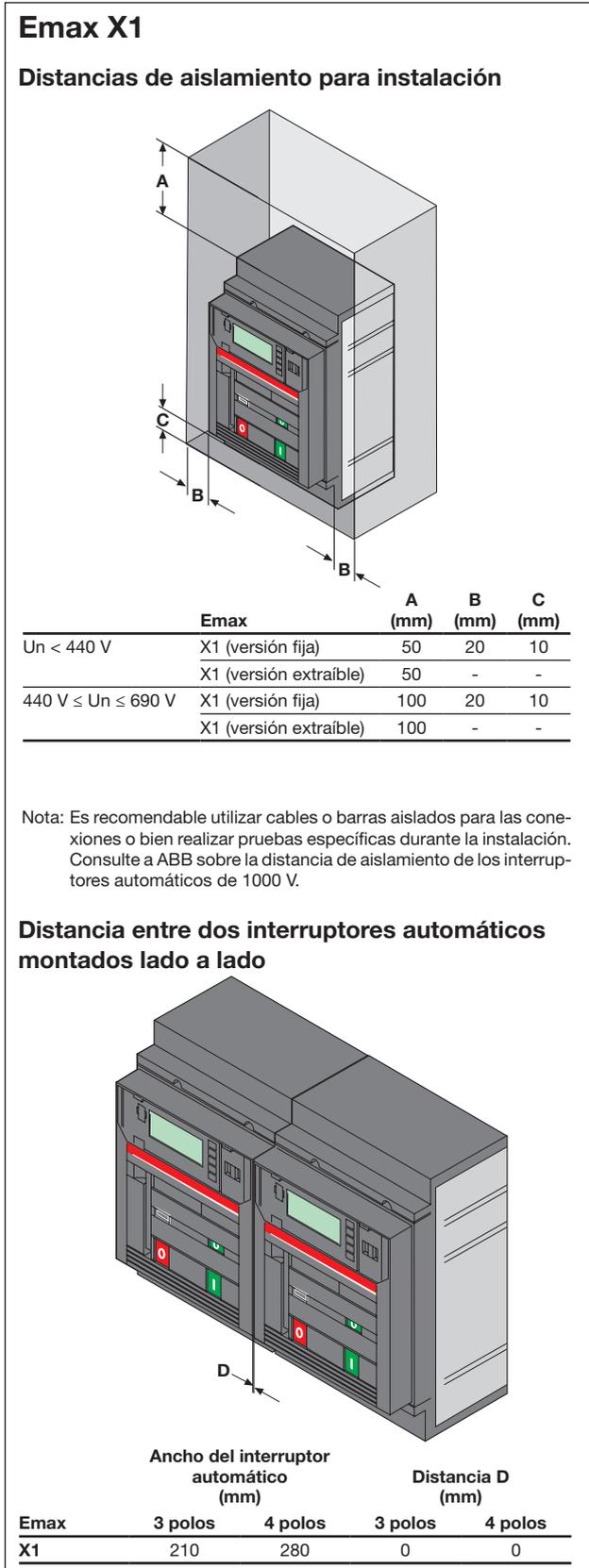
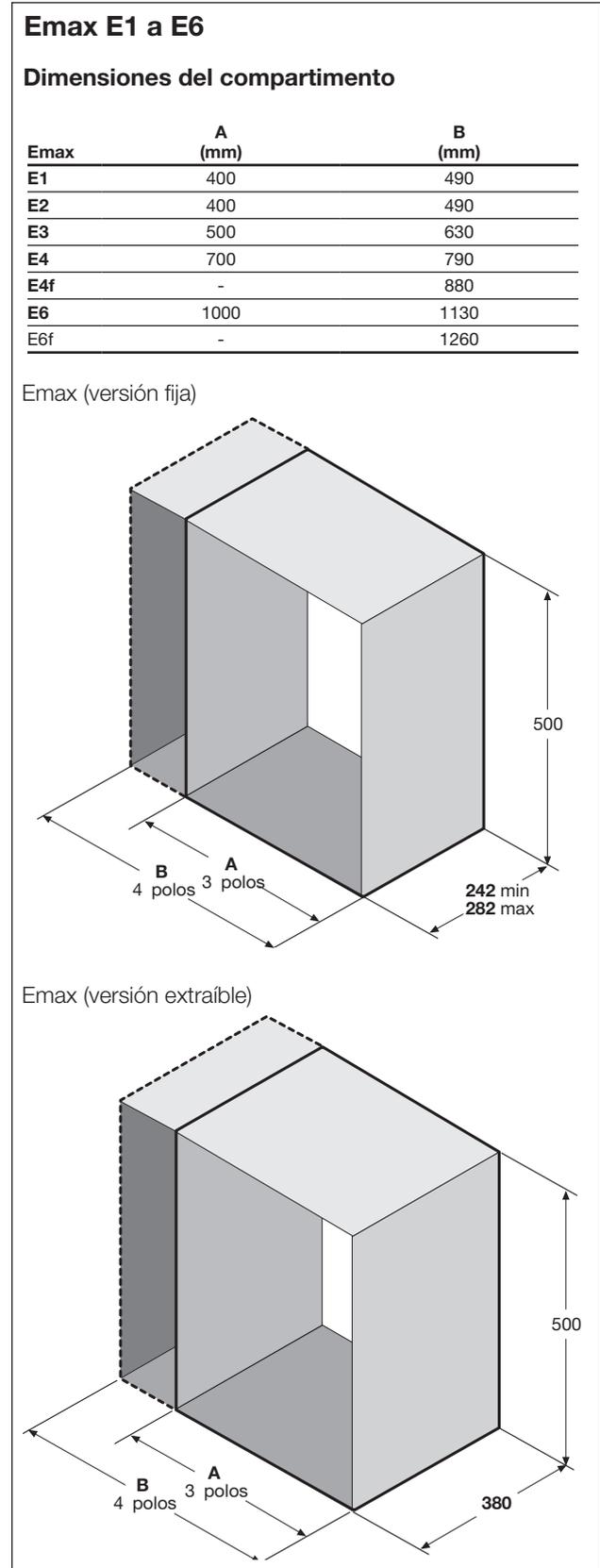


Figura 11.17



11.6 Otras recomendaciones logísticas y prácticas

Al montar el cuadro debe prestarse igualmente atención al peso.

La experiencia y el sentido común demuestran que es recomendable:

- distribuir de forma homogénea y confortable los distintos componentes dentro del cuadro de la forma más ergonómica en cuanto a uso y posible reparación o sustitución;
- mantener bajo el centro de gravedad global situando el equipo más pesado en la parte inferior a fin de obtener la máxima estabilidad;
- evitar sobrecargar las puertas, de modo que la fricción no aumente y no reduzca la funcionalidad y resistencia de las bisagras;

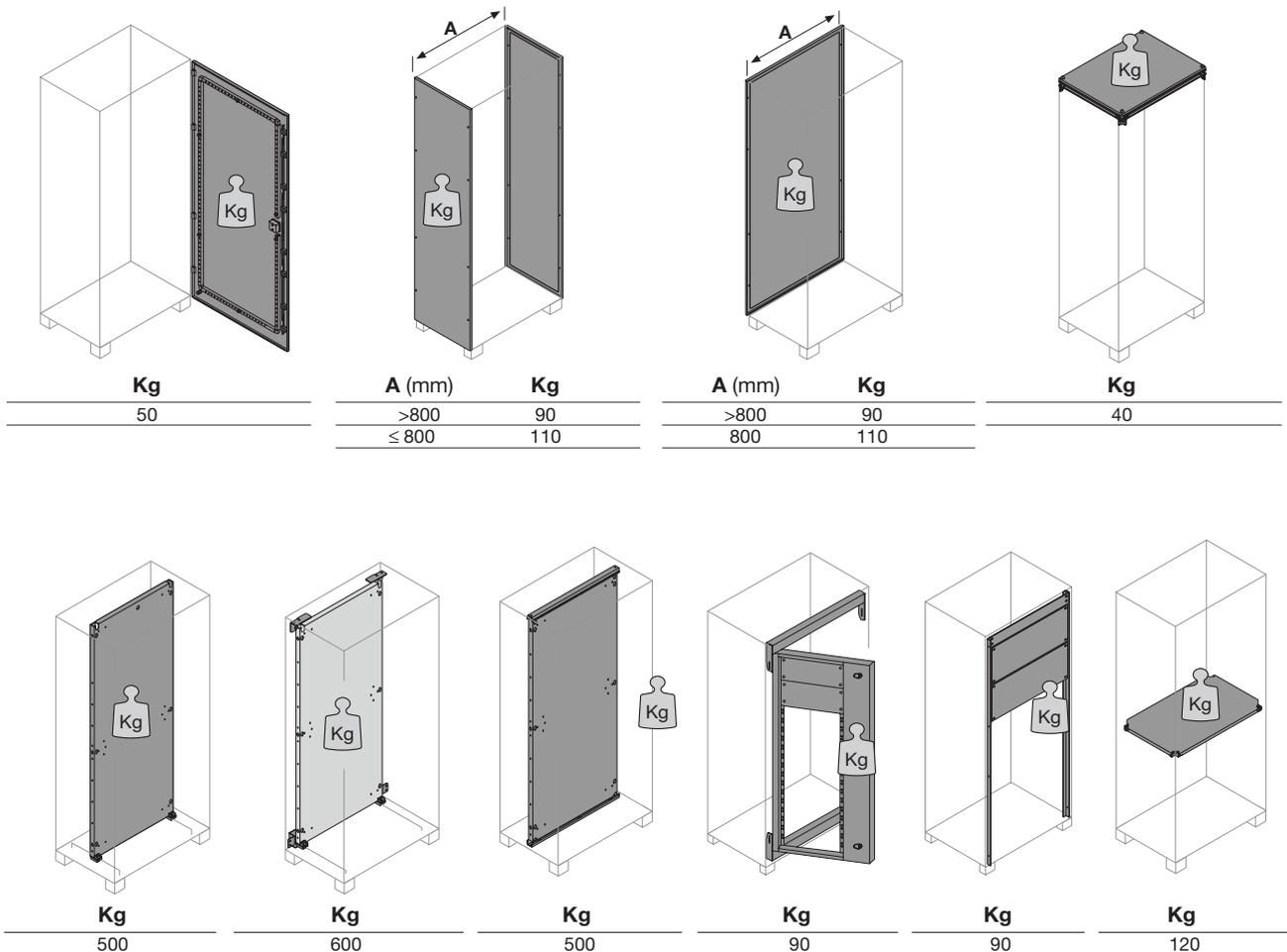
- no superar la capacidad de sujeción máxima de los paneles posteriores y laterales indicada en las hojas de información del cuadro.

A continuación se muestran algunas imágenes que indican la capacidad de carga de los diferentes paneles de un cuadro ABB.

En cada caso se aconseja situar los transformadores y los interruptores automáticos más grandes, y por lo tanto más pesados, así como posibles motores de ventilación, en la parte inferior, con objeto de garantizar la estabilidad del cuadro, especialmente durante el transporte y la instalación.

Una vez completado el montaje interno, se sujetan los laterales, cubiertas y puertas de la estructura metálica. A continuación el conjunto se eleva hasta la posición vertical y, tras una última inspección visual, el cuadro pasa a estar disponible para las pruebas finales (pruebas particulares).

Figura 11.18



11.7 Manipulación, transporte e instalación definitiva

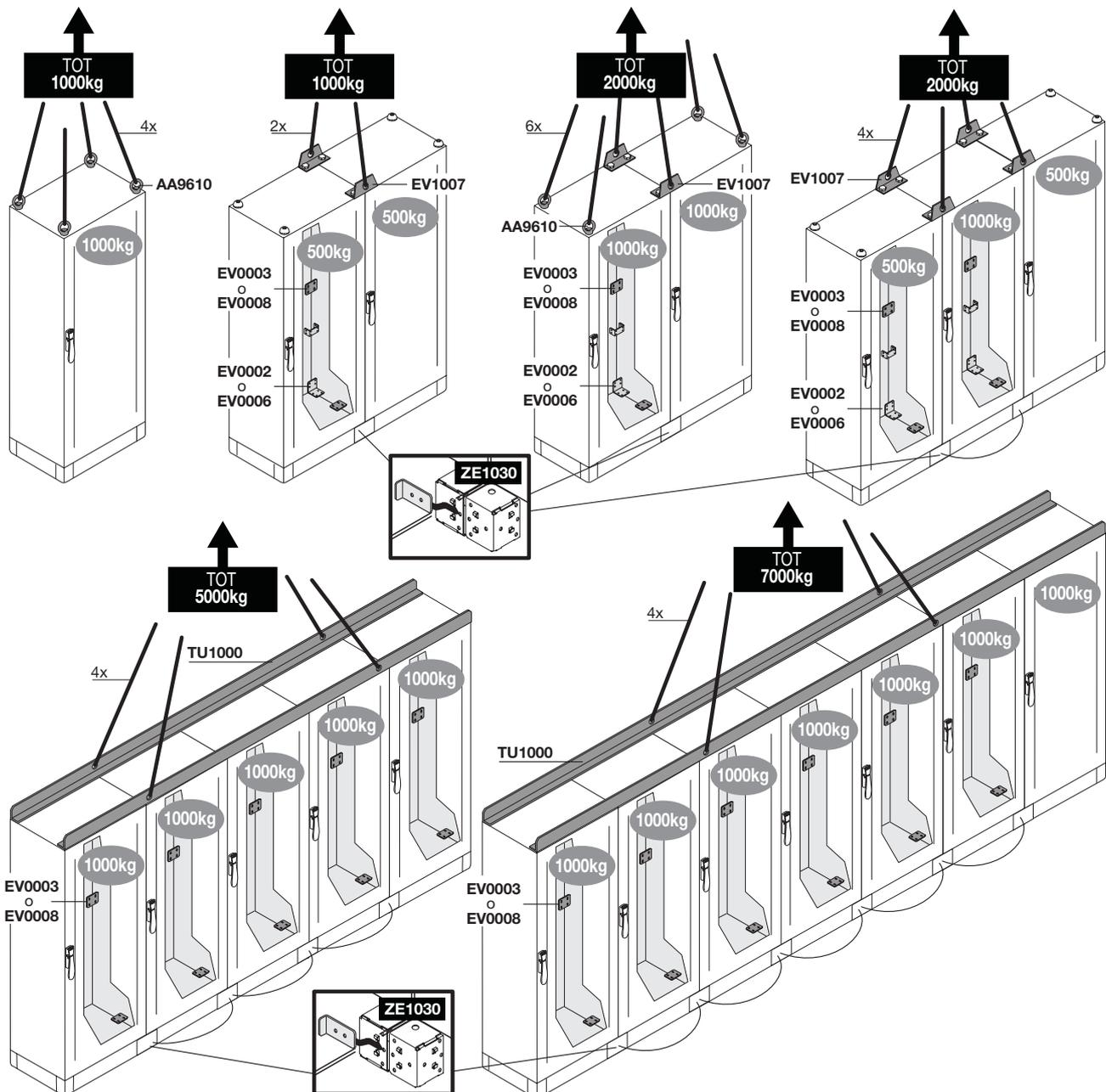
En el caso de grandes sistemas de potencia o automatización, otra situación delicada consisten en el acoplamiento de varios compartimentos para obtener un banco de cuadros.

Se trata de una conexión mecánica que debe realizarse con especial cuidado, debido a las grandes tensiones que las estructuras metálicas se transmiten entre sí, especialmente durante la fase de carga y transporte.

Una vez más se subraya la importancia de las hojas de montaje, que deben ser claras, detalladas y completas, con toda la información relativa a apriete, orden de las operaciones e indicación de errores probables causados por negligencia o imprecisiones.

La figura siguiente destaca algunos puntos que requieren especial atención por parte de los cuadristas, particularmente en cuanto a la correcta sujeción entre los bloques y la seguridad de las estructuras metálicas. Igualmente debe prestarse especial atención a la caja superior que aparece en la figura y que está disponible en algunas versiones.

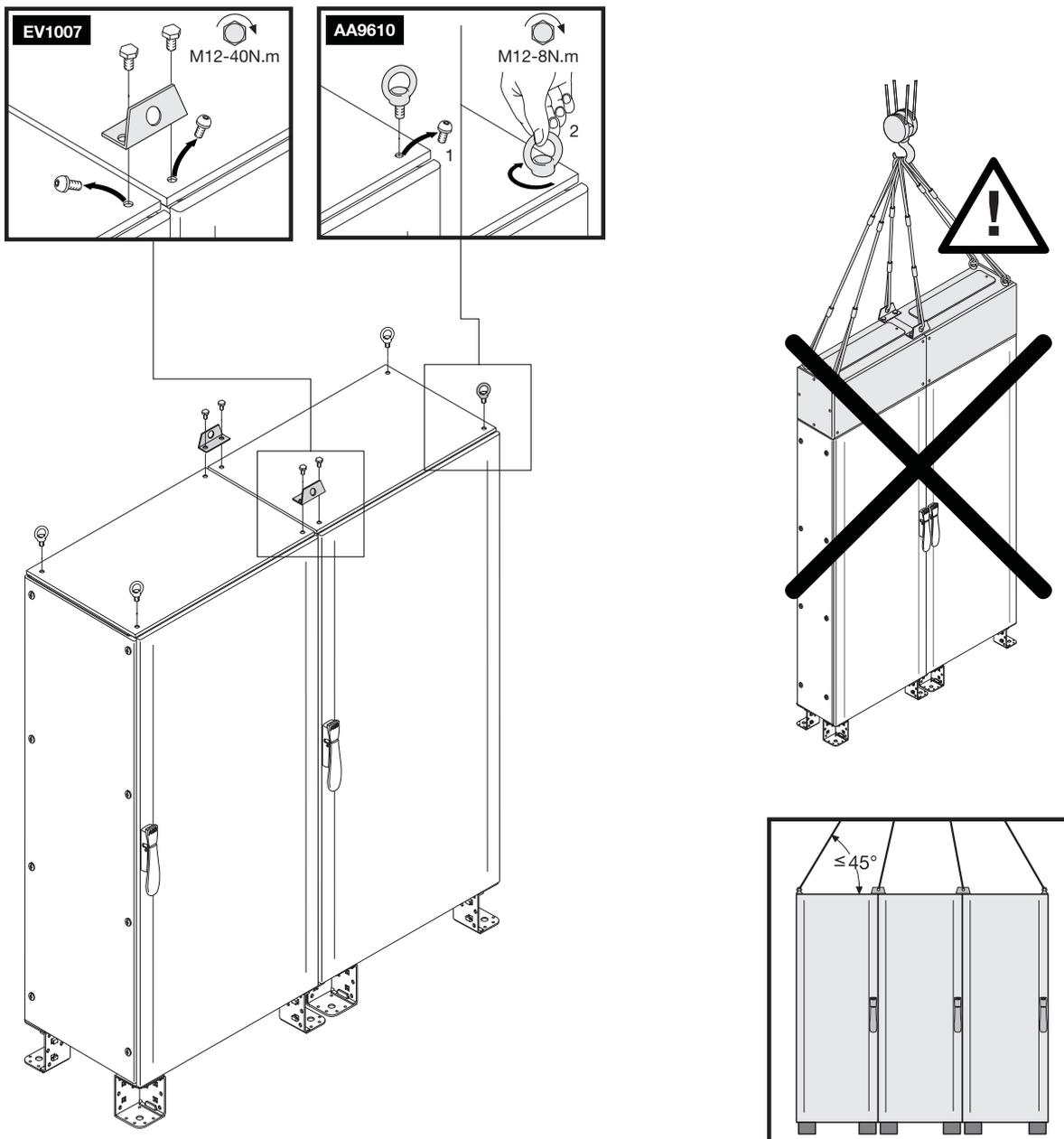
Figura 11.19



Generalmente esta caja de unión no es capaz de sustentar todo el peso del cuadro situado debajo. Por lo tanto deberá ser instalada únicamente una vez el cuadro de distribución haya sido levantado (como se muestra en la Figura 11.20) y situado en el lugar requerido. Es necesario respetar la capacidad de carga estática máxima al conectar más compartimentos, tanto para garantizar una resistencia adecuada a las vibraciones como para permitir una elevación y transporte correctos hasta el lugar de instalación definitivo.

Normalmente los valores máximos permitidos son suficientes para resistir las mayores cargas sin necesidad de tomar medidas particulares. La Figura 11.19 muestra algunas disposiciones especialmente pesadas y de grandes dimensiones. Debe tenerse en cuenta que cada uno de los armarios puede tener una capacidad de carga diferente en lo referido al peso, por lo que deben emplearse los métodos correspondientes de sujeción, uso de cuerdas y elevación para cada configuración. La nueva norma IEC 61439-1 establece una prueba específica para verificar la capacidad de elevación que debe realizarse en laboratorio.

Figura 11.20

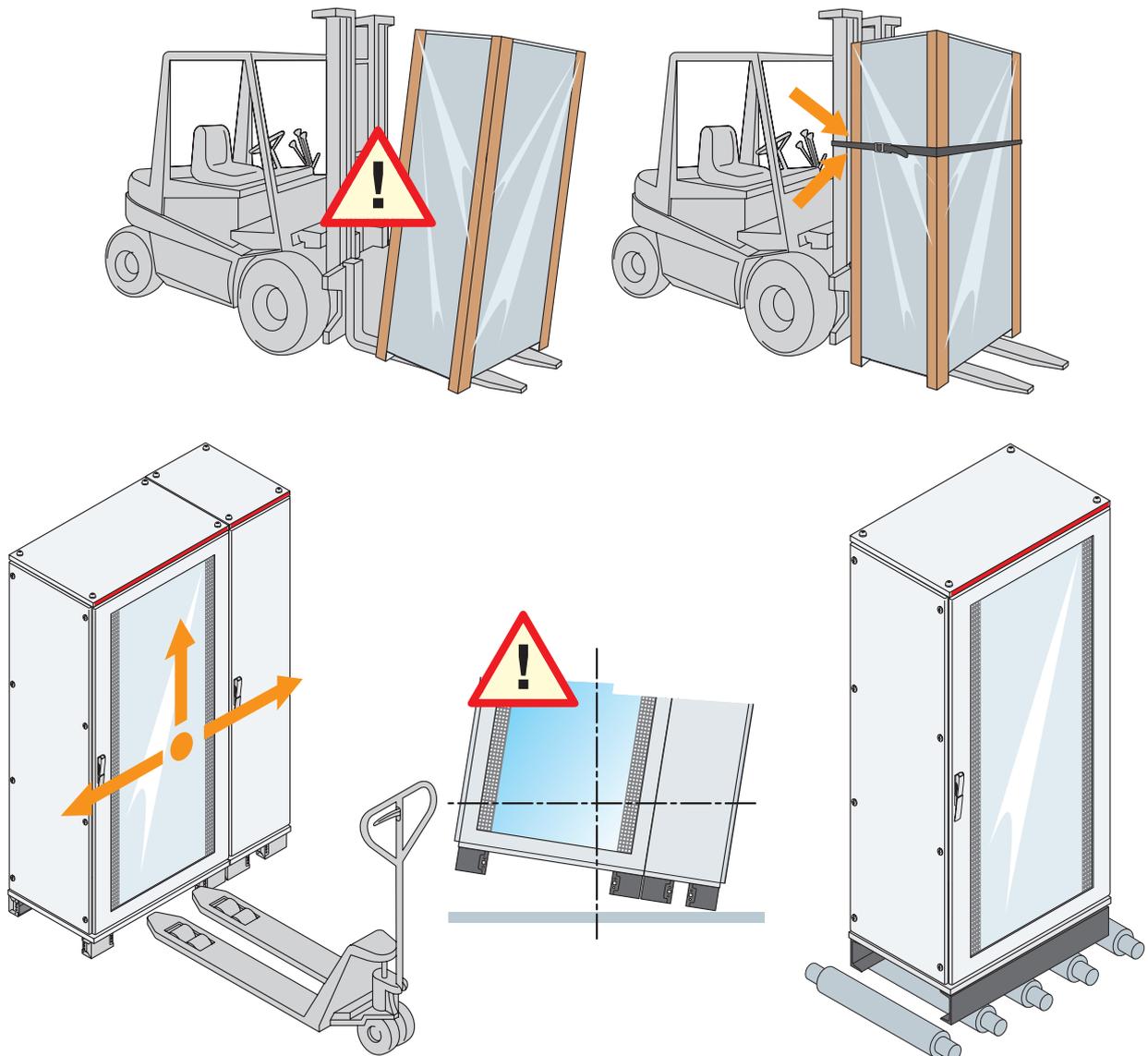


El cuadro de distribución, una vez cableado y montado, debe ser transportado de forma segura, tanto al salir del taller del cuadrista como al llegar al lugar de instalación. Debido a sus grandes dimensiones y peso, es aconsejable emplear procedimientos adecuados y utilizar instrumentos mecánicos adecuadamente previstos, así como tener especial cuidado durante el traslado del cuadro para controlar y reducir al mínimo posibles desequilibrios, vibraciones, impactos y vuelcos del cuadro.

El sistema ArTu ha sido especialmente diseñado para minimizar estos problemas.

Los apoyos en la base de las estructuras metálicas tienen unas dimensiones adecuadas para facilitar la introducción de las horquillas de una carretilla elevadora para su elevación, aunque es recomendable sujetar verticalmente el cuadro a un lateral de la carretilla (véase la Figura 11.21). La ausencia de salientes o bordes afilados reduce el riesgo de que los operadores sufran lesiones o contusiones.

Figura 11.21



11.8 Intervenciones en cuadros en servicio

Durante la manipulación y uso normal de los cuadros ya situados y en servicio en la instalación o integrados en una máquina, puede ser necesario intervenir en ellos debido a fallos, el envejecimiento normal de los componentes, modificaciones o ampliaciones del proceso, etc.

Puede accederse a los cuadros para:

- inspección u otras operaciones similares;
- inspección visual;
- inspección de los dispositivos de maniobra y protección;
- ajuste de relés y unidades de protección;
- conexiones y marcado de conductores;
- ajuste y restauración;
- sustitución de fusibles;
- sustitución de lámparas indicadoras;
- mediciones (de tensión y corriente, con herramientas adecuadas);
- mantenimiento (también previo acuerdo entre el fabricante/cuadrista y el usuario/cliente);
- trabajos de ampliación, con o sin tensión (normas nacionales relevantes, EN 50110-1 y variantes correspondientes).

Debe tenerse en cuenta, a estos efectos, que las actuales normas IEC distinguen entre intervenciones rutinarias estándar, en las que solamente se realizan operaciones de maniobra y control, e intervenciones con electricidad, en las que el personal trabaja cerca de o con partes con tensión (con voltaje o no), con el consiguiente peligro de electrocución.

La figura siguiente muestra algunos ejemplos de ambas situaciones.

Según las definiciones anteriores resulta que, al igual que ABB durante todo el proceso de fabricación de interruptores automáticos, estructuras metálicas y otras partes auxiliares, los cuadristas tampoco efectúan ningún trabajo eléctrico. En realidad, en estas condiciones se manipulan piezas metálicas y aislantes que todavía no reciben alimentación; por lo que, al no existir por definición peligro de electrocución, no puede considerarse como trabajo eléctrico.

Figura 11.22

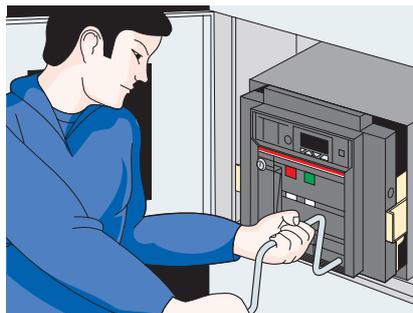
Se consideran trabajos eléctricos

Reparación



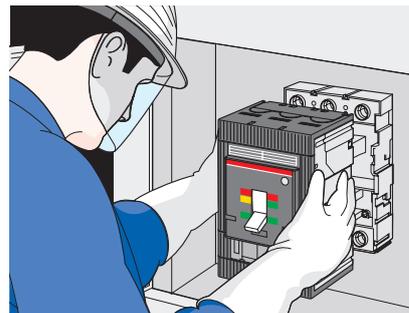
Cuadro con tensión

Sustitución



Trabajos realizados sin tensión conforme a la norma CEI 11-27

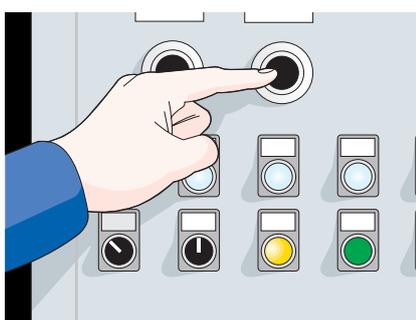
Sustitución



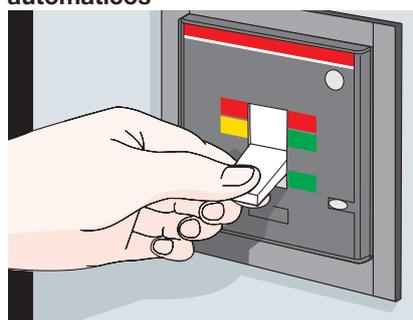
Cuadro con tensión

No se consideran trabajos eléctricos

Operaciones



Maniobra de interruptores automáticos



Ajustes



12 Guía para la certificación de los cuadros

12.1 Conformidad de los cuadros con las normas

ABB ofrece un sistema de cuadros sometidos una serie de pruebas que permite construir cuadros conforme a las normas IEC realizando únicamente verificaciones particulares (pruebas del cuadro), sin necesidad de otras pruebas de laboratorio. Para lograrlo es necesario utilizar estructuras metálicas (con sus accesorios correspondientes), interruptores automáticos (en miniatura, en caja moldeada o abiertos) y sistemas de distribución ABB y respetar los criterios de selección y las instrucciones de montaje de los distintos componentes.

A continuación se resumen las verificaciones especificadas por la norma IEC 61439 que deben ser llevadas a cabo por el fabricante original, junto con las que debe realizar el fabricante del cuadro.

El fabricante original efectúa las verificaciones de diseño (anteriormente denominadas pruebas de tipo), es decir:

- Resistencia de los materiales y partes de los cuadros;
- Grado de protección IP;
- Distancias de aislamiento (en aire y superficial);
- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección;
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra;
- Circuitos y conexiones eléctricas internas;
- Terminales para conductores externos;
- Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica 50 Hz y tensión soportada a impulsos);
- Verificación de los límites de sobretemperatura;
- Resistencia a cortocircuitos;
- Compatibilidad electromagnética (EMC);
- Funcionamiento mecánico.

Como ya se ha explicado, el fabricante original deriva el cuadro mediante “normas de diseño” o mediante cálculo, aplicando algoritmos específicos o principios físicos.

Por el contrario, el fabricante del cuadro sólo debe realizar verificaciones particulares (pruebas) que incluyen algunas inspecciones visuales, y la única prueba real con instrumentos es la prueba dieléctrica.

- Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica a 50 Hz y tensión soportada a impulsos).

12.2 Verificaciones principales que debe llevar a cabo el fabricante original

Verificación de los límites de sobretemperatura

Desde el punto de vista de la verificación de los límites de sobretemperatura, es posible certificar el cuadro mediante:

- 1) prueba en laboratorio con corriente o
- 2) empleando las normas de diseño adecuadas o
- 3) con algoritmos para el cálculo de la sobretemperatura (véase el Capítulo 7 para más información).

Verificación de las propiedades dieléctricas

Como especifica la norma, no es necesario realizar esta prueba de tipo en las partes del cuadro que ya han sido comprobadas conforme a las normas relevantes si la resistencia dieléctrica no se ha visto comprometida durante las operaciones de montaje.

En lo referido a los cuadros y las envolventes ABB, la Tabla 12.1 muestra sus propiedades dieléctricas.

Estas características deben considerarse ya verificadas si se han seguido correctamente las instrucciones de montaje.

Tabla 12.1

		Tensión nominal	Tensión de aislamiento	Tensión nominal soportada a impulsos
ArTu L	Instalado en pared, D=200 mm	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 6 kV
	Instalado en el suelo, D=250 mm	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 8 kV
ArTu M	Instalado en pared, D=150/200 mm	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 6 kV
	Instalado en el suelo, D=250 mm	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 8 kV
ArTu K		hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 12 kV
Envolventes SR2		hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 6 kV
Envolventes AM2		hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 8 kV
Envolventes IS2		hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 1000 V CA/1500 V CC	hasta 12 kV

Verificación de la resistencia a cortocircuitos

El Capítulo 8 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas trata sobre la resistencia a la corriente de cortocircuito. Como especifica la norma, no es necesario verificar la resistencia a cortocircuitos:

1. cuando la verificación resulta innecesaria al consultar los diagramas de flujo del apartado 8.1;
2. para los circuitos auxiliares del cuadro, a condición de que estén conectados a transformadores cuya potencia nominal no supere los 10 kVA, con una tensión nominal del secundario mínima de 110 V, o que no supere los

1,6 kVA, con una tensión nominal del secundario inferior a 110 V y cuya tensión de cortocircuito mínima sea del 4%; Especialmente en el caso del sistema de distribución (véase el catálogo general de cuadros de distribución), la resistencia a cortocircuitos se verifica mediante el resultado positivo de los diagramas de flujo del apartado 8.3 y el correcto cumplimiento de las instrucciones de montaje.

Para diferentes topologías de cuadros deberán verificarse las siguientes características:

Tabla 12.2

		Intensidad nominal admisible de corta duración (I _{cw})		Intensidad nominal de pico admisible (I _{pk})
		fase a fase	de fase a neutro	
ArTu L	Instalado en pared, D=200 mm	25 kA (1 s)	9 kA (1 s)	52,5 kA
	Instalado en el suelo, D=250 mm	25 kA (1 s)	21 kA (1 s)	74 kA
ArTu M	Instalado en pared, D=150/200 mm	25 kA (1 s)	9 kA (1 s)	52,5 kA
	Instalado en el suelo, D=250 mm	35 kA (1 s)	21 kA (1 s)	74 kA
ArTu K		105 kA (1 s) - 50 kA (3 s)	60 kA (1 s)	254 kA
Envoltentes IS2		65 kA (1 s)	39 kA (1 s)	143 kA

Verificación de la resistencia a cortocircuitos del circuito de protección

Tabla 12.3

Verificación de la conexión efectiva de las partes conductoras expuestas del cuadro y del circuito de protección	La continuidad efectiva entre las partes conductoras expuestas queda verificada, con valores de resistencia despreciables, si se respetan las instrucciones de montaje de los componentes metálicos
Resistencia a cortocircuitos del circuito de protección: embarrado fase-tierra	La resistencia a cortocircuitos del circuito de protección se cumple si se respetan las instrucciones de montaje y las indicaciones de las páginas 44 y 45 de este cuaderno técnico.

Resistencia máxima a cortocircuitos del embarrado fase-tierra de la estructura

ArTu L	Instalado en pared, D=200 mm	9 kA (1 s)
	Instalado en el suelo, D=250 mm	21 kA (1 s)
ArTu M	Instalado en pared, D=150/200 mm	9 kA (1 s)
	Instalado en el suelo, D=250 mm	21 kA (1 s)
ArTu K		60 kA (1 s)
Envoltentes IS2		39 kA (1 s)

Verificación de las distancias aislamiento

Las distancias aislamiento están garantizadas si se respetan las instrucciones de instalación y montaje para las estructuras metálicas e interruptores automáticos de ABB.

Verificación del funcionamiento mecánico

El funcionamiento mecánico está garantizado si se respetan las instrucciones de montaje para estructuras metálicas e interruptores automáticos de ABB.

Verificación del grado de protección

Los siguientes grados de protección quedan verificados si se respetan las instrucciones de montaje para estructuras metálicas e interruptores automáticos de ABB:

Tabla 12.4

		Sin puerta	Con puerta y paneles laterales ventilados	Sin puerta, con kit IP 41	Con puerta
ArTu L	Instalado en pared, D=200 mm	IP 31	-	-	IP 43
	Instalado en el suelo, D=250 mm	IP 31	-	-	IP 43
ArTu M	Instalado en pared, D=150/200 mm	-	-	-	IP 65
	Instalado en el suelo, D=250 mm	IP 31	-	-	IP 65
ArTu K		IP 31	IP 41	IP 41	IP 65
Envoltentes SR2		-	-	-	IP 65
Envoltentes AM2		-	-	-	IP 65
Envoltentes IS2		-	-	-	IP 65

12.3 Verificaciones particulares (pruebas) que debe llevar a cabo el fabricante del cuadro

Las verificaciones particulares, también denominadas pruebas del cuadro, requeridas y definidas por la norma IEC 61439-1, deben ser llevadas a cabo por el fabricante después de montar e instalar el cableado del cuadro.

Estas verificaciones tienen como objeto detectar fallos en los materiales y en la fabricación de los componentes o la estructura del cuadro.

Un buen resultado en las pruebas particulares permite emitir un reporte de prueba positivo (informe de pruebas e inspección).

Procedimientos y modalidades de ejecución de las verificaciones particulares

El fabricante del cuadro puede definir un procedimiento en lo relativo a:

- condiciones de las pruebas (personal cualificado, área del taller destinada a las pruebas, etc.) y medidas de seguridad;
- documentos de referencia (expedientes técnicos, instrucciones de montaje, estándares técnicos, etc.);
- identificación del material e inspecciones visuales, así como comprobaciones mecánicas y eléctricas;
- pruebas dieléctricas;
- comprobación de los medios de protección y verificación de la continuidad del circuito de protección;
- medición de la resistencia del aislamiento como alternativa a la prueba dieléctrica;
- documentación final (informe de pruebas).

En cualquier caso, es importante señalar que, aunque las pruebas particulares normalmente se llevan a cabo en el taller del fabricante del cuadro o en el del cuadrista, el instalador no está exento de la obligación de asegurarse de que el cuadro de distribución no ha sufrido ningún daño o modificación durante el transporte y la instalación que causen que ya no cumpla los requisitos ya verificados por las pruebas particulares.

Condiciones de las pruebas y medidas de seguridad

Es recomendable que los cuadros listos para ser sometidos a las pruebas en el taller estén situados en áreas separadas a las que solamente tenga libre acceso el personal cualificado.

Si esto no fuera posible (por razones de espacio, por ejemplo) el área de pruebas debe estar señalada mediante barreras, avisos u obstáculos visibles.

Por supuesto, las verificaciones solamente pueden iniciarse una vez completado el montaje.

Durante la verificación de las propiedades dieléctricas (por ejemplo, la prueba de aplicación de tensión) deben utilizarse guantes aislantes y emplear varillas de empuje tipo pistola con puntas retráctiles. El torso y los brazos del operador deben contar con una protección adecuada, excepto cuando se aplica tensión desde una distancia de seguridad adecuada.

A continuación se exponen algunas normas para la realización segura de las pruebas.

Antes de las pruebas:

- colocar el cuadro en un área adecuada;
- instalar correctamente las barreras de protección;
- realizar correctamente las conexiones de alimentación del cuadro (a tierra y de alimentación);
- realizar las conexiones de acoplamiento siguiendo los mismos principios (interconexión entre partes conductoras expuestas y conexiones a tierra);
- asegurarse de que los dispositivos de seguridad utilizados funcionan perfectamente (por ejemplo, pulsador de emergencia, sirenas de advertencia, etc.);
- asegurarse de que no haya personal no autorizado presente en el área reservada para las pruebas.

Durante las pruebas:

- en caso de suspensión de las pruebas, incluso si es temporal, es necesario desconectar el equipo que está siendo verificado;
- para las verificaciones o mediciones eléctricas que deben realizarse con tensión, es necesario que la persona responsable conozca los peligros asociados, que los instrumentos de medición empleados cumplan los requisitos de seguridad y que se utilicen dispositivos y medios de protección (guantes aislantes, etc.) adecuados.
- no deben dejarse cables o equipos eléctricos fuera del área de pruebas señalada.

Documentos de referencia

Los elementos específicos del cuadro de distribución que se va a comprobar y que el responsable de la prueba puede consultar son los diagramas (unifilares, funcionales, esquemas, etc.), planos (parte frontal del cuadro de distribución, dimensiones generales, etc.) y las especificaciones particulares entregadas con el cuadro. Además de la última edición de las normas técnicas que se ha declarado que cumple el cuadro, el inspector también puede consultar las normas IEC 60529 (grados de protección proporcionados por las envolventes) e IEC 60664-1 (normas para coordinar el aislamiento del equipo).

12.4 Verificaciones particulares conforme a la norma IEC 61439

Las verificaciones particulares suponen la última intervención técnica del cuadrista antes de entregar el cuadro completo, de facturarlo y enviarlo al cliente. La norma describe las verificaciones en el siguiente orden:

- Grado de protección IP proporcionado por la envolvente de un cuadro

Representa la primera prueba particular requerida por la norma IEC 61439-1. En realidad se limita a una inspección visual.

- Distancias de aislamiento en aire y superficial

Las distancias de aislamiento superficial normalmente son, después de una inspección visual, bastante más amplias de lo necesario.

En lo referido al aislamiento en aire, deberán consultarse los valores definidos por la norma (mostrados en la Tabla 9.6, apartado 9.2, de este Cuaderno de aplicaciones técnicas); si se desea más información, deberá consultarse el apartado 12.6 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas, "Verificación particular de la tensión soportada a impulsos".

- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección

Consiste en una inspección visual y en algunas verificaciones aleatorias del correcto apriete mecánico. Se verifica la correcta ejecución del circuito de protección:

- visualmente (comprobando la presencia de dispositivos que garanticen el contacto para la continuidad del conductor de tierra, etc.);
- mecánicamente (comprobando aleatoriamente el apriete de las conexiones);
- eléctricamente (verificación de la continuidad del circuito).

Las herramientas utilizadas son un multímetro y una llave dinamométrica.

- Instalación de los aparatos y componentes de maniobra

Se comprueba la correspondencia real entre el equipo instalado y aquellos previstos en el diseño del cuadro.

- Circuitos y conexiones eléctricas internas

Es necesario verificar aleatoriamente el correcto apriete de los terminales.

- Terminales para conductores externos

Se comprueba la correspondencia entre los cables y los terminales conforme al diagrama de cableado.

- Funcionamiento mecánico

Se accionan aleatoriamente palancas, pulsadores y otros posibles elementos de maniobra.

- Propiedades dieléctricas

Véase el apartado 12.6.

- Cableado y funcionamiento

Se comprueba la placa de especificaciones y, en caso necesario, se verifican mediante pruebas el funcionamiento eléctrico y cualquier posible bloqueo de seguridad.

12.5 Comprobaciones adicionales durante las pruebas

Comprobaciones adicionales realizadas durante las pruebas pueden ser:

Comprobaciones visuales

Se realizan teniendo en cuenta:

- a) la conformidad del cuadro con diagramas, designaciones, planos y tipo de envolventes, número y características de los equipos, la sección transversal de los conductores y presencia de marcas de identificación en cables y dispositivos (siglas, inscripciones en placas, etc.);
- b) la presencia de componentes que garanticen el grado de protección (techos, juntas) y la ausencia de defectos en la envolvente (cortes o perforaciones que pudieran disminuir el grado de protección);
- c) conformidad con los requisitos específicos requeridos en la lista de montaje, como:
 - revestimiento o tratamiento de los embarrados (revestimiento de resina, baño de plata, etc.);
 - tipo de cable (ignífugo, ecológico, etc.);
 - repuestos necesarios;
 - comprobación de la pintura (color, grosor, etc.).

Comprobaciones mecánicas

Deben llevarse a cabo conforme a los documentos relevantes, haciendo referencia a las siguientes especificaciones:

- montaje correcto del equipo (conexiones y, aleatoriamente, apriete adecuado de las conexiones);
- posicionamiento y apriete de tuercas y pernos;
- bloqueos y controles mecánicos (dispositivos de bloqueo de elementos insertables, enclavamientos mecánicos, bloqueos con llave y mecanismos de maniobra manuales para la extracción de interruptores automáticos e interruptores seccionadores mediante palancas y accesorios incluidos en el cuadro);
- cierre y posibles bloqueos de las puertas y adherencia de las juntas herméticas a la estructura del cuadro.

Comprobaciones eléctricas

Las pruebas funcionales consisten en la comprobación del funcionamiento correcto de todos los circuitos (eléctricos y electromecánicos) simulando, en la medida de lo posible, las diferentes condiciones de servicio del cuadro.

Por ejemplo, las pruebas de los circuitos de corriente y tensión pueden realizarse alimentando los circuitos secundarios de los transformadores de corriente y tensión, sin desconectar los transformadores de corriente del circuito.

Las comprobaciones eléctricas pueden incluir la verificación del correcto funcionamiento de circuitos y equipos, especialmente:

- circuitos de control, señalización, alarma, disparo y cierre;
- circuitos de iluminación y calentamiento, si existen;
- circuitos de protección y medición (sobretensión, sobretensión, tierra, interruptores diferenciales, contactores, amperímetros, voltímetros, etc.);
- terminales y contactos existentes en la bornera;
- dispositivos de control de aislamiento (también deben verificarse las distancias aislamiento en lo relativo a las conexiones y adaptaciones llevadas a cabo en el taller).

Para realizar estas comprobaciones, además de las herramientas mecánicas habituales empleadas durante el montaje, también se necesitan algunas herramientas eléctricas. Es necesaria una calibración periódica para obtener resultados fiables.

Las herramientas utilizadas generalmente son:

- un medidor o multímetro;
- un banco de pruebas (CA y CC) que alimente el cuadro durante la prueba de funcionamiento con tensión;
- una llave dinamométrica (para comprobar que se han utilizado los pares de apriete correctos en las conexiones) y otros utensilios.

12.6 Otros datos sobre la verificación particular de las propiedades dieléctricas

Estas pruebas están destinadas a verificar el aislamiento, la excelencia de los materiales aislantes y la correcta conexión del equipo comprobado.

Durante las pruebas, para cuadros de distribución de más de 250 A, se aplica tensión de prueba con una frecuencia de 50 Hz durante 1 segundo, con las distintas polaridades y con los valores eficaces definidos por la norma (véanse las Tablas 9.1 y 9.2 del apartado 9.1 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas); se recuerda que para $690 V \leq U_i \leq 800 V$, el valor de la tensión de prueba es de 2000 V.

No es necesario realizar estas pruebas en los circuitos auxiliares protegidos de aparatos con In que no supere los 16 A o que ya hayan superado anteriormente una prueba de funcionamiento eléctrico.

Prueba dieléctrica

Una vez desconectado el cuadro tanto en el lado de suministro como en el de carga, se aplica la tensión de prueba con todos los aparatos de protección y maniobra cerrados o bien se aplica sucesivamente la tensión de prueba a los distintos circuitos del cuadro.

Para esta prueba puede utilizarse un generador de tensión a frecuencia industrial (dielectrómetro).

La prueba queda superada si al aplicar la tensión no se produce ninguna perforación o cortocircuito con emisión de chispas.

Deberá desconectarse todos los dispositivos que consuman corriente (bobinados, fuente de alimentación, instrumentos de medición, módulos de medición, interruptores diferenciales, etc.) que pudieran resultar dañados por la aplicación de la tensión de prueba.

En particular para los dispositivos ABB, tener en cuenta las siguientes indicaciones:

Tabla 12.5

Relés diferenciales

Interruptor automático	Relé diferencial	Operación a realizar
Tmax T1-T2-T3	RC221	Girar el selector especial de la parte frontal del relé a la posición Test. Desconectar la bobina YO2
Tmax T1-T2-T3 T4-T5 (4 polos solamente)	RC222	Girar el selector especial de la parte frontal del relé a la posición Test. Desconectar la bobina YO2
Tmax T3 y T4 (4 polos solamente)	RC223	Girar el selector especial de la parte frontal del relé a la posición Test. Desconectar la bobina YO2
Tmax T1...T7	RCQ-RCQ020/A (intensidad nominal máx. 800 A)	Desconexión manual
Emax X1 (intensidad nominal máx. 800 A)	RCQ020/A	Desconexión manual
Emax E1...E3 (intensidad nominal máx. 2000 A)	RCQ	Desconexión manual

Unidades de protección electrónicas

Interruptores automáticos

Interruptor automático	Relé de protección	Operación a realizar
Tmax T2-T4-T5-T6	PR221-PR222DS/P PR222DS/PD-PR223DS y EF	Ninguna operación Desconectar, si presentes, los conectores posteriores X3 y X4
Tmax T7 (versión fija)	PR231-PR232 PR331 PR332	Ninguna operación Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, K1, K2, W3, W4, 98S, 95S Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, T7, T8, T9, T10, K1, K2, K11, K12, K13, K14, K15, K21, 98S, 95S, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13
Tmax T7 (versión extraíble)	PR231-PR232 PR331-PR332	Llevar el interruptor automático hasta la posición de extraído
Emax X1 (versión fija)	PR331 PR332-PR333	Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, K1, K2, W3, W4, 98S, 95S Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, T7, T8, T9, T10, K1, K2, K11, K12, K13, K14, K15, K21, 98S, 95S, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13.
Emax X1 (versión extraíble)	PR331-PR332-PR333	Llevar el interruptor automático hasta la posición de extraído
Emax E1-E6 (versión fija)	PR121 PR122-PR123	Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, K1, K2, W3, W4 Desconectar, si presentes, cualquier cable correspondiente a: T5, T6, T7, T8, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, W1, W2, W3, W4, C1, C2, C3, C11, C12, C13, D1, D2, D13, D14, R1, R2, 37, 38.
Emax E1-E6 (versión extraíble)	PR121-PR122-PR123	Llevar el interruptor automático hasta la posición de extraído

Módulos de medición

Interruptor automático y relé de protección	Módulo de medición	Operación a realizar
Emax equipado con PR122 o PR123 (versión fija)	PR120/V	Girar el selector especial hasta la posición de prueba marcada como "Insulating Test" (prueba de aislamiento)
Emax X1 equipado con PR332 o PR333 Tmax T7 equipado con PR332 (versión fija)	PR330/V	Girar el selector especial hasta la posición de prueba marcada como "Insulating Test" (prueba de aislamiento)

Además, todos los accesorios de los interruptores automáticos conectados directamente a la red deben ser desconectados (bobinas de mínima tensión, bobinas de apertura, bobinas de cierre, módulos de medición, mando a motor, etc.).

Para más información y estudios en profundidad sobre las recomendaciones y las operaciones a realizar con dispositivos y accesorios ABB, deben consultarse los manuales técnicos correspondientes.

Verificación particular de la resistencia del aislamiento

Conforme a la norma IEC 61439-1, la medición de la resistencia correcta del aislamiento es suficiente como alternativa a la prueba de tensión aplicada, aunque solamente con cuadros de distribución de hasta 250 A. Esta prueba se lleva a cabo aplicando una tensión de 500 V entre los circuitos y la pieza conductora expuesta. El resultado es positivo si, en cada circuito comprobado, la resistencia del aislamiento es mayor de 1000 ohm/V, haciendo referencia a la tensión nominal a tierra de cada circuito.

En este caso, además, debe desconectarse el equipo que absorba corriente.

Puede emplearse un dispositivo de medición de resistencia (megóhmetro o megger) para esta prueba.

Verificación particular de la tensión soportada a impulsos

Esta verificación se lleva a cabo durante las pruebas comparando la distancia de separación real entre las partes con tensión y entre las partes con tensión y la pieza conductora expuesta (masa) con las distancias mínimas definidas por la norma:

- si las distancias de separación superan en más de 1,5 veces las distancias mínimas requeridas por la norma, correspondiendo al valor U_{imp} previsto, basta con la inspección visual;
- si las distancias reales tiene un valor de entre 1 y 1,5 veces las distancias mínimas requeridas por la norma, basta con una medición calibrada;
- si no se cumplen las distancias mínimas definidas por la norma, debe realizarse una prueba de tensión soportada a impulsos.

12.7 Documentación final y conclusión de las pruebas

Hasta el momento, en algunos países el papel específico del cuadrista no estaba definido desde el punto de vista jurídico.

ABB es un “constructor de productos manufacturados” genérico que debe utilizar los últimos avances, emplear una placa de especificaciones, aplicar la marca CE (sólo en Europa) y, por último, facturar y vender a un cliente.

El cumplimiento de las normas técnicas (IEC 61439) no es obligatorio, pero sí lo es una declaración de conformidad, es decir, una condición suficiente pero no necesaria conforme a los últimos avances.

Este Cuaderno de aplicaciones técnicas está basado en las normas, por lo que sugiere soluciones acordes con dichos avances.

Desde un punto de vista estrictamente jurídico, el fabricante que suministra el cuadro está obligado a:

- construirlo conforme a los últimos avances;
- añadir una placa de especificaciones y la marca CE (para su distribución en Europa) de forma que sean claramente visibles y legibles;
- incluir los manuales de uso y mantenimiento de los componentes y del cuadro en sí (normalmente incluidos con éstos);
- redactar y archivar (sin proporcionarlos a menos que le sea requerido) el informe técnico (Directiva de Baja Tensión);
- redactar y entregar al cliente una factura.

Además de todo lo anterior, la norma técnica IEC 61439 requiere para el cuadro:

- conformidad total con los procedimientos de diseño, montaje y verificación descritos en los documentos relevantes (IEC 61439-1 junto con la documentación relevante para el cuadro en cuestión);
- incorporación de una placa de especificaciones más completa, además del marcado CE, que incluya el nombre del fabricante y el número de serie, así como el año de fabricación y la norma técnica específica de referencia;
- documentación técnica específica que muestre las características y valores nominales de rendimiento, además de cualquier otra recomendación o indicación para un uso óptimo

Incluso si no lo requieren expresamente la legislación o las normas, a fin de garantizar la calidad e integridad de las pruebas de verificación, es útil utilizar módulos analíticos en los que queden registradas todas las verificaciones, incluso las más detalladas. De esta forma es posible eliminar uno tras otro los diferentes puntos de la lista de comprobación, asegurándose de que se han llevado a cabo todas las operaciones requeridas.

Un ejemplo de informe, que resume las verificaciones requeridas y el resultado obtenido en cada una de ellas para construir un cuadro conforme a la norma IEC 61439, puede encontrarse en el Anexo A.

13 Ejemplo de construcción de un cuadro ArTu

Este apartado tiene como fin ayudar al cuadrista y al proyectista durante la construcción de cuadros ABB ArTu.

Con este fin, comenzando con el diagrama unifilar de la instalación, es posible llegar - seleccionando los componentes adecuados - a la construcción de un cuadro y a la correspondiente declaración de conformidad con la norma IEC 61439-2.

Características del cuadro según las especificaciones:

- cuadro "no segregado";
- IP 65;
- instalación expuesta en pared.

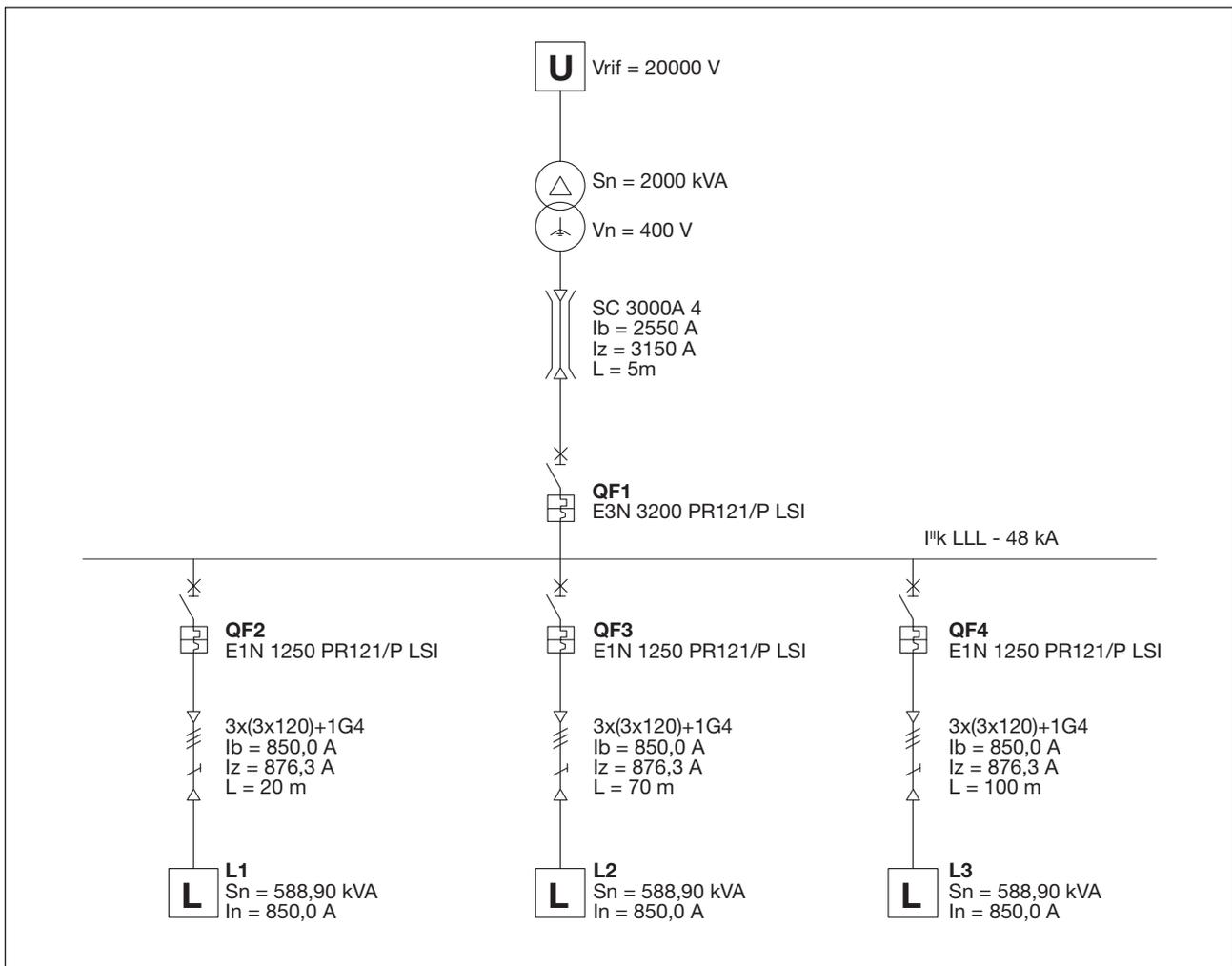
13.1 Diagrama unifilar

Se parte del supuesto de que es necesario realizar un cuadro de distribución principal que estará situado junto al lado de carga de un transformador MT/BT de 2000 kVA. De este cuadro salen 3 líneas de 850 A que alimentan otros cuadros de distribución, pero no se tienen en cuenta.

Por razones de selectividad con otros interruptores automáticos de cuadros en el lado de carga, se han elegido interruptores automáticos de bastidor abierto, conectados desde los embarrados.

La corriente de cortocircuito del embarrado de distribución principal es de 48 kA.

Figura 13.1



13.2 Selección de los interruptores automáticos y los conductores externos del cuadro

Interruptores automáticos

Como se muestra en el diagrama unifilar, los interruptores automáticos elegidos son:

- 1 Emax E3N3200 PR121/P-LSI In 3200 (interruptor automático principal del cuadro QF1);
- 3 Emax E1N1250 PR121/P-LSI In 1250 (interruptores automáticos de las tres salidas QF2, QF3, QF4).

Conductores

De entrada, desde el transformador:

- 1 blindobarra con $I_z = 3150 \text{ A}$; $L = 5 \text{ m}$

Saliendo del cuadro, suponiendo una instalación elevada sobre bandejas perforadas:

- 1 cable, $L = 20 \text{ m}$, $3 \times (3 \times 120)$, $I_z = 876,3 \text{ A}$;
- 1 cable, $L = 70 \text{ m}$, $3 \times (3 \times 120)$, $I_z = 876,3 \text{ A}$;
- 1 cable, $L = 100 \text{ m}$, $3 \times (3 \times 120)$, $I_z = 876,3 \text{ A}$;

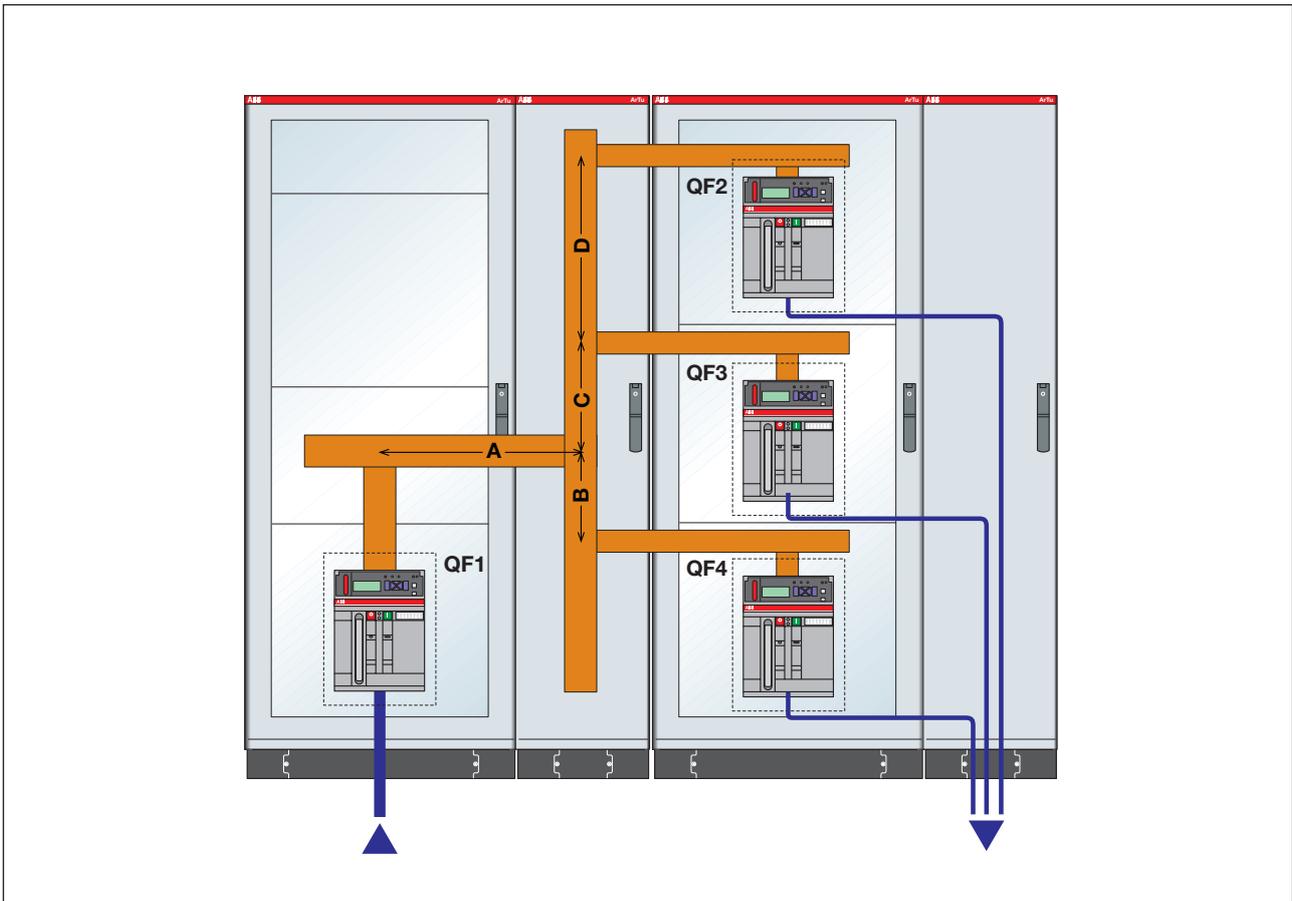
13.3 Parte frontal del cuadro de distribución, sistema de distribución y estructura metálica

En lo referido al posicionamiento de los aparatos, se ha decidido situar el interruptor automático principal en una columna y los tres alimentadores de salida en otra.

Debido a que el suministro llega desde abajo, se ha decidido colocar el interruptor automático QF1 en la parte inferior.

El cuadro de distribución es del tipo “no segregado”. La figura siguiente muestra una posible disposición de los embarrados y los interruptores automáticos:

Figura 13.2



Sistema de distribución

Los embarrados del interior del cuadro, en primera aproximación, se seleccionan en función de la corriente del interruptor automático:

Sistema del embarrado de distribución principal

(Interruptor automático QF1)
(Según "Distribution Switchgear - General catalogue")

BA2000 $I_n = 3200$ A (IP65) I_{cw} máx. = 100 kA

Para obtener un valor I_{cw} adecuado para la corriente de cortocircuito de la instalación:

Es preciso colocar 5 soportes para embarrados **PB3201** a una distancia máxima de 425 mm ($I_{cw} = 50$ kA).

Al estar en presencia de interruptores de bastidor abierto sin limitación de corriente, el valor I_{cw} del sistema de distribución debe ser mayor que el valor I_{cp} previsto en los embarrados.

Embarrados de conexión de los interruptores automáticos

(Interruptores automáticos QF2, QF3, QF4)
(Según "Distribution Switchgear - General catalogue")

BA1250 $I_n = 1250$ A (IP65) I_{cw} máx. = 75 kA

Para obtener un valor I_{cw} adecuado para la corriente de cortocircuito de la instalación:

Es preciso colocar 5 soportes para embarrados **PB1601** a una distancia máxima de 425 mm ($I_{cw} = 50$ kA).

Piezas de unión entre los interruptores automáticos y los embarrados

(Interruptores automáticos QF2, QF3, QF4)

La Tabla 11.2 del apartado 11.4 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas muestra las secciones transversales de los embarrados para la conexión de los interruptores automáticos:

E3N32 3200 A, sección transversal 3x(100x10)

E1N12 1250 A, sección transversal 1x(80x10)

Además, en función de los tipos de terminal, debe respetarse la distancia de sujeción máxima de la primera placa de anclaje, indicada en el apartado 11.3 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas.

Uniones de los embarrados

Como se indica en el "Distribution switchgear - General

catalogue" (catálogo general de cuadros de distribución), son necesarias las siguientes uniones:

Unión entre embarrados de 3200 A, en T, **AD1073**

Unión entre embarrado de 3200 A y embarrado de 1250 A, **AD1078**.

Embarrado de conexión a tierra

Como se indica en las páginas 44 y 45 de este Cuaderno de aplicaciones técnicas, el embarrado de conexión a tierra debe tener una sección transversal mínima igual a $\frac{1}{4}$ de la sección transversal de los embarrados principales. Por esta razón se ha seleccionado una barra de 50x10.

Estructura metálica

En lo referente a la estructura metálica, se ha utilizado un cuadro ArTu serie K con puerta (IP 65).

Con objeto de alojar los interruptores automáticos, el sistema de embarrado vertical y los cables de salida, se emplea lo siguiente:

- 2 columnas para los interruptores automáticos;
- 2 contenedores para cables, uno para el sistema de embarrado y otro para los cables de salida.

Para seleccionar correctamente la estructura es recomendable consultar el "Distribution switchgear - General catalogue" (catálogo general de cuadros de distribución), donde:

- para alojar los interruptores automáticos Emax E1-E2-E3 se necesita un cuadro de distribución de 800 mm de profundidad y 600 mm de ancho y un kit de instalación **KE3215**.

El contenedor para cables tiene, obviamente, 800 mm de profundidad y 300 mm de ancho.

En el catálogo general de equipos de distribución pueden encontrarse crucetas de sujeción para embarrados con sección perfilada:

- para los embarrados horizontales de 3200 A (**BA2000**), el tipo de instalación seleccionado es el número 5, para el que la selección correcta consiste en dos componentes **TV6221** y un **TV8011**;
- para los embarrados verticales de 3200 A (**BA2000**), el tipo de instalación seleccionado es el número 2, para el que la selección correcta consiste en un componente **TV8101**;
- para los embarrados horizontales de 1250 A (**BA1250**), el tipo de instalación seleccionado es el número 5, para el que la selección correcta consiste en dos componentes **TV6221** y un **TV8011**;

Como se especifica en el catálogo general de cuadros de distribución, la estructura metálica debe completarse mediante kits para instalación lado a lado (**AD 1014**).

13.4 Conformidad con la norma IEC 61439-2

Es necesario verificar la conformidad del cuadro con la norma IEC 61439-2.

Verificación térmica del cuadro de distribución

En relación con el apartado 10.10.3 de la norma IEC 61439-1, dado que la configuración del cuadro que va a construirse es similar a la de un cuadro probado en laboratorio, compuesto por:

- el mismo tipo de construcción que la unidad utilizada en la prueba;
- dimensiones externas superiores a las de la unidad utilizada en la prueba;
- mismas condiciones de refrigeración que la unidad utilizada en la prueba (convección natural y mismas aberturas de ventilación);
- misma forma de segregación interna que la unidad utilizada en la prueba;
- menor disipación de potencia en el mismo compartimento en comparación con la unidad probada;
- mismo número de circuitos de salida para cada compartimento.

Los límites de sobretensión se consideran verificados.

La diferencia principal reside en la posición del interruptor automático principal QF1.

En el cuadro probado este interruptor automático estaba situado en la parte superior, mientras que en el cuadro que se va a construir está en la parte inferior. Debido a que no hay otros equipos en esta columna y habiendo situado el interruptor automático en una zona más fría que en el cuadro probado, puede considerarse que este cambio **no modifica de forma importante el rendimiento del cuadro** (desde el punto de vista térmico).

Verificación de las propiedades dieléctricas

Las propiedades dieléctricas del cuadro examinado son iguales a las declaradas por el sistema ArTu siempre que se sigan correctamente las instrucciones de montaje de cada componente.

A estos efectos, depende del montador el procurar que la colocación de cada pieza individual (suministrada suelta y con los soportes de sujeción correspondientes) sea llevada a cabo conforme a las normas.

Debe tenerse en cuenta que incrementar la forma de segregación supone una reducción proporcional de las áreas de montaje internas y que el uso de piezas extrañas (piezas metálicas hechas a medida, posibles contenedores o terminales metálicos de bloqueo), así como la introducción de componentes eléctricos con

envolventes metálicas (como tarjetas, arrancadores, monitores, pantallas, etc.) puede reducir o poner en peligro la resistencia dieléctrica del conjunto.

Para verificar las especificaciones del producto, ABB ha realizado las pruebas de verificación adecuadas, tanto con corriente alterna a 50 Hz como con impulsos, con los siguientes resultados:

- tensión nominal $U_n = 400 \text{ V}$;
- tensión de aislamiento $U_i = 1000 \text{ V}$;
- tensión nominal soportada a impulsos $U_{imp} = 8 \text{ kV}$.

Verificación de la resistencia a cortocircuitos

Gracias a la elección de los embarrados y los interruptores automáticos, y habiendo seguido correctamente las instrucciones de montaje, se verifica la resistencia a cortocircuitos hasta el valor declarado en el catálogo.

Además de las distancias de sujeción entre los embarrados y los soportes correspondientes, es necesario cumplir los valores de apriete mecánico entre barras y soportes, comprobando que se encuentran entre los valores mínimos y máximos requeridos. Es igualmente necesario cumplir las distancias de cableado máximas aceptadas entre el terminal de entrada o de salida de los aparatos y el primer soporte del embarrado; estas distancias han sido examinadas e indicadas en las tablas del apartado 11.3 de este documento. En este caso concreto no se necesitan derivaciones específicas conforme a las normas de diseño, ya que la intensidad nominal de corta duración del diseño alcanza un valor I_{cw} igual a **50 kA**, lo que resulta suficiente.

Verificación de la resistencia a cortocircuitos del circuito de protección

La continuidad eléctrica efectiva de la tierra entre las partes conductoras expuestas queda verificada, con valores de resistencia despreciables, si se respetan las instrucciones de montaje de los componentes metálicos. Si, de acuerdo con el diseño, se elige una sección transversal para los embarrados de conexión a tierra aplicando la tabla de la norma o calculándola respetando plenamente el valor I^2t de los materiales, la resistencia a cortocircuitos del circuito de protección también se considera verificada.

Verificación de las distancias de aislamiento

Las distancias de aislamiento adecuadas se consideran garantizadas si se respetan las instrucciones de montaje de las estructuras metálicas e interruptores automáticos ABB, suministradas con cada producto. En cualquier caso, las pruebas de verificación posteriores al montaje permiten detectar y corregir, si fuera necesario, cualquier posible defecto de posición y distancia, tanto entre las partes con tensión como con las partes conductoras expuestas (masas).

Este control se recomienda sobre todo en el caso de diseños con las formas 3 y 4.

Verificación del funcionamiento mecánico

Esta es una de las pruebas particulares que verifican si las conexiones que alimentan los sistemas de control remoto, ajuste y seguridad del cuadro de distribución, la instalación o la máquina son correctas.

El funcionamiento mecánico está garantizado si se respetan las instrucciones de montaje para estructuras metálicas e interruptores automáticos de ABB.

Verificación del grado de protección

Si se cumplen las instrucciones de montaje de las estructuras metálicas, los interruptores automáticos y los bastidores, juntas y guías suministradas con los equipos ABB, es posible obtener un grado de protección IP hasta **IP 65**.

Verificación de la continuidad

La norma IEC 61439 requiere que todas las partes conductoras expuestas (masas) y accesibles del cuadro estén conectadas a tierra. Durante la prueba de verificación deberá llevarse a cabo una inspección visual detallada de estas conexiones, que pueden realizarse mediante tornillos, soldadura u otro medio.

Hace años que el sistema ArTu cumple perfectamente este requisito gracias a una sola conexión a tierra para la estructura mecánica (generalmente a lo largo de uno de los montantes de bus). De hecho, una sencilla sujeción mecánica entre paneles, cubiertas, placas de especificaciones, cáncamos, etc., mediante pernos y tornillos, correctamente comprobada en laboratorio, se considera más que suficiente para garantizar la continuidad galvánica con la tierra.

De esta forma es posible superar los problemas de corrosión, contacto y transmisión del potencial cero de seguridad a todas las partes peligrosas.

Anexo A: Formularios de declaración de conformidad y certificado de pruebas

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD CUADROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN Y MANIOBRA DE BAJA TENSIÓN CONFORME A LA NORMA IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2)

La Compañía
 Con sede en
 Constructora del cuadro de distribución

declara, bajo su propia responsabilidad, que el cuadro de distribución anteriormente indicado ha sido construido conforme a los últimos avances y cumpliendo todas las especificaciones dispuestas en la norma IEC 61439-2.

Declara igualmente que se han utilizado componentes ABB, que se han respetado los criterios de selección e instrucciones de montaje indicados en los catálogos correspondientes y en las hojas de instrucciones, y que las prestaciones del material utilizado y declarado en dichos catálogos no han sido mermadas en modo alguno durante el montaje o mediante modificación.

Tales prestaciones y las verificaciones realizadas nos permiten declarar la conformidad del cuadro de distribución examinado/en cuestión con los siguientes requisitos de la norma:

Requisitos estructurales:

- Resistencia de los materiales y partes del cuadro
- Grado de protección
- Distancias de aislamiento en aire y superficial
- Protección contra descarga eléctrica
- Instalación de aparatos y componentes
- Circuitos y conexiones eléctricas internas
- Terminales para conductores externos

Requisitos de rendimiento

- Propiedades dieléctricas
- Límites de sobretensión
- Resistencia a cortocircuitos
- Compatibilidad electromagnética (EMC)
- Funcionamiento mecánico

Por último, declara, bajo su propia responsabilidad, que todas las verificaciones particulares requeridas por la norma han sido llevadas a cabo correctamente y de forma precisa;

Especificaciones de construcción:

- Grado de protección de la envolvente
- Distancias de aislamiento en aire y superficial
- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra
- Circuitos y conexiones eléctricas internas
- Terminales para conductores externos
- Funcionamiento mecánico.

Especificaciones de rendimiento:

- Propiedades dieléctricas
- Cableado, rendimiento en servicio y funcionalidad.

Fecha y lugar

Firma

(Nombre completo y cargo de la persona responsable de firmar en representación del fabricante)

**CERTIFICADO DE PRUEBAS
CUADROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN Y MANIOBRA DE BAJA TENSIÓN CONFORME
A LAS VERIFICACIONES PARTICULARES ESTABLECIDAS POR LA NORMA IEC 61439-2
(CEI EN 61439-2)**

La Compañía

Con sede en

Fabricante del cuadro

.....

emite el siguiente

CERTIFICADO DE PRUEBAS

certifica con este documento que han sido llevadas a cabo todas las verificaciones técnicas establecidas por las normas aplicables al producto, particularmente aquellas incluidas en la norma IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2), así como el cumplimiento de todas las obligaciones legales y normativas requeridas por las disposiciones vigentes.

Fecha y lugar

.....

Firma

(Nombre completo y cargo de la persona responsable de firmar en representación del fabricante)

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD CE
CUADROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN Y MANIOBRA DE BAJA TENSIÓN
CONFORME A LA NORMA IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2)**

La Compañía
 Con sede en
 Fabricante del cuadro

declara, bajo su propia responsabilidad, que el cuadro de distribución

tipo
 n.º de serie
 norma de referencia IEC 61439-2
 año de aplicación de la marca CE

cumple lo establecido por las directivas de la Comunidad Europea (incluyendo las modificaciones más recientes a la misma), así como por la legislación nacional correspondiente

N.º de referencia	Título
Directiva 2006/95/CE,	Directiva de Baja Tensión
Directiva EMC 2004/108/CE	Directiva de Compatibilidad Electromagnética ⁽¹⁾
93/68/CEE	Directiva de marcado CE

Y que se ha aplicado la siguiente norma armonizada

Código de norma	edición	título
IEC 61439-1	I	IEC 61439-1 (CEI EN 61439-1) Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión Parte 1: Reglas generales
IEC 61439-2	I	IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2) Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión Parte 2: Cuadros de distribución de potencia

⁽¹⁾ Omitir esta directiva en los casos en los que la conformidad con ésta no sea obligatoria.

Fecha y lugar Firma

 (Nombre completo y cargo de la persona responsable de firmar en representación del fabricante)

LISTA DE COMPROBACIÓN. VERIFICACIONES PARTICULARES

Cliente

Instalación

Pedido/Cuadro:

Operaciones de comprobación	Verificado	Resultado	Operador
1) Construcción			
a) grado de protección de la envolvente			
b) distancias de aislamiento en aire y superficial			
c) protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección			
d) instalación de dispositivos y componentes de maniobra			
e) circuitos y conexiones eléctricas internas			
f) terminales para conductores externos			
g) funcionamiento mecánico			
2) Rendimiento			
a) propiedades dieléctricas			
b) cableado, rendimiento en servicio y funcionalidad			

Verificación realizada por:

Durante el montaje	Después del montaje
<input type="text"/>	<input type="text"/>

INFORME DE PRUEBA. VERIFICACIÓN PARTICULAR (PRUEBAS)

Cliente

Instalación

N.º de pedido

Tipo y número de identificación del cuadro de distribución

Plano del cuadro

Diagrama funcional

Otros diagramas.....

Tensión nominal de empleo.....

Intensidad nominal del circuito de entrada.....

Pruebas de verificación particular llevadas a cabo conforme a la norma IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2)

	Resultado
- grado de protección de la envolvente	
- distancias de aislamiento en aire y superficial	
- protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección	
- instalación de dispositivos y componentes de maniobra	
- circuitos y conexiones eléctricas internas	
- terminales para conductores externos	
- funcionamiento mecánico	
- propiedades dieléctricas	
- cableado, rendimiento en servicio y funcionalidad	

Pruebas realizadas en

En presencia de D./D^a.

Habiendo superado las pruebas anteriores, el cuadro de distribución examinado se considera conforme a la norma IEC 61439-2 (CEI EN 61439-2).

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



1TXA007110G0701 000111