

7.7.2.2. Lado secundario

7.7.2.2.1 Maniobra

El secundario de transformador se conectará a una barra de donde se derivan las salidas. Cada salida de esta barra contará con seccionamiento propio.

Si hubiese más de un transformador y se proveyese de un acoplamiento entre sus salidas, éste aparato debe cumplir función de seccionamiento.

7.7.2.2.2 Protección contra sobrecorrientes

Cada salida contará con protección frente a sobrecorrientes. Esta protección será realizada mediante relés que accionen interruptores automáticos, o con fusibles, procurando la selectividad deseada.

7.7.2.2.3 Protección contra sobretensiones

Cada transformador que alimente líneas aéreas deberá poseer descargadores de sobretensiones.

7.7.3. Centro de suministro MT

7.7.3.1. Lado red de alimentación

7.7.3.1.1 Seccionamiento

Aguas arriba de los transformadores de medición se dispondrá de seccionamiento con capacidad al menos de cortar la corriente magnetizante de los transformadores agua abajo. Si la conexión del centro no es mediante una única derivación radial (accede mas de un cable de red MT), cada entrada a su vez poseerá seccionamiento propio.

7.7.3.1.2 Protección contra sobrecorrientes

El equipo de protección puede formar parte de la propia instalación, o pertenecer a una instalación agua arriba, siempre que se garantice la apertura de la corriente de defecto en los tiempos admitidos por los materiales y equipos del centro, sin perjuicio de la instalación de un equipo de protección general por parte del usuario. Para procurar una correcta coordinación con la protección general del usuario, éste deberá informar sobre las características de sus instalaciones, cantidad y potencia aparente de transformadores instalados y tipo de elementos de maniobra y protección previsto.

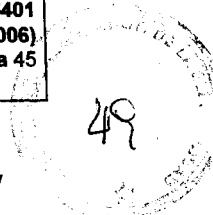
7.7.3.1.3 Protección frente a sobretensiones

Si la conexión al centro se deriva de red MT aérea, se deben colocar descargadores. Si hubiese transición línea-cable, se ubicarán en ese punto.

7.7.3.2. Lado conexión a usuario

Seccionamiento en propio recinto: Debe disponerse de seccionamiento de la línea de salida, agua abajo de los transformadores de medición, dentro de la propia instalación del centro.

Seccionamiento posterior al centro: La extensión de la línea de salida del centro de suministro hasta el primer punto de seccionamiento y protección del usuario, no debe superar los 20 m.



7.8. Disposiciones particulares según el comportamiento frente al fuego y fugas del líquido aislante del transformador empleado.

Se prevé el empleo de transformadores en líquido aislante de aceite mineral, líquido aislante de baja inflamabilidad (punto de inflamación mayor a 300 °C, tales como aceite de siliconas o derivado de hidrocarburos), y transformadores de aislación seca.

Está prohibido el empleo de transformadores con PCB en nuevos centros de transformación.

Al respecto actualmente rige a nivel nacional la Ley 25670 Presupuestos Mínimos para la gestión y eliminación de los PCBs, en la que se establece la descontaminación o eliminación de los equipos que contengan PCB en el territorio nacional con fecha límite Diciembre de 2009. El artículo 3 de esta Ley indica que, a sus efectos, se entiende por:

“PCBs a: los policlorobifenilos (Bifenilos Policlorados), los policloroterfenilos (PCT), el monometiltetraclorodifenilmetano, el monometildiclorodifenilmetano, el monometildibromodifenilmetano, y a cualquier mezcla cuyo contenido total de cualquiera de las sustancias anteriormente mencionadas sea superior al 0,005% en peso (50ppm).”

“Descontaminación: al conjunto de operaciones que permiten que los aparatos, objetos, materiales o fluidos contaminados por PCBs puedan reutilizarse, reciclarse o eliminarse en condiciones seguras, y que podrá incluir la sustitución, entendiéndose por ésta toda operación de sustitución de los PCBs por fluidos adecuados que no contengan PCBs.”

“Eliminación a: las operaciones de tratamiento y disposición final por medios aprobados por la normativa aplicable sobre residuos peligrosos.”

Según el tipo de transformador empleado, los recintos deben cumplir con las características siguientes.

7.8.1. Transformadores en aceite mineral (O)

- Las paredes, puertas o tapas de recintos para instalaciones de interior deberán tener una resistencia al fuego mínima de: i) F 90 o F60 y rociadores con sistema automático de corte de tensión previo si se instalan transformadores de mas de 1,25 MVA, ii) F 60 para potencia de hasta 1,25 MVA en recinto sin ambientes contiguos con permanencia de personas; iii) F90 mínimo, o F 60 y foso con medio de extinción según “d” para transformadores de hasta 1,25 MVA que contengan más de 50 l de aceite y el recinto es contiguo a ambientes con permanencia de personas.
- En transformadores ubicados en exterior, se deberá proveer una separación respecto de las paredes de edificios contiguos de:

Tabla 7.8 a – Distancias de transformadores a paredes

Volumen de líquido	Distancia respecto de paredes no combustibles u otros transformadores	Distancia respecto de paredes o elementos combustibles
Hasta 2000 l	3 m	7,6 m
Mas de 2000 l hasta 20000 l	5 m	10 m



Si el transformador se encuentra a una distancia menor que la antes indicada, se deberá proveer de un muro de separación del edificio con resistencia al fuego F 60, o el edificio mismo deberá tener una resistencia al fuego F90 si contiene más de 1000 l de aceite, o F 60 para transformador con hasta 1000 l.

- c) Para más de un transformador, si la distancia entre éstos es inferior a la antes indicada, tanto para instalaciones de interior o exterior, se debe prever entre ellos una pared de separación con resistencia al fuego F60 (ver figura 7.8-e).
- d) En instalaciones de interior, y en instalaciones de exterior con transformadores que contengan más de 1000 l de aceite se debe disponer un foso u otro medio de contención del aceite, de volumen suficiente para que lo pueda recibir, o el recinto debe estar construido de forma que el líquido quede contenido en el mismo sin escapes al exterior (ver figuras al final del punto).
Los fosos de recogida y depósitos colectores de aceite de transformadores que sean compartidos por dos o mas transformadores deben contar con un medio de extinción del aceite en ignición que reciba, para evitar la propagación de incendio de un transformador a otro.
En instalaciones de interior con un transformador de menos de 1000 l, se podrá utilizar el piso impermeable, y un desnivel con bordes (o tabiques) resistentes al fuego de altura suficiente como fosa de recepción del líquido.
- e) Las salidas de ventilación deberán comunicar al exterior, directamente o mediante ductos exclusivos. Si los ductos atraviesan otros ambientes deberán estar concebidos de modo de no transmitir fuego y humo ante incendio. Solo cuando no exista manera, se admitirán salidas de ventilación comunicada con ambientes sin permanencia de personas, tales como cocheras, siempre que se disponga de un medio de obturación de las ventilaciones ante incendio resistente al fuego (al menos F90), que evite el eventual escape de humo.
- f) Ubicación de ventilaciones y aberturas tal que ante incendio no se obstruya el paso de las vías de escape de personas.
- g) El acceso al local deberá ser directo desde el exterior, o a través de antecámara solamente comunicada con el ambiente de maniobra.
- h) El local no estará a mas de 4 m de altura sobre el nivel del terreno, ni por debajo de primer subsuelo. En locales para centros de transformación de interior con personal permanente de explotación y mantenimiento se dispondrá de medios de extinción apropiados. En caso de centros de transformación en locales sin personal permanente, de no disponerse lo antedicho, el personal que acceda dispondrá de medios de extinción portátiles.

7.8.2. Transformadores en líquido de baja inflamabilidad, tipos K2, K3 según IEC 61100 (por ejemplo, líquido aislante de siliconas)

- a) Para transformadores de hasta 10 MVA en instalaciones de interior, con protecciones particulares apropiadas (detección de fallas incipientes, o fusibles limitadores MT, alivio de presión de tanque), las partes constructivas no combustibles (o elementos de ocupación no combustible) del edificio que incluya el recinto del centro de transformación (o que estén en su proximidad) deben estar a una distancia mínima respecto del transformador de 1,5 m horizontal y 3 m vertical, o deben ser resistentes al fuego con resistencia mínima F60. Los cerramientos que delimitan el recinto del centro pueden construirse con paredes de mampostería, rejas (siempre que el edificio continente proteja la instalación de la intemperie) o placas de hierro de resistencia mecánica suficiente, debiendo cumplir el requerimiento antes indicado. Si existiesen materiales combustibles a menos de 4 m para transformador de hasta 2500 kVA u 8 m hasta 10 MVA, o elementos constructivos (u ocupación) no combustibles del edificio que incluye al recinto del centro (o que estén en su proximidad) a una distancia menor a la antes indicada sin la resistencia al fuego adecuada, se debe ejecutar un recinto con paredes de resistencia al fuego F60 que separen el transformador de estos elementos.
- b) Para transformadores de potencia mayor a 10 MVA o de potencia menor sin las protecciones particulares mencionadas en a), en instalaciones de interior, se ejecutará un recinto con paredes de



51

resistencia al fuego F60, o instalarán rociadores con sistema automático de corte de tensión previo (o sistemas de agua fraccionada).

- c) En transformadores de exterior, se mantendrán las separaciones siguientes respecto de edificaciones con resistencia al fuego menor a F60 u otros transformadores:

Tabla 7.8 b – Distancias de transformadores de exterior

Volumen de líquido	Distancia respecto de paredes no combustibles u otros transformadores	Distancia respecto de paredes o elementos combustibles
Mas de 1000 l hasta 3800 l	1,5 m	7,6 m
Mas de 3800 l hasta 20000 l	4,6 m	10 m
Mas de 20000 l	4,6 m	15 m
Con las protecciones indicadas en a)	0,9 horizontal 1,5 vertical	

- d) Debe disponerse de un medio de contención del aceite o bien el recinto estar construido de modo que evite su escape al exterior.
- e) Ubicación de ventilaciones y aberturas tal que ante incendio no obstaculice el paso ni la visibilidad de la vías de escape de personas.

7.8.3. Transformadores de aislación seca tipo F1-F2 según IEC 60076-11.

Construcción con paredes no combustibles, y alejamiento de todo elemento combustible a mas de 1,8 m del transformador.

Cuadro resumen para instalaciones de interior

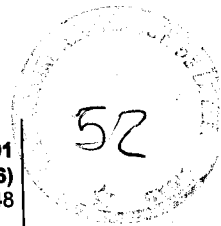
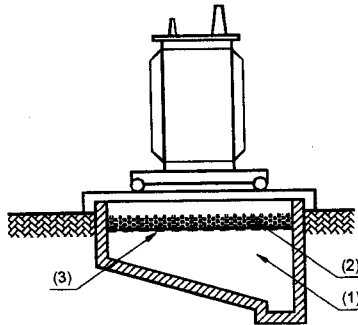


Tabla 7.8 c – Cuadro resumen para instalaciones de interior

Concepto	Tipo de transformador		
	En líquido tipo O (p.ej. aceite mineral)	En líquido tipo K2-K3 (p.ej. aceite de siliconas)	Seco encapsulado tipo F1-F2 (p.ej. en resina epoxi clase F).
Características de recinto o envoltura	Hasta 1,25 MVA, en recintos sin ambientes contiguos con permanencia de personas: recinto con paredes resistentes al fuego F60. Hasta 1,25 MVA, en recintos con ambientes contiguos con permanencia de personas: recinto con paredes resistentes al fuego mínima F90, o F60 y contención con medio de extinción. Mas de 1,25 MVA: F90, o F60 y rociadores automáticos	Sin materiales combustibles próximos: elementos constructivos próximos resistentes al fuego F60 o separados a distancia suficiente (ver 7.8.2 a) Con materiales combustibles próximos, o construcción próxima no resistente al fuego: recinto cerrado con paredes de resistencia al fuego F60.	Sin materiales combustibles próximos (1,8 m mínimo): cerramiento y paredes incombustibles sin exigencias en cuanto a incendio. Con materiales combustibles próximos: transformador con envoltura cerrada (excepto ventilaciones), o barreras F60.
Contención de líquido	Hasta 1 m ³ de aceite por transformador: bordes elevados (figura 7.8-d) o foso colector. Mas de 1 m ³ : foso colector de aceite con medio de extinción (p.ej. lecho de piedra) en la recogida (figuras 7.8 a, b y c).	Bordes elevados (figura 7.8-d) o foso colector (figura 7.8-e).	-
Accesos al local	Directo desde el exterior. Puertas de chapa de hierro	Excepcionalmente, desde espacio interior. Puertas metálicas.	Excepcionalmente, desde espacio interior. Puertas metálicas
Ventilaciones	a) Salidas directas o mediante ductos exclusivos al exterior. b) Ubicación tal que ante incendio no se obstaculice la salida de personas.	Idem b)	Idem b)
Altura de montaje	A nivel o primer subsuelo	Sin restricción	Sin restricción

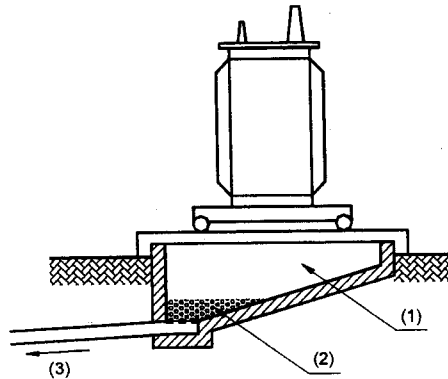


Figura 7.8-a Foso de recogida con depósito colector integrado



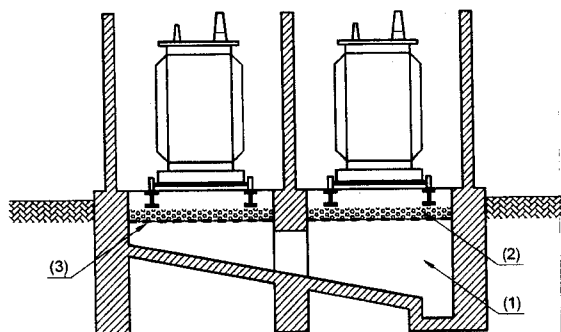
- (1) Volumen para contener todo el líquido aislante y refrigerante, más el agua del sistema de extinción, si existe.
- (2) Lecho de grava para actuar como barrera cortafuego.
- (3) Malla de planchuela de hierro o de chapa perforada pesada.

Figura 7.8-b Foso de recogida con depósito colector separado



- (1) Volumen para contener como mínimo el 20 % del líquido aislante y refrigerante.
- (2) Lecho de grava para actuar como barrera cortafuego.
- (3) Al tanque colector.

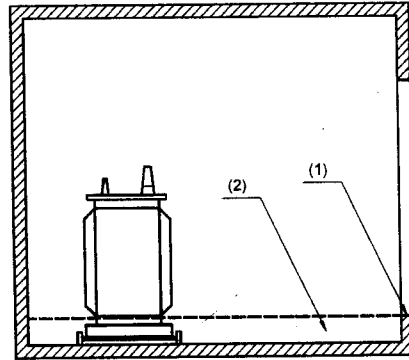
Figura 7.8-c Foso de recogida con depósito colector integrado común



- (1) Volumen exterior para contener todo el líquido aislante y refrigerante, del transformador con más volumen de líquido, más el agua de lluvia y el agua del equipo de extinción de incendios, si existe. Volumen interior para contener todo el líquido aislante y refrigerante, del transformador con más volumen de líquido, y el agua del equipo de extinción de incendios, si existe.
- (2) Lecho de grava para actuar como barrera cortafuego.
- (3) Malla de planchuela de hierro o de chapa perforada pesada.

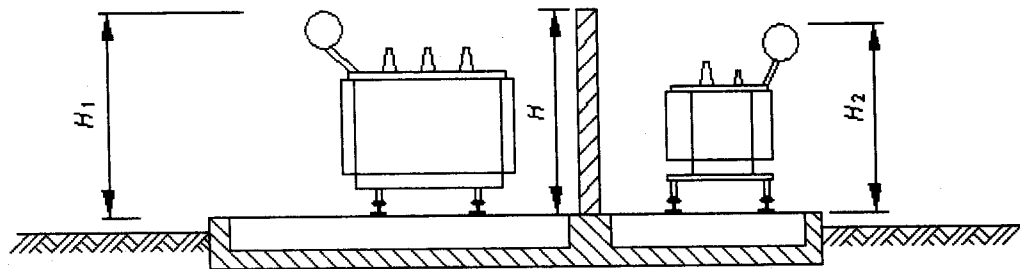
Nota: Cuando se trate de transformadores instalados en exterior, debe asegurarse que la capacidad de los fosos/depósitos colectores de los fluidos aislantes y refrigerantes no se reduce indebidamente a causa del agua que penetre en ellos. Debe ser posible extraer el agua periódicamente, o bien contar con un sistema que permita separar el agua y drenarla al exterior.

Figura 7.8-d Ejemplo de contención de aceite en recinto con bordes elevados, para transformadores con hasta 1 m³ de líquido



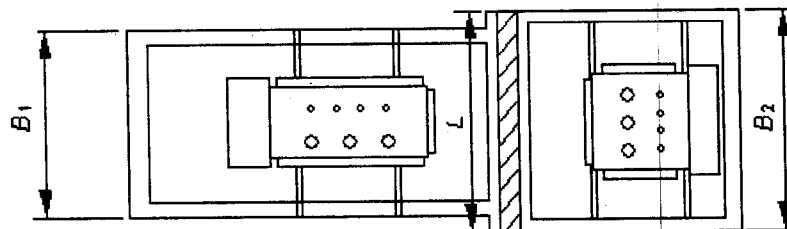
- (1) Umbral
- (2) Volumen total previsto para contener todo el líquido aislante y refrigerante, del equipo eléctrico derramado en el piso.

Figura 7.8-e Dimensiones de las paredes de separación entre transformadores



$$H \geq H_1 \text{ (con } H_1 > H_2 \text{)}$$

$$L \geq B_2 \text{ (con } B_2 > B_1 \text{)}$$



7.9. Instalaciones auxiliares de BT

Las instalaciones de BT auxiliares propias de estos centros se regirán en lo que sea aplicable, por la "Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles", de la Asociación Electrotécnica Argentina, partes 1 a 6.



En un centro con instalación de interior de maniobra interior, y eventualmente en centros a nivel intemperie pueden incluirse las instalaciones auxiliares de BT siguientes, según las necesidades propias de la instalación:

- Iluminación artificial.
- Toma de fuerza motriz para trabajos de mantenimiento.
- Toma de fuerza motriz para ventilación forzada
- Toma de fuerza motriz para bombas de achique
- Servicios auxiliares de celdas u otros equipos
- Equipamiento remoto de telecontrol.

Si se tratara de instalaciones con permanencia de personal de operación y mantenimiento

- Iluminación de emergencia.
- Sistema de alarma de incendio

Todas las instalaciones auxiliares de BT deberán estar protegidas desde un Tablero Principal de BT según se establece en el punto 10.3

7.9.1. Iluminación artificial

La iluminación artificial en el local para instalaciones de interior proporcionará un nivel de iluminancia medio a 0,8m del suelo de 100 Lx.

7.9.2. Toma de fuerza motriz para trabajos de mantenimiento

En los locales se instalarán tomacorrientes para utilización de equipos o herramientas en tareas de mantenimiento. La cantidad y ubicación dependerá del diseño del CT, y su instalación seguirá lo establecido en el punto 10.3. De reverse tomas de 380 V, serán 3x16 A+Neutro+Tierra, según IEC 60309.

7.9.3. Toma de fuerza motriz para ventilación forzada

En aquellos recintos en que el cálculo de la ventilación determine la necesidad de instalar equipos forzadores, los mismos deberán contar con sistema de accionamiento y control de acuerdo a lo estipulado en el punto 7.3.4.6.

Se podrán utilizar forzadores de accionamiento eólico siempre que su colocación sea factible, adoptando las precauciones mencionadas anteriormente.

7.9.4. Toma de fuerza motriz para bombas de achique

En los recintos subterráneos en los que exista el riesgo de ingreso accidental de agua (excepto los centros con equipamiento sumergible), se deberá instalar un sistema de bombeo con accionamiento automático acorde al máximo caudal que fuera necesario desagotar. Deberá contar con alarma y/o salida de servicio del CT por mal funcionamiento del sistema de achique o por superación del nivel de agua máximo admitido. La boca de aspiración debe estar dispuesta de forma tal que no sea posible bombear al exterior el aceite que pudiera existir debido a derrames o fugas accidentales.

Nota: esta medida es complementaria, ante la operación del sistema se debe detectar la causal del ingreso de agua y tomar las medidas para evitarlo.



7.9.5. Servicios auxiliares para mando de celdas u otros equipos

Según sus características o importancia, el centro podrá contar con servicios auxiliares en corriente continua (por ejemplo, existencia de servicios esenciales tales como mandos controlados desde una unidad de procesamiento electrónica, sistemas de telesupervisión o telecontrol, celdas con mandos motorizados, sistemas de protecciones no autónomos). El sistema será de capacidad adecuada para alimentar todas las cargas permanentes de corriente continua.

Deben proporcionarse de los medios de seccionamiento del circuito de mando de cada aparato o compartimiento de aparamenta de MT para permitir que se pueda realizar mantenimiento sobre éstos con seguridad. Los cables y conexiones del sistema de mando se instalarán según lo indicado en 3.2.5, teniendo en cuenta las recomendaciones relativas a la minimización de afectación por interferencias electromagnéticas.

Eventualmente, para mando de equipos tales como interruptores automáticos, si la instalación no requiere de una alimentación de corriente continua permanente, se podrá disponer de un sistema de carga y capacitor, para provocar la apertura del equipo.

Las características de las baterías y del local según su tipo se indican en el capítulo 9.

7.9.6. Sistema de telecontrol (terminales remotas)

El CT podrá contar con sistema de comunicación para monitoreo y comando a distancia. Este sistema deberá contar con alimentación de emergencia por medio de baterías.

7.9.7. Sistema de alarma de incendio

En casos particulares de centros con permanencia de personal de operación y mantenimiento, el mismo deberá disponer de sistema de alarma contra incendio, que contará como mínimo de alarma sonora, además del dispositivo de bloqueo del sistema de ventilación forzada.

7.9.8. Sistema de iluminación de emergencia

En casos particulares de centros con permanencia de personal de operación y mantenimiento, se dispondrá de un sistema de iluminación de emergencia que permita la operación del equipamiento y el escape de las personas, con una iluminancia media de 30 Lx. Para los centros en general, el personal de explotación accederá con medios de iluminación de emergencia portátiles.

8. TRATAMIENTO DEL NEUTRO Y PUESTAS A TIERRA

8.1. Conductor neutro Puesto a tierra

Los sistemas MT y BT asociados a los centros de transformación tendrán en general un esquema de conexión de neutro rígido a tierra, según lo indicado en 6.2.2.

8.1.1. Secciones mínimas de los conductores de neutro en el CT

El conductor neutro tendrá como mínimo la sección que a continuación se especifica:

- En sistemas con dos conductores (fase y neutro): igual a la del conductor de fase.
- En sistemas con cuatro conductores (tres fases y neutro): hasta 16 mm² de cobre o aluminio, igual al del conductor de fase; para secciones superiores el neutro deberá tener una sección la mitad de la correspondiente al conductor de fase, con un mínimo igual a 10 mm² para el cobre y 16 mm² para el aluminio.



57

- Según el nivel de presencia de armónicos de secuencia homopolar, pueden requerirse secciones mayores para el neutro. Para su elección, ver REIEI.

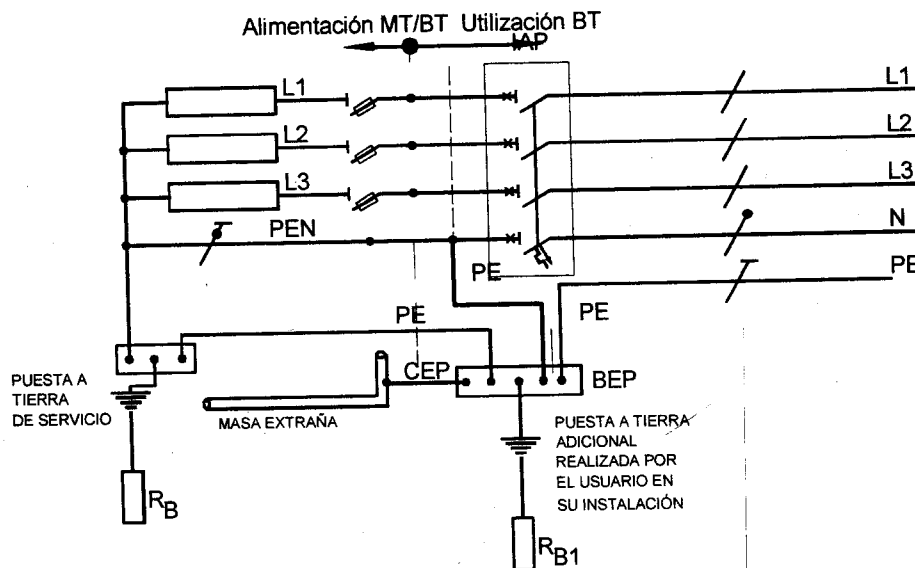
8.1.2. Continuidad del neutro en el centro de transformación

El conductor neutro no podrá ser interrumpido, salvo que esta interrupción sea realizada por interruptores o seccionadores multipolares que actúen sobre el neutro al mismo tiempo que en las fases (corte multipolar simultáneo) o que establezcan la conexión del neutro antes que las fases y desconecten éstas antes que el neutro.

Se procurarán evitar uniones intermedias en el conductor neutro de la línea de vinculación entre bornes BT del transformador y bornes de entrada del tablero de BT del centro.

La conexión del neutro a tierra se hará mediante una conexión derivada hasta la barra de tierra a la que acomete el conductor de tierra.

Si la instalación BT del inmueble del predio en que se encuentra un centro de transformación tuviese un esquema de conexión a tierra TN-S, el conductor PE de ésta se conectará a esta barra de tierra.



8.1.3. Identificación del conductor neutro y de puesta a tierra

Los colores de identificación son:

- Conductor neutro BT: Celeste (o encintado de ese color en partes visibles del cable).
- Conductor de protección de instalación BT para fuerza motriz, servicios auxiliares, iluminación: debe ser aislado, con color verde y amarillo (conforme REIEI).
- Conductor de protección de masas MT: se permite cable desnudo, con protección mecánica (y aislante si corresponde) en instalaciones exteriores expuestas.



8.2. Sistemas de puesta a tierra asociados a los centros

8.2.1. Puesta a tierra de protección

Sistema de puesta a tierra de partes conductoras que normalmente no están bajo tensión (masas eléctricas y masas extrañas), destinado a proteger las personas, animales y bienes evitando que aparezcan diferencias de potenciales peligrosos entre éstas y respecto de tierra, en caso de un incidente.

A este sistema se conectan todas las masas metálicas (masas eléctricas tales como gabinetes de celdas, tableros de BT, bastidores de aparatos, blindajes y/o pantallas de cables etc.) y partes conductoras ajenas (masas extrañas) tales como estructuras, postes, cercos perimetrales, etc., que puedan quedar accidentalmente bajo tensión ante una falla o trasladar potenciales remotos, y sean simultáneamente accesibles, de forma de asegurar la equipotencialidad.

8.2.2. Puesta a Tierra de Servicio

Puesta a tierra de un punto del circuito activo, que es necesaria para el normal funcionamiento de un equipo o instalación. En los centros de transformación es aquella destinada a conectar en forma permanente a tierra el centro estrella (ó borne en transformador monofásico) correspondiente a el/los bobinado/s de los transformadores de distribución y el conductor neutro de la red, en MT o en BT según corresponda.

8.3. Requisitos de los sistemas de puesta a tierra

8.3.1. General

Este apartado precisa los criterios para el diseño e instalación del sistema de puesta a tierra de los centros de transformación MT/BT y de los centros de suministro MT, de forma que funcione en todas las condiciones. Para ello su diseño y construcción deberá cumplir con los requisitos fundamentales siguientes:

Requisitos de seguridad:

- Garantizar la seguridad de las personas en cualquier lugar al que éstas tengan legítimo acceso, evitando la circulación de una corriente inadmisibile por el cuerpo humano.

Requisitos funcionales:

- Resistir los esfuerzos térmicos y electrodinámicos.
- Asegurar la resistencia mecánica y contra la corrosión.
- Evitar el daño de los equipos debido a aumentos de potencial excesivos o a diferencias de potencial elevadas entre distintos sistemas de tierra, y a corrientes excesivas circulantes por partes no concebidas a tal efecto.

8.3.2. Valores máximos de resistencias de puesta a tierra

8.3.2.1. Valores de resistencia de puesta a tierra de protección de MT no unificada

Las tomas de tierra de protección, a la que se conectan las masas del lado MT, deberán tener un valor máximo de 10 Ohm, además de garantizar un adecuado nivel de tensión de paso y contacto en caso de falla.

Nota: este valor es indicado para acotar la tensión aplicada sobre el sistema secundario ante elevación de potencial de la tierra de protección MT, sea por averías como por sobretensiones atmosféricas,

recomendándose valores de resistencia inferiores en áreas con nivel cerámico(*) superior a 25 días de tormenta/año.

(*) Ver AEA 92305-0

8.3.2.2. Valores de resistencia de puesta a tierra de servicio de BT

La resistencia total de puesta a tierra del neutro de la red BT alimentada por el centro (valor resultante si el neutro está múltiplemente puesto a tierra) debe ser tal que, ante contacto de un conductor de fase con la tierra o con una parte conductora extraña (no conectada al conductor PEN) vinculada con la tierra, la sobretensión en fase sana no supere los valores admitidos por la aislación de las instalaciones y aparatos conectados, y que no permanezcan tensiones de contacto peligrosas en las masas de instalaciones de BT abastecidas en que se aplique el esquema de conexión a tierra TN (la IEC 60364-4-41, indica la condición a verificar en el punto 413.1.3.7). Para la red BT con tensión nominal 3x380/220 V, la tensión fase-tierra máxima admitida es de 250 V, para lo cual la tensión entre neutro y tierra no debe superar los 50 V (Reporte Técnico IEC 61200 Electrical Installation guide).

Debe además permitir la actuación de los interruptores por corriente diferencial de fuga de las instalaciones de BT abastecidas ante fallas a masa, sin que aparezca un desplazamiento de tensión de neutro que pueda originar los efectos mencionados en el párrafo anterior.

Para sistemas de 3x380/220 V, con una resistencia total de puesta a tierra de neutro de 2 Ohm, estas condiciones se consideran satisfechas (*).

La toma de tierra de servicio inmediata al CT debe tener una resistencia máxima de 10 Ohm sin perjuicio de lo anterior.

(*) Este valor se corresponde con una resistencia de contacto con tierra de una parte conductora extraña a través de la cual puede ocurrir una falla del conductor de fase a tierra de 7 Ohm, valor adoptado como mínimo en forma generalizada por diversos estudios. En zonas con características de terreno de alta resistividad, su valor puede resultar mayor, pudiendo realizarse una evaluación del valor de resistencia de puesta a tierra de neutro apropiado para cumplir con las condiciones expuestas.

8.3.3. Dimensionado en relación con la corrosión y resistencia mecánica

Los conductores del sistema de puesta a tierra deberán ser capaces de resistir (o deberán protegerse debidamente contra) daños mecánicos y químicos. Se deberá evitar el contacto de metales diferentes sin tomar las medidas pertinentes como elementos bimetálicos o inhibidores de corrosión.

8.3.3.1. Electrodo de tierra

Los electrodos que se encuentran en contacto con el suelo deben ser de materiales capaces de resistir la corrosión, y resistir las influencias mecánicas durante su montaje así como durante su funcionamiento.

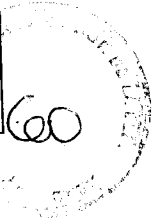
A continuación se indican algunos tipos de electrodo y dimensiones que aseguran este requisito:

- Barra redonda de Cu de 50 mm². (35 mm² para electrodo horizontal)
- Cable (de varios alambres) de Cu de 35 mm².
- Barra redonda de acero-cobre, de 12,6 mm mínimo, según norma IRAM 2309.

8.3.3.2. Secciones mínimas del conductor de puesta a tierra

Por resistencia mecánica y estabilidad contra la corrosión, los conductores de tierra no deberán tener una sección inferior a:

- Cu: 25 mm²



- Acero-cobre: 35 mm²
- Al: 35 mm²

En sistemas que utilicen cables subterráneos MT, el conductor que vincula la pantalla de Cu de los mismos con la puesta a tierra, debe tener una sección de Cu al menos igual a la de la pantalla. El conductor que vincule la armadura de los cables MT o BT con la puesta a tierra debe tener como mínimo una sección equivalente a la de ésta.

La sección deberá ser verificada con el esfuerzo térmico debido a la máxima corriente de falla esperada.

8.3.3.3. Secciones mínimas del conductor equipotencial

Se recomienda que la sección de los conductores equipotenciales esté de acuerdo con la mínima indicada para el conductor de puesta a tierra.

8.3.4. Dimensionamiento en relación al esfuerzo térmico

Las secciones de los conductores del sistema de puesta a tierra se deberán verificar térmicamente considerando la máxima corriente de cortocircuito que pueda circular por éstos, y el tiempo de actuación de protecciones. En caso de centros en redes de distribución cuya configuración puede modificarse en el tiempo, se considerarán valores de diseño establecidos para el sistema y no los reales iniciales.

Si por el diseño del sistema de tierra, la corriente se subdivide, es factible dimensionar cada electrodo de tierra para la fracción que corresponda de la corriente de defecto.

La temperatura final debe elegirse de manera de evitar que la resistencia del material conductor se reduzca, y que puedan dañarse materiales cercanos o aislantes.

Para la verificación de los esfuerzos térmicos se pueden aplicar las expresiones siguientes:

$$I_f = S \times \sqrt{K}$$

Donde :

I_f: Corriente de cortocircuito eficaz máxima [kA] (o eficaz equivalente térmica).
S: Sección del conductor [mm²]

$$K = \frac{C_t}{\alpha_{rt} \cdot \rho_C \cdot t_c} \cdot 10^{-4} \cdot \ln \left(\frac{Tr + T_{max}}{Tr + Ta} \right)$$

Donde :

T_{max} : Temperatura máxima admitida por el conductor [°C]
T_a : Temperatura ambiente [40 °C]
t_c : Tiempo de flujo de corriente [s]
C_t : Coeficiente de calor específico [Joule /cm³/K]
α_{rt} : Coeficiente de aumento de resistividad por temperatura, a 20 °C [1/°C]
ρ_C : Resistividad [μΩ/cm]
Tr = (1/α_{rt}) - 20 °C [°C]



Tabla 8.3 a – Constantes de los materiales

Constantes del material	Cobre	Acero / cobre
Ct : Coeficiente de calor específico [Joule /cm ³ /K]	3,422	3,846
α_{rt} : Coeficiente de aumento de resistividad por temperatura, a 20 °C [1/°C]	0,00393	0,00378
ρ_c : Resistividad [$\mu\Omega$ /cm]	1,7241	5,862
$T_r = (1/\alpha_{rt}) - 20$ °C [°C]	234,45	244,55

Nota: En forma simplificada se podrá emplear la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{(I_f^2 \cdot t_c)}}{k}$$

Donde k es un coeficiente que tiene en cuenta el material constructivo del conductor, siendo:
kCu. = 0,175 kA/mm² seg^{0,5}, para Tfinal = 250 °C.
kAc.-Cu. = 0,109 kA/mm² seg^{0,5}, para Tfinal = 300 °C.

En cuanto a conductores aislados, la verificación se efectuará para XLPE: Tfinal= 250 °C , y para PVC 160°C, (140°C PARA S >300 mm²) con Tinicial = 40°C

8.3.5. Verificación de tensiones de contacto

8.3.5.1. General

En el diseño de los sistemas de puesta a tierra, se comprobará que no sean superados los límites de corriente de frecuencia industrial circulante por el cuerpo humano en función del tiempo establecidos en la norma IEC 60479-1.

Estas curvas se traducen a tensiones admisibles, para poder compararse con las tensiones de paso y contacto obtenidas, considerando la resistencia del cuerpo humano y las impedancias presentes en el camino de retorno de corrientes.

En la verificación de las tensiones de paso y contacto debido a fallas en MT se considerará:

- Curva tensión de contacto versus tiempo admitida sin resistencias adicionales (ver curva 1).
- Resistencias entre puntos de contacto del cuerpo humano y caminos de retorno.
- Magnitud de corriente de defecto a tierra (IF).
- Duración de la falla.

Para determinar la elevación del potencial de tierra y las tensiones de contacto, pueden considerarse los efectos de otros sistemas de puesta a tierra que estén conectados de modo confiable al sistema de puesta a tierra en cuestión (ver punto 8.3.5.2).



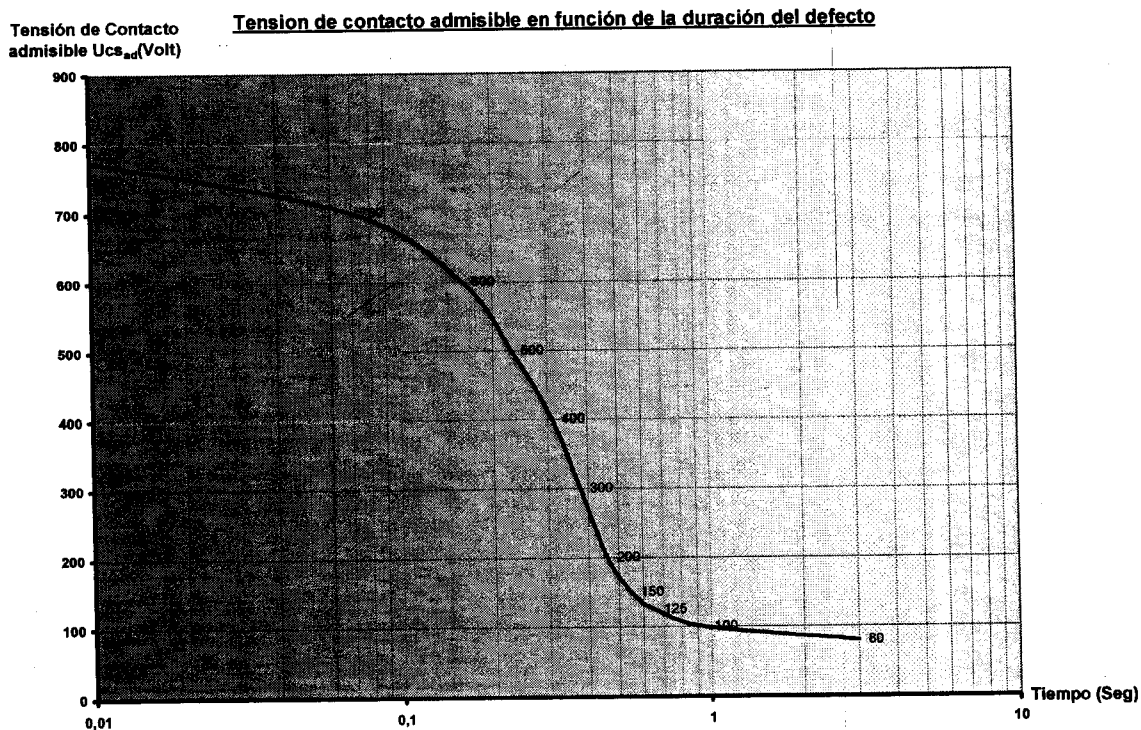
62

La resistencia entre el camino de retorno y el cuerpo humano se puede estimar con la expresión siguiente:

$$Ra = \rho_s \cdot 1,5$$

Donde ρ_s es la resistividad del suelo (Ohm.m) en el punto donde está el operador.

Para establecer la tensión de contacto agregando esta resistencia, se pueden aplicar las expresiones del anexo A.



Nota 1: Considerando que el sistema MT es de neutro rígido a tierra, y que toda parte conductora contra la que pueda establecerse una falla estará conectada al sistema de puesta a tierra del centro, se esperan corrientes de falla elevadas y tiempos de actuación cortos (menores a 5 s).

Nota 2: esta gráfica fue obtenida a partir de las curvas según IEC 60479-1. El método de obtención de la curva se indica en el Anexo A.

Nota 3: Dado que los valores admisibles de tensión de paso son algo superiores, verificando las tensiones de contacto en general no pueden aparecer tensiones de contacto peligrosas.

Para situaciones anómalas que impliquen tensiones de paso o de contacto durante tiempos largos sin desconexión automática de la instalación, (por ejemplo, caída a tierra de conductor de línea aérea de BT) debe verificarse que su valor no supere los 24 V.

Fundamentalmente en sistemas MT con neutro puesto a tierra por baja impedancia, con limitación de la corriente de falla monofásica a tierra, o en sistemas MT en que ésta última pueda resultar baja, es conveniente disponer al menos en el arranque de las líneas de alimentación de una protección que actúe por corriente residual de tierra, para disponer de una adecuada sensibilidad ante estas fallas, limitando su duración.



63

8.3.5.2. Diseño de puesta a tierra y control de las tensiones de paso y contacto

Primero se efectúa un prediseño del sistema de puesta a tierra del centro que cumpla con los requisitos funcionales indicados en 8.3.1, y los valores de resistencias de puesta a tierra indicados en 8.3.2.

Según el tipo constructivo del centro se adoptarán las medidas necesarias para satisfacer este último requisito, previendo electrodos verticales, conductores enterrados en desarrollo horizontal, o combinación de ambos.

Luego debe verificarse el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto admisibles. Esta verificación se considera directamente cumplida si:

- La instalación forma parte de un sistema de tierra global.
- La elevación del potencial de tierra U_E (ver 5.6) no supera el valor de las tensiones de paso y contacto admisibles.

Para el cálculo de las corrientes por la propia puesta a tierra, y de la elevación del potencial de tierra, pueden considerarse todos los electrodos de tierra y otros sistemas de tierra que estén conectados de modo confiable al sistema de puesta a tierra en cuestión, con suficiente capacidad de paso de la corriente, incluyendo cables enterrados con pantallas con efecto de electrodo de tierra (considerar uno por ruta, y no más de cuatro rutas), otros sistemas de tierra conectados a través de las pantallas o armaduras de cables, los conductores PEN múltiplemente puestos a tierra, los conductores neutro de líneas aéreas de MT, los eventuales hilos de guardia conectados, o en cualquier otra forma. En caso que la/s línea/s de alimentación al centro posean un conductor neutro conectado a la puesta a tierra de éste y al centro de estrella de la subestación que lo abastece, también se considerará la reducción de la corriente a tierra debido a la parte de la corriente de defecto que retorna por éste (ver factor de reducción y otras definiciones complementarias en 5.6, junto con el esquema de la corriente a tierra).

Nota: según el método de cálculo empleado, puede incluirse en el factor de reducción la colaboración de los conductores de tierra o pantallas con efecto dispersor conectados al sistema de tierra junto con la colaboración al retorno de la corriente de falla que efectúan los conductores de neutro (o pantallas, o hilos de guardia) de las líneas de alimentación, o bien considerar en el factor de reducción sólo este último concepto (como se indica en 5.6), y considerar la impedancia de los otros dispersores conectados al sistema de puesta a tierra en paralelo con la resistencia de éste.

Si no se verifica ninguna de estas dos condiciones, deben verificarse por cálculo o medición las tensiones de paso y contacto correspondientes, Si las tensiones de paso y contacto no se verifican, se procederá a modificar el diseño, pudiendo diseñar una malla de tierra enterrada, o aplicarse las medidas recomendadas del punto siguiente, las que se consideran suficientes para una elevación del potencial de tierra de 4 veces la tensión de contacto admitida.

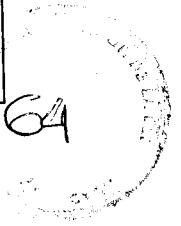
En particular, en los centros de transformación MT/MT de instalación exterior a nivel, cuyo nivel de tensión mayor es superior a 20 kV, resultará siempre necesario que se diseñe una malla de tierra enterrada.

Si se resolviese diseñar una malla de puesta a tierra, se deberán ejecutar sobrepasando los límites del cerco perimetral (para el caso de ser este metálico no aislado), para poder verificar la tensión de paso y contacto admisible fuera del centro.

Los conductores de la malla deben ubicarse preferentemente debajo del equipo a proteger y a una profundidad que oscila entre 0.6m y 0.8m.

El diseño de los sistemas de puesta a tierra y cálculo de tensiones de paso y contacto puede efectuarse mediante la norma ANSI/IEEE Std. 80.

Todo diseño de sistema de puesta a tierra que haya sido validado por cálculos o medidas puede ser aplicado a instalaciones de igual diseño conectadas a redes de distribución de iguales características.



Las tensiones de paso y contacto debido a retornos de corriente por la puesta a tierra de servicio en situaciones anómalas que no impliquen desconexión automática de alimentación en tiempos cortos, se consideran controladas con la condición 8.3.2.2.

8.3.5.3. Medidas recomendadas para controlar tensiones de paso y contacto

Estas medidas recomendadas se consideran suficientes siempre que la elevación del potencial de tierra no sea superior a 4 veces la tensión de contacto admisible.

Si fuese superior, igualmente se podrán aplicar estos conceptos (con los ajustes necesarios), debiendo verificarse el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto admisibles mediante cálculos o medidas.

1) Muros exteriores de edificios, recintos metálicos, estructuras, cercados.

Según el caso, para controlar la tensión de contacto desde el exterior, se puede aplicar una de las medidas indicadas a continuación.

- a) Uso de material no conductor para los muros exteriores, y ausencia de partes metálicas puestas a tierra accesibles desde el exterior. La resistencia eléctrica de muros y partes metálicas accesibles respecto de la puesta a tierra no debe ser inferior a los 10000 Ohm. Cercados metálicos con cubierta plástica de aislación no degradable en el tiempo ni con las inclemencias meteorológicas.
- b) Difusión del gradiente de potencial mediante electrodo horizontal conectado al sistema de puesta a tierra, a una distancia aproximada de 1 m por fuera del muro, recinto o cerco, rodeándolo por todo el perímetro accesible, y a una profundidad de 0,5 m. Conexión del electrodo con las partes metálicas expuestas del recinto o cerco. En caso de cercos exteriores, su conexión a la puesta a tierra de la instalación es opcional (siempre que se verifique contacto simultáneo entre partes metálicas dentro de la instalación).
- c) Aislación de la zona de circulación, colocando material aislante de forma de impedir que las partes conductoras puestas a tierra queden al alcance de la mano fuera de la capa aislante. Para aislación de solado, se considera suficiente una capa de grava de 100 mm, o una capa de asfalto con base adecuada, o una alfombra aislante mínimo 1000 mm de lado y 2,5 mm de espesor, con una rigidez dieléctrica de al menos 3 kV/mm.
- d) Si las puertas de cercados exteriores resultan conectadas al sistema de puesta a tierra del centro, se adoptará la medida b) o c) en el área de paso.

2) Instalaciones de interior

Dentro de instalaciones de interior pueden aplicarse las medidas siguientes.

- e) Difusión de gradiente de potencial mediante electrodo tipo rejilla empotrado en los cimientos del edificio, conectado al sistema de puesta a tierra.
- f) Colocación de placas o rejas en las zonas de operación, conectadas al sistema de puesta a tierra.
- g) Aislación de zonas de operación como se indica en c). Para la conexión equipotencial, las partes metálicas que han de ser puestas a tierra y que pueden ser simultáneamente accesibles desde la zona de circulación, han de estar interconectadas.

3) Instalaciones de exterior.

- h) Electrodo en anillo rodeando el sistema de puesta a tierra, con una rejilla interna cuyas aberturas no sean de más de 10 m. Para partes individuales conectadas al sistema de puesta a tierra y ubicadas fuera del anillo, se colocará un electrodo de tierra de equipotencialidad, rodeándola a una distancia de aproximadamente 1 m, enterrado a no más de 0,2 m.



8.3.6. Condiciones de interconexión o separación de puesta a tierra de servicio y de protección del transformador

65

8.3.6.1. Centros de Transformación MT/BT

Para la puesta a tierra del neutro BT del transformador MT/BT se presentan dos posibilidades:

- Unificada con la puesta a tierra de protección de las masas, o
- Separada de la puesta a tierra de protección.

En ambos casos, deben satisfacerse el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto, y las tensiones resistidas en las instalaciones de BT debido a la elevación del potencial de neutro, durante un defecto en la instalación de MT.

Si el sistema BT abastecido está totalmente confinado en el sistema de puesta a tierra de MT, los sistemas de puesta a tierra deben interconectarse constituyendo un sistema de tierra común.

En sistemas BT no confinados en el sistema de tierra de MT, se recomienda la interconexión o unificación de ambos sistemas de puesta a tierra, siempre que sea posible.

A tal efecto, las condiciones indicadas en la tabla 8.3b, son consideradas como cumplidas si una o mas de las condiciones indicadas a continuación son satisfechas. Si no se satisfacen ninguna de estas condiciones, deben ser aplicados los requerimientos de la tabla 8.3b.

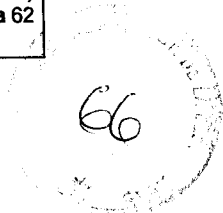
- El sistema de puesta a tierra de MT constituye un sistema de puesta a tierra global.
- El sistema de puesta a tierra está conectado al conductor neutro de línea aérea de alimentación MT múltiplemente puesto a tierra al menos cada 400 m, o al conductor de pantalla del cable de alimentación MT puesto a tierra en cada centro abastecido, y conectado en ambos casos a la puesta a tierra de la subestación transformadora de origen de la red de MT.
- El sistema de puesta a tierra está conectado a cables MT y/o BT con cubiertas metálicas o pantallas que actúan como dispersores de tierra, con una longitud total mínima de 1 km.
- La resistencia de puesta a tierra del propio centro, obtenible y perdurable, sea menor o igual a 1 (un) Ohm.

Y en todos los casos que el centro alimente una red de distribución de BT general (con cargas distribuidas en su recorrido), el neutro BT esté múltiplemente puesto a tierra en su recorrido.

Si no se cumplen estas condiciones, se deberán verificar los requerimientos mínimos establecidos en la tabla siguiente:

Tabla 8.3 b - Requisitos para sistema de puesta a tierra común

Tipo de sistema de BT	Requerimientos
TT	$t_f \leq 5 \text{ s} , U_a \leq 1200 \text{ V}$
	$t_f > 5 \text{ s} , U_a \leq 250 \text{ V}$
TN	$U_e \leq X \cdot U_c$



Siendo:

Ua = tensión aplicada sobre los aparatos respecto de tierra ante elevación de potencial de neutro BT por falla en MT.

Ue = elevación del potencial de tierra en el CT.

Uc = tensión de contacto admisible para el tiempo de la falla en MT.

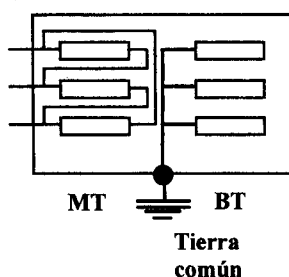
X = factor por conexiones adicionales del PEN a tierra. Si el PEN está conectado a tierra sólo en el CT X = 1. Para PEN con puesta a tierra múltiple, el valor típico es 2, y en ciertos casos hasta 5.

Nota: Generalmente en sistemas TN de edificios con conexión equipotencial principal, no aparecen tensiones de contacto.

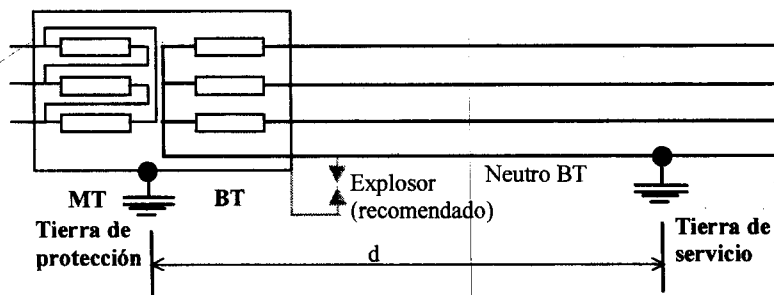
En caso de no poder cumplir estas condiciones (centros de transformación MT/BT) la puesta a tierra de servicio o del neutro de BT deberá realizarse fuera del área del centro de transformación y de la influencia de su tierra de protección, con una separación que asegure que se cumplan las condiciones indicadas en la tabla anterior.

Se considera suficiente una distancia de separación "d" de 20 m.

Sistema de tierra común



Sistemas de tierra de protección y servicio separadas



El conductor de conexión de tierra desde el neutro BT del transformador hasta la toma de tierra de servicio debe estar aislado, no permitiéndose ningún seccionamiento en todo su recorrido. La aislación de este conductor debe ser doble o reforzada. Para el caso de redes BT de 380 V pueden emplearse al efecto cables según IRAM 2178 para 1,1 kV.

En este caso, la bajada del neutro a la puesta a tierra, deberá construirse con un conductor de sección equivalente al neutro de la línea.

La bajada del conductor de tierra de servicio sobre soporte de línea aérea deberá protegerse mecánicamente hasta una altura de 2,5 m para evitar acciones de vandalismo.

En caso de colocarse jabalinas interconectadas se podrán adoptar los medios que permitan medir su valor de resistencia eléctrica en forma individual y total.

Si se separan las puestas a tierra, ante una falla del lado MT las instalaciones de BT pueden estar sometidas a un potencial elevado respecto de la puesta a tierra de protección, pudiendo requerirse un nivel de aislación mayor al correspondiente a su tensión nominal. También debe considerarse la elevación de potencial debido a corrientes drenadas por la tierra de protección ante descargas atmosféricas. A efectos de reducir estas sobretensiones, es recomendable disponer un explosor conectado entre neutro y el sistema de puesta a tierra de protección del centro.

8.3.6.2. Centros de Transformación MT/MT

La puesta a tierra del centro de estrella de un transformador MT/MT solo debe construirse en forma unificada con la puesta a tierra de protección correspondiente.



8.3.7. Separación Entre Tomas de Tierra del centro y de otras instalaciones

A menos que el centro y las instalaciones estén incluidas dentro de un sistema de tierra global, las puestas a tierra de protección y/o de servicio del centro deberán mantener una distancia de separación respecto de las tierras de otras instalaciones con esquema de conexión a tierra TT que asegure que:

- Las corrientes circulantes que aparezcan ante cualquier situación en los sistemas de tierra del centro no provoquen tensiones de contacto inadmisibles en las instalaciones.
- Las corrientes de cortocircuito fase/tierra en las otras instalaciones no superen el poder de corte admitido por el equipamiento previsto debido a una impedancia de lazo de falla excesivamente baja.

Se considera satisfecha esta condición si la separación es de 10 veces el radio equivalente de los electrodos empleados (ver REIEI AEA, Parte 771).

Adicionalmente, para centros de transformación en locales incluidos en una edificación, si su estructura metálica tiene continuidad con el sistema de puesta a tierra de protección de la instalación, se adoptarán medidas en el local para separar eléctricamente el sistema de tierra del centro, por ejemplo:

- No amurar partes metálicas puestas a tierra sobre hormigón armado, a menos que sea por medios aislantes.
- El espesor de material de construcción no conductor que separe dichas partes y las armaduras de la estructura sea suficiente (por ejemplo, 100 mm de hormigón en masa, o capa asfáltica indicada en 8.3.5.3.)

8.4. Realización de los sistemas de puesta a tierra

8.4.1. Conexión de las masas del centro a la tierra de protección

Todas las masas metálicas de la instalación, que puedan ser accesibles a la vez, deben estar conectadas a una barra equipotencial de puesta a tierra (equipotencialidad).

Se conectarán al sistema de puesta a tierra de protección del centro:

- Las masas de todos los aparatos de media tensión y baja tensión.
- Los flejes metálicos de los cables armados subterráneos.
- Cercos perimetrales metálicos.
- Rejas de protección internas.
- La pantalla de protección de cables subterráneos.
- Las pantallas de terminales apantallados.
- La cuba de los transformadores y partes metálicas asociadas.
- Los descargadores de sobretensión.
- Los polos de tierra de los seccionadores.
- Los circuitos secundarios de los transformadores de medida.



CB

- Todo elemento metálico que conforme la carcasa, chasis o panel de un componente o equipo que pueda quedar accidentalmente bajo tensión.

Las puertas y rejas de ventilación metálicas que dan al exterior de recintos cerrados, ejecutados con construcción no conductora no se conectarán a tierra, siempre que pueda evitarse continuidad con partes puestas a tierra de la instalación. Caso contrario, se conectarán a la toma de tierra de protección, y se implementarán las medidas para que las tensiones de contacto desde el exterior del recinto sean de magnitud y duración admisibles, según los criterios de 8.3.

8.4.2. Ejecución y Montaje de los electrodos, y conexionado

Para obtener el valor de resistencia de puesta a tierra especificado, empleando electrodos verticales, se puede aumentar el largo o tamaño de éste hasta encontrar la napa permanente de agua, o colocar otros en paralelo a distancia igual al doble de su profundidad, hasta lograr el valor requerido.

Para zonas con elevados valores de resistividad del terreno (rocoso), puede ser necesario un electrodo en forma de malla, incluso complementada con jabalinas si fuese necesario.

Para lograr el valor de resistencia de puesta a tierra se podrá agregar tierra vegetal, bentonita y/o gel mejorador de resistencia de tierra en el terreno circundante a electrodo de tierra.

Solamente en casos especiales, puede recurrirse a medios artificiales, tales como sales, carbones, etc., siempre que no contaminen el terreno ni ataquen químicamente a los componentes metálicos de las tomas a tierra. Adicionalmente se deben prever los medios para poder realizar un mantenimiento adecuado. Las mediciones periódicas de resistencia de puesta a tierra se deberán realizar en tiempos más cortos que sin recurrir a estos medios (no mayores a 2 años), y efectuar las acciones que correspondan según su evolución.

Las conexiones entre un electrodo único o entre distintos electrodos de tierra y el conductor de tierra se realizará por métodos de compresión irreversible (mediante deformación plástica de un elemento de unión único) o exotérmico. Las conexiones auxiliares entre distintas partes constituyentes de un electrodo de tierra compuesto (por ejemplo, electrodo tipo malla o varios electrodos verticales interconectados), podrá realizarse por métodos de compresión (sea la antedicha, o con elementos de unión no reutilizables, ni ajustables o desarmables mediante roscas), o exotérmico.

Los conductores de conexión a tierra, con sus conexiones y uniones en partes no enterradas, deberán ser identificables fácilmente y accesibles para facilitar su control.

Todos los conductores que vinculen masas de equipos con la toma de tierra de protección, dentro de un área de servicio eléctrico, pueden ser desnudos.

Los conductores de conexión a los electrodos de tierra fuera de áreas cerradas de servicio eléctrico, tendrán una protección mecánica, con un grado no menor a IK10 (IEC 62262). Esta protección deberá ser no ferromagnética. Si el conductor de bajada a la toma de tierra de protección (o de protección y servicio si fuesen unificadas) fuese desnudo, y se proteja de los contactos indirectos por el criterio de emplazamiento no conductor (8.3.5.3 1)) contará con una cubierta aislante que puede constituir la protección mecánica antedicha.

Las conexiones del borne de neutro del transformador a la toma de tierra de servicio (si fuese separada de la de protección) deberán hacerse con conductores aislados para 1,1 kV, de sección equivalente a la del conductor de neutro, y sin uniones intermedias.

Las conexiones de los equipos al sistema de puesta a tierra se hará desde una barra a la que accederá el conductor de tierra, de la que se derivarán radialmente los conductores para conexión de los equipos, sin interrupciones del conductor.



69

8.5. Requisitos particulares para los sistemas de puesta a tierra de centros asociados a redes rurales de MT con retorno por tierra

En adición a los requerimientos generales para las puestas a tierra de los centros indicadas en los puntos anteriores, se aplicarán los requisitos siguientes.

8.5.1. Puesta a tierra de protección y servicio de MT de los centros de transformación aéreos derivados

Las masas del centro y el borne de neutro de MT del transformador se conectarán a una toma de tierra de protección y servicio MT con resistencia no mayor a 5 Ohm.

Adicionalmente a la verificación de las tensiones de contacto en condiciones de falla, se deberá verificar que la tensión de contacto en condiciones de funcionamiento normal de la instalación no supere los 24 V (considerar al respecto la corriente mínima de actuación de la protección del transformador del lado MT, o de BT si la salida fuese única).

El conductor de tierra debe conectarse sin interrupciones desde el (o uno de los) electrodo de puesta a tierra hasta el neutro MT del transformador.

El conductor de tierra será de cobre, y de una sección mínima de 35 mm². Este conductor se dispondrá sobre el poste del centro aéreo, y se protegerá mecánicamente con una protección IK10 (IEC 22262) hasta una altura de 3 m. Se colocará además a una altura de aproximadamente 2,5 m una señal de advertencia a terceros para disuadir de cualquier intervención sobre este conductor.

Preferentemente, la puesta a tierra se podrá efectuar mediante un electrodo vertical dispuesto por en la primer napa de agua, o mediante 2 o 3 electrodos verticales hincados en el terreno de modo que los extremos superiores estén a una profundidad de 0,8 m. En este último caso, se recomienda interconectar los electrodos en anillo, disponiendo los dos conductores de tierra extremos del anillo sobre el poste, y uniéndolos por encima de la protección mecánica.

8.5.2. Puesta a tierra servicio de BT de los centros de transformación aéreos derivados

En todos los casos la tierra de servicio de BT será independiente de la de MT. Al respecto son aplicables todas las condiciones expuestas en los puntos 8.1 al 8.4.

8.5.3. Puestas a tierra del centro de transformación de aislamiento del sistema

Este centro de transformación monofásico se coloca eventualmente para aislar las líneas de retorno por tierra del resto del sistema de MT alimentado por una SE AT/MT, evitando que las corrientes de retorno se cierren por la puesta a tierra de ésta última.

La puesta a tierra se diseñará y ejecutará como un centro MT/MT, según lo establecido en los puntos anteriores. En particular, la resistencia de puesta a tierra de servicio, a la que se conectará el borne de neutro del arrollamiento secundario, no debe superar los 2 Ohm, considerando que se cumple la carga máxima del sistema de retorno por tierra establecida en la Reglamentación sobre líneas aéreas exteriores de AT y MT.

Si la construcción del centro es de tipo aéreo, se deberá colocar sobre la línea de tierra una protección mecánica de las características indicadas en 8.5.1.



9. EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

9.1. Requisitos generales

9.1.1. Selección del equipamiento

El equipamiento se seleccionará e instalará de forma tal de satisfacer los siguientes requisitos:

- a) Construcción segura luego de su correcto ensamblado y conexión a la red.
- b) Comportamiento confiable y seguro teniendo en cuenta las influencias externas esperables en la ubicación del sistema.
- c) Comportamiento confiable y seguro durante la operación normal y en condiciones razonables de sobrecarga, operación anormal y falla, sin que resulte en daños al equipamiento que pueda transformarlo en inseguro.
- d) Facilidad para las tareas de reemplazo y mantenimiento del equipamiento.
- e) Protección al personal durante el uso y mantenimiento del equipamiento.
- f) Protección y preservación del medio ambiente.

9.1.2. Seguridad del personal

Se debe prestar especial atención a la seguridad del personal durante la instalación, operación y mantenimiento del equipamiento.

Esta condición puede incluir:

- a) Manuales e instrucciones para el transporte, almacenamiento, instalación, operación y mantenimiento.
- b) Herramientas especiales para la operación, mantenimiento y prueba.
- c) Procedimientos seguros de trabajo desarrollados para cada instalación específica.

9.2. Transformadores y autotransformadores

9.2.1. Generalidades

La potencia nominal, el esquema de conexión y el número de los transformadores, deberán ser elegidos en función de la necesidad del servicio del sistema de distribución.

Los transformadores estarán contruidos y poseerán los accesorios que indiquen las normas IRAM 2250, 2247, 2279 o 2276, o IEC 60076 e IEC 60076-11, según corresponda.

Los transformadores deberán ser "libres de PCB", conforme a los términos establecidos en la Ley 25670 (ver punto 7.8)

Los transformadores deberán estar dotados de cáncamos para su izado. Asimismo, los transformadores en instalaciones de interior o donde se requiera su desplazamiento deberán estar provistos de ruedas para su movimiento sobre el piso.

Los transformadores monofásicos que se empleen en conexiones trifásicas deberán ser de iguales características.

9.2.2. Potencias nominales

Los niveles de potencia normalizados para los transformadores de distribución se muestran en la tabla siguiente (según IRAM 2099)

Tabla 9.2-a – Potencia nominal de transformadores usuales en kVA

Monofásico	5-10-16-(20-25-31,5-40-50-6380-100)
Trifásico	16-20-25-31,5-40-50-63-80-100-125-160-200-250-315-400-500-630-800-1000-1250

Nota: las potencias de transformadores monofásicos entre paréntesis corresponden a valores no considerados en la norma IRAM 2279, pero que pueden eventualmente ser empleados.

9.2.3. Regulación de tensión

Los transformadores de distribución deberán poseer tomas en el devanado primario, para regular la tensión secundaria. Los escalones podrán ser ajustables mediante conmutadores sin tensión (con transformador desconectado) o en caso de necesidad con conmutador bajo carga.

Para el ajuste gradual bajo carga se emplearán conmutadores con capacidad para operar la corriente de carga esperada, sea mediante dispositivos con contactos e impedancias de transición, o interruptores con poder de corte suficiente.

Las tomas de regulación instaladas en el devanado primario deberán permitir una variación de la tensión nominal (lado de mayor tensión) de $\pm 2.5\%$ y $\pm 5\%$ en los transformadores desde 100 kVA inclusive, y de $\pm 5\%$ para las potencias inferiores. Los conmutadores manuales deberán disponer de un elemento que permita trazarlos en la posición elegida.

9.2.4. Grupos de conexión

El grupo de conexión deberá señalar la conexión de los devanados de tensión mayor y menor, y la posición de las fases.

La denominación de conexión de los transformadores que forman una unidad trifásica se muestra en la Tabla siguiente.

Tabla 9.2-b – Conexión de los devanados en transformadores

Denominación de la conexión	Símbolo	Signo para los devanados	
		Tensión Mayor	Tensión Menor
Triángulo	Δ	D	d (1)
Estrella	Y	Y	y
ZigZag	Z	Z (2)	z

Nota 1: Para los devanados de BT, dado que el neutro se conecta rígidamente a tierra y el sistema es tetrafilar, los secundarios serán en conexión estrella o zig-zag exclusivamente.



Nota 2: En general no aplicado, excepto situaciones especiales en que el devanado de mayor tensión opere como secundario y se prevean desequilibrios importantes.

72

Combinación de conexiones	Cifra de hora
Dy (habitual), Yz	11 (habitual), 5
Yy, Dz (no habitual)	0

Combinaciones Dy o Yz

9.2.5. Sobretemperatura, sobrecarga y refrigeración

9.2.5.1. Sobretemperatura

Las sobretemperaturas permisibles en los transformadores sumergidos en aceite con refrigeración natural, en altitudes hasta los 1,000 m, no deberán pasar los siguientes valores:

- Devanados (medido por variación de resistencia): 65 K
- Aceite (en su superficie): 60 K (*); 55 K

(*) Aplicable si el aceite caliente no está en contacto con el aire, por ejemplo, mediante conservador, ó cuba hermética sea de llenado integral o con cámara de gas inerte.

Las sobretemperaturas permisibles mencionadas anteriormente, son válidas para las siguientes temperaturas del medio refrigerante (aire):

- Temperatura máxima del aire: 40°C
- Temperatura media anual: 20° C

Para temperaturas del medio refrigerante mayores a las señaladas, se deberán reducir en la misma cantidad las sobretemperaturas admitidas de los devanados y del aceite.

Para transformadores tipo secos según IEC 60076-11 o IRAM 2276, las sobretemperaturas medias admitidas para los arrollamientos son:

Clase	Sobretemperatura admisible
B	80 K
F	100 K

Si los transformadores se van a instalar en altitudes mayores a los 1.000 m, por cada 100 m de incremento de la altitud se deberá reducir la sobretemperatura permisible (a nivel de referencia) en 0.4 % para transformadores sumergidos en aceite, y en 0,5 % para transformadores secos.

9.2.5.2. Sobrecarga

Los transformadores de distribución podrán ser sobrecargados siempre que no se disminuya su vida útil. Esta sobrecarga dependerá de las características del transformador, su carga previa a la sobrecarga y deberá ser especificada por el fabricante según las normas de construcción.



9.2.6. Servicio en paralelo

Los transformadores a conectarse en paralelo deberán cumplir los requisitos siguientes:

- a) Grupo de conexión. Deberán pertenecer al mismo grupo de conexión.
- b) Relación de transformación. Deberán tener tensiones nominales iguales en el lado primario y en el secundario, con una discrepancia máxima entre sí del 1 %.
- c) Tensiones de cortocircuito. La diferencia será como máximo del 20 %, no siendo recomendable superar el 10 %.
- d) Relación de las potencias nominales: Se recomienda que la relación entre potencias no sea superior a 3:1.

9.2.7. Capacidad de los transformadores en condiciones de cortocircuito.

Los transformadores deberán ser diseñados y construidos para resistir sin peligro los efectos de las sobrecorrientes ocasionadas por los cortocircuitos, conforme a la norma IRAM 2112.

La corriente de cortocircuito que deberá soportar el transformador será la que resulte del cociente entre la tensión y la impedancia de cortocircuito propia del transformador más la prevista del sistema (en transformadores de hasta 3150 kVA esta última puede despreciarse). Su duración será de 2 s.

El equipamiento agua abajo del transformador deberá ser apto para soportar la corriente de cortocircuito que impone el transformador, a menos que se interponga un elemento que la limite.

La impedancia de cortocircuito de los transformadores deberá ser especificada considerando no solamente la limitación de la corriente de cortocircuito, sino también las caídas de tensión admitidas en los circuitos que alimente.

Los valores máximos permisibles de la corriente de cortocircuito en función de la corriente nominal se dan en la Tabla 9.2-c.

Tabla 9.2-c – Corrientes de cortocircuito permisibles en los transformadores

Potencia nominal kVA	Corriente de Cortocircuito Máxima en Número de Veces la Corriente Nominal	Tensión de cortocircuito (o/o)
De 100 hasta 1250	25	4
Hasta 100	40	2,5

9.2.8. Nivel de aislación

- a) Los niveles de aislación requeridos para los transformadores de distribución sumergidos en aceite cumplirán con lo prescrito en 6.3.
- b) Los transformadores monofásicos usados en bancos trifásicos, deberán tener un nivel de aislación correspondiente a la tensión máxima de la red trifásica, cualquiera sea el sistema de puesta a tierra o el modo de conexión.

9.2.9. Autotransformadores

Los puntos neutros de los circuitos de entrada y salida del autotransformador deberán conectarse rígidamente a tierra en una única conexión.



El punto neutro de autotransformadores trifásicos deberá ser accesible, y el terminal correspondiente debidamente señalado.

44

9.2.10. Accesorios

Los transformadores de distribución MT-BT con potencias hasta 1250 kVA instalados en centros sobre los que se efectúe un control periódico de cargas por parte de las Distribuidoras contarán como mínimo con los siguientes accesorios:

- Vaina para termómetro.
- Nivel de aceite (excepto para los denominados de llenado integral)
- Tapa de llenado (en los transformadores con tanque de expansión).
- Deshidratador (en los transformadores con tanque de expansión).
- Válvula de desagote y extracción de muestras.
- Termistores (en transformadores secos)

Para potencias mayores, se considerará además la utilización de los siguientes accesorios:

- Relé Buchholz.
- Termómetro de cuadrante con contactos de alarma y desenganche.
- Imagen térmica.
- Válvula de retención de aceite
- Válvula de sobrepresión

9.3. Equipamiento de maniobra para MT

9.3.1. Interruptores automáticos, interruptores manuales, seccionadores y autodesconectores fusibles de MT

- Los seccionadores bajo carga (interruptores-seccionadores manuales) deben responder a la norma IEC 62271 parte 103, los interruptores automáticos a la IEC 62271 parte 100, y los seccionadores a la IEC 62271 parte 102.
- No se emplearán interruptores automáticos con medio de extinción del arco en aceite. Se podrán emplear interruptores con medio de extinción en vacío o SF6.
- Los interruptores deben poseer un mecanismo que indique la posición de los contactos del equipo ya sea por visibilidad directa de los contactos o por medio de un mecanismo que debe producir una indicación inequívoca de la posición de los contactos.



- En los seccionadores bajo carga (interruptores-seccionadores manuales), seccionadores y seccionadores de puesta a tierra debe ser posible controlar la posición de los contactos. Esta condición se considera satisfecha cuando se cumpla al menos una de las condiciones siguientes: a) la distancia de seccionamiento o la distancia de aislación entre contactos es visible. b) La posición de cada contacto móvil que asegura la distancia de seccionamiento o la distancia de aislación entre contactos se indica con un dispositivo de indicación seguro. En este último caso se deberá cumplir estrictamente con lo especificado en la norma IEC 62271 parte 102, anexo A.
- Los interruptores donde la operación de corte no sea visible ni se provea de indicación segura, o no provea la separación dieléctrica necesaria para el seccionamiento (como ser carros extraíbles), se debe instalar previamente un seccionador, o un sistema de conexiones que provea seccionamiento.
- Los interruptores-seccionadores deben tener un poder de cierre adecuado a la potencia de cortocircuito prevista.
- Los seccionadores bajo carga (interruptores-seccionadores manuales) o seccionadores de mando mecánico deberán poseer trabas mecánicas mediante candado o similar que permitan trabarlo en posición de apertura o cierre, previniendo maniobras en falso.
- Los seccionadores bajo carga (interruptores-seccionadores manuales) combinados con fusibles tendrán apertura tripolar por disparo por percutor de cualquier fusible que actúe, respondiendo a lo indicado en el punto 10.1.2.1. Los fusibles utilizados deberán ser limitadores de alta capacidad de interrupción.
- Los seccionadores de manejo por pértiga deben ser instalados de tal manera que las cuchillas no puedan volverse a cerrar por acción de la gravedad. Tanto los seccionadores como los autodesconectores deben estar contruidos de modo que puedan ser abiertos bajo carga u operados mediante dispositivos de apertura bajo carga portátiles, y montados en la posición adecuada a tal efecto.
- Los dispositivos de mando mecánico metálicos (tales como varillajes de accionamiento de seccionadores) deben ser dispuestos de manera que en caso de ruptura accidental se evite cualquier contacto fortuito con partes que se encuentren bajo tensión.
- El medio de interrupción de los aparatos operables bajo carga no será en aceite. Podrá ser en aire, SF6 o vacío. Los contactos de los seccionadores estarán dimensionados para la corriente máxima de la red, su sobretensión en carga nominal no excederá el establecido en la norma IEC 60694 (IEC 62271-1 a futuro) según el material y medio aislante.

9.3.2. Celdas

Todas las partes bajo tensión deben estar contenidas en una envoltura de resistencia apropiada.

Las celdas con seccionadores de entrada de cables, de alimentación y protección al transformador, o interruptores automáticos, deben incluir los correspondientes seccionadores de puesta a tierra. La operación de cierre de los seccionadores de puesta a tierra debe estar enclavada por medios mecánicos con la posición de apertura de los seccionadores. Los seccionadores de puesta a tierra deben tener capacidad de cierre sobre cortocircuito excepto si existiese un enclavamiento que impida su operación por presencia de tensión. Queda exceptuado de esta exigencia uno de las dos puestas a tierra situadas a ambos extremos de los fusibles y que se comandan simultáneamente.

Las celdas con interruptores del tipo enchufables de carro extraíble a efectos de proveer seccionamiento, debe contar con enclavamientos que impidan tanto su inserción como su extracción con el interruptor cerrado.

Las celdas deberán poseer enclavamientos mecánicos que imposibiliten la extracción de cualquier panel o apertura de puerta que permita acceder a partes normalmente con tensión sin que estén cerrados los



seccionadores de puesta a tierra. Debe ser posible desconectar la puesta a tierra una vez retirado el panel, o abierta la puerta para efectuar la prueba del cable.

En caso de celdas que contengan elementos o equipos que requieran ser inspeccionados en servicio, deberán disponer, además de la puerta, de un panel de rejillas en su interior para evitar contactos accidentales al abrir la puerta.

En caso de centros de transformación MT/MT, los seccionadores de puesta a tierra lado secundario deben estar enclavados por algún medio con el interruptor primario. El interruptor secundario estará enclavado con su puesta a tierra.

Todas las maniobras y acciones de traba mecánica, deben poder efectuarse desde el frente de las celdas. En caso de celdas con aparatos de accionamiento motorizado, deberá poder efectuarse su bloqueo también desde el frente.

Las celdas deben disponer de señalización de presencia de tensión, al menos del lado de acometida de cables. Los elementos de señalización serán extraíbles e intercambiables entre las celdas de un mismo tablero. Cuando los elementos no sean extraíbles o si se dispone de uno solo y no pueden intercambiarse, deben tener bornes accesibles aguas abajo del indicador luminoso, para poder hacer la comprobación por medición.

En el frente de las celdas que conforman un tablero debe identificarse claramente la función de cada una, mediante esquema unifilar del circuito de MT, con las indicaciones pertinentes, y la correspondiente identificación de los cables que accedan a dicho tablero. Debe visualizarse además el estado de los aparatos de maniobra contenidos.

El equipamiento de MT debe al menos cumplir las recomendaciones de la tabla del Anexo AA de la norma IEC 62271-200, para evitar la producción o reducir los efectos de los arcos, o soportar las pruebas de arco interno indicadas en la norma antedicha, por sí mismas o en conjunto con el local, en la situación de instalación que sea indicada particularmente en el punto 7.

9.3.3. Equipamiento y accesorios de MT sumergibles

El equipamiento de maniobra a emplear en las instalaciones dentro de recintos bajo nivel que no la protegen del ingreso de agua (centros tipo pozo) debe responder al ensayo de hermeticidad según la norma ANSI 37-17.

Los bornes del equipamiento de maniobra, y los conectores y demás accesorios empleados para la conexión de los cables a los equipos, o entre cables, o para establecer seccionamientos entre cables y equipos, deberán estar diseñados para estar intermitente o continuamente sumergidos en agua, o ser directamente enterrados. Responderán a la norma ANSI-IEEE 386, debiendo cumplir con el ensayo de inmersión bajo agua establecido en esta norma.

9.4. Equipamiento de maniobra BT

9.4.1. Tableros de Distribución

- a) Los tableros podrán contar con un elemento de seccionamiento al que acomete la alimentación desde el transformador, y deben contar con seccionamiento y protección para cada salida. Esto último puede materializarse mediante fusibles seccionador interruptor o fusibles extraíbles de alta capacidad de ruptura.
- b) Los tableros que se instalen a nivel en la vía pública o el espacio público (o en playas sin restricciones de acceso al personal, por ejemplo, en predios industriales) deberán ser cerrados, y maniobrables solamente abriendo las puertas correspondientes. Sus puertas deben contar con un elemento de cierre operable con medios especiales.



47

- c) En la construcción de los tableros cerrados se podrá emplear láminas de acero u otro material incombustible, indeformable por el calor (hasta 150°C) e inalterable para los agentes atmosféricos a que esté expuesto según su lugar de instalación.
- d) Los tableros, (aún los cerrados que requieran de apertura de puertas para su maniobra), deberán tener sus partes vivas cubiertas con un grado de protección IP2X (o IPXXB según IEC 60529).
- e) En los centros de transformación aéreos se podrán instalar o bien tableros construidos de forma tal y con materiales tales que protejan a los elementos que contiene de la acción atmosférica y la humedad; o directamente seccionadores fusibles intemperie.

9.4.2. Seccionadores fusibles instalados en altura

Para las salidas de BT a líneas aéreas se podrán emplear seccionadores fusibles aptos para instalarse a intemperie, operables bajo carga desde nivel de terreno. Empleando estos elementos no es necesario contar con un seccionamiento general en BT.

9.5. Descargadores de MT

Se emplearán descargadores sin explosores internos (de óxido de zinc o de similares características) y su envoltura aislante no deberá proyectar partículas sólidas ante una avería interna (por ejemplo, empleando envoltura polimérica).

9.6. Aisladores

Las características eléctricas y mecánicas de este material se ajustarán a lo dispuesto en las normas correspondientes.

Para su elección se deberá tomar en consideración:

- El nivel básico de aislación.
- Los esfuerzos mecánicos a que estarán sometidos (pesos, tiros, esfuerzos electrodinámicos)
- El lugar de instalación (interior, exterior, nivel de polución del ambiente).

Para instalaciones interiores podrán emplearse aisladores tipo cilíndricos.

9.7. Barras

Las barras estarán diseñadas para transportar la corriente nominal, sin exceder la temperatura admisible para la condición de instalación y eventual aislación, pudiendo aplicarse a efectos de su diseño la norma IRAM 2359-1 o 2359-2. Deben además resistir los esfuerzos térmicos y electrodinámicos ante la máxima corriente de cortocircuito prevista, considerando la red de alimentación en configuración normal, según se indica en 6.3.3.

Se deberá considerar la dilatación lineal de los conductores, disponiendo convenientemente aisladores soporte de barras con morsetos de fijación deslizante, y de fijación rígida en determinados puntos. Cuando la extensión de un tramo en recta lo justifique, se intercalarán empalmes flexibles para absorber la dilatación.

Los aisladores portabarras de las barras de MT estarán a una distancia tal, que se eviten deformaciones permanentes al producirse un cortocircuito. En alineaciones rectas y salvo casos especialmente justificados



la distancia existente entre dos puntos de apoyo consecutivos no será superior a 1.50 m. El diámetro mínimo para las barras de sección circular de cobre será de 8 mm y de aluminio 12 mm.

9.8. Conexiones

- a) Los empalmes de los conductores entre sí y las conexiones con los dispositivos de protección y maniobra se harán por intermedio de piezas de ajuste a presión dimensionadas de forma que no puedan presentarse calentamientos superiores a 50 K sobre la temperatura ambiente para conductores desnudos o aislados en XLPE, o menores si se tratara de otro aislante de menor temperatura de trabajo.
- b) Las conexiones de barras con equipos que puedan transmitir trepidaciones, vibraciones o esfuerzos importantes se hará intercalando uniones flexibles.
- c) En los ángulos de una conexión o en sus proximidades deberán establecerse puntos de apoyo. En aquellas disposiciones en las que por la situación de los equipos o por otras razones no sea conveniente establecer apoyos en los ángulos (caso de determinadas conexiones con interruptores, seccionadores, transformadores etc.) se acortarán las distancias entre los apoyos hasta una distancia que asegure suficiente rigidez mecánica al conjunto.

9.9. Baterías

En aquellos casos en que se requiera una batería de acumuladores para la alimentación de uno o varios circuitos auxiliares de la instalación, se dispondrá de un equipo cargador en servicio permanente que mantenga la batería a flote, y de características tales que sea capaz de restituir completamente su carga en 24 horas.

Cuando se empleen baterías de plomo - ácido abiertas (no selladas) deberán confinarse en recinto separado del de maniobra, y con ventilación al exterior separada. Independientemente de la ventilación, el local se considera de ambiente corrosivo, debiendo reunir los requisitos de protección frente a la corrosión, y los suelos deben tener un recubrimiento adecuado para evitar que los posibles derrames de electrolito no lleguen a la tierra, y no pueden estar provistos de drenaje. Si la ventilación no fuese suficiente para eliminar el riesgo de explosión, la instalación debe ejecutarse a prueba de explosión (ver IEC 60079-0)

Las baterías alcalinas podrán instalarse en recinto común al resto del equipamiento.

Se deberán tener los cuidados pertinentes para no afectar el medio ambiente cuando sean montadas, formadas, mantenidas o reemplazadas.

10. PROTECCIONES DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

10.1. Protecciones contra sobrecorrientes

10.1.1. Aspectos generales

Las protecciones contra las sobrecorrientes deberán actuar de forma tal que las partes de la instalación que éstas recorran no sean dañadas, sea ante una falla de un elemento propio o externo (eventualmente acotando el daño sobre el elemento averiado), o ante un aumento imprevisto de la misma en condiciones de operación normal.

A su vez, todas las partes de la instalación del centro deberán estar dimensionadas para resistir, cualquiera sean las condiciones de explotación, los efectos térmicos y electrodinámicos de la corriente de cortocircuito



75

durante el tiempo de actuación de las protecciones, sin que se produzca peligro para las personas, ni originen riesgos de incendio o deterioro inadmisibles en las instalaciones mismas.

A tal efecto, deberán considerarse las corrientes de cortocircuito y los tiempos de actuación de las protecciones existentes aguas arriba del centro, o las del centro mismo, según el elemento o equipo que corresponda esté aguas arriba o no de estas últimas, y tomando en cuenta las evoluciones futuras esperadas de la red externa.

Nota: para facilitar la detección de fallas a masa en partes no cubiertas por las protecciones de MT propias de centros abastecidos por líneas sin neutro transportado (y consecuentemente la protección frente a contactos indirectos), es recomendable que el dispositivo de protección de la línea actúe por corriente residual de tierra. Esto es fundamental cuando la puesta a tierra del neutro de la estación de alimentación es por baja impedancia no directa.

La protección de las instalaciones contra sobrecorrientes podrá realizarse por medio de fusibles o aparatos automáticos de interrupción.

Los fusibles o los aparatos automáticos de interrupción deben:

- Tener un poder de ruptura apto para interrumpir la corriente de cortocircuito más intensa que pueda producirse en el lugar donde están instalados, considerando además el nivel de tensión del sistema. Los aparatos automáticos deberán ser capaces de soportar varias desconexiones sucesivas de acuerdo con las normas de aplicación correspondientes.
- Soportar el paso de la corriente en condiciones de funcionamiento normal y ante sobrecargas previstas, sin alterar sus características.
- Tener una capacidad adecuada para detectar e interrumpir las corrientes de falla mínimas.

10.1.2. Criterios de protección de transformadores contra cortocircuitos

Cada transformador se protegerá del lado primario por un dispositivo de sobrecorriente que deberá:

- Proteger el transformador ante cortocircuito del lado BT.
- Limitar el deterioro del transformador ante avería interna.
- Proteger canalizaciones hasta el transformador, ante cortocircuito en éste del lado MT.
- No actuar ante corriente de inserción.
- Permitir un margen de sobrecargas aceptable.
- Tener una capacidad de ruptura conforme a la potencia de cortocircuito de diseño de la red de distribución.

10.1.2.1. Protección mediante fusibles.

Para la elección del fusible se indican los criterios siguientes:

- Su corriente nominal será igual al 140 % (o al valor normalizado inmediato superior a este) de la corriente nominal del transformador.
- La corriente de prearco del fusible para 0,1 s debe ser superior a 10 veces la corriente asignada del transformador definida para servicio S1.



- La corriente de prearco del fusible para 10 s no supere 6 veces su valor asignado, de forma de garantizar no superar la capacidad térmica de corta duración del transformador.
- Para combinación de fusibles combinados con seccionadores bajo carga, se deberá verificar la coordinación del conjunto de modo que la transferencia de la función de interrupción se produzca conforme a lo establecido en la IEC 62271 parte 105.

Si los elementos fusibles no son cambiables bajo tensión debe proveerse de seccionamiento y posibilidad de poner a tierra agua arriba y agua abajo mediante puestas a tierra incorporadas o portátiles.

10.1.2.2. Protección mediante interruptor automático

Deberán cumplirse las condiciones siguientes:

- El interruptor automático deberá estar asociado a un relé de sobrecorriente para protección frente a sobrecargas y cortocircuitos entre fases y a tierra, conectado a tres transformadores de corriente o captosres amagnéticos.
- Se podrán utilizar otras disposiciones de transformadores de corriente pero siempre deberá garantizarse la protección contra cortocircuitos y fallas a tierra.
- El relé de protección deberá estar conforme a la IEC 60255.
- Elegir el ajuste de la protección de forma que: i) para la corriente mínima de cortocircuito de la red de alimentación no actúen antes las protecciones de ésta. ii) actúen antes las protecciones ubicadas del lado secundario ante cortocircuito agua abajo de éstas.
- La corriente de actuación del relé para 0,1 s deberá ser superior a 8 veces la corriente asignada del transformador para servicio In1 S1, para evitar actuación intempestiva ante energización o disponer de una función que considere esta situación.

10.1.3. Protección del transformador frente a sobrecargas

La protección se podrá implementar:

- Mediante control de temperatura de los arrollamientos o del líquido aislante del transformador.
- Mediante protecciones de sobrecorriente de características adecuadas a la respuesta y capacidad térmica del transformador, ubicadas de lado MT o BT.
- Mediante termistores incorporados en transformadores secos.

No se considera obligatoria la protección contra sobrecargas si el transformador está sometido al control periódico de carga por parte de personal idóneo, y su potencia no supera los 2500 kVA.

Cuando se realice la protección del lado BT con un interruptor automático general conectado a la salida del transformador, el mismo deberá contar con un dispositivo para protección contra sobrecarga y cortocircuitos que podrá estar integrado en el aparato. En el caso de utilizarse un relé de protección secundario asociado a este interruptor, este deberá estar conectado a transformadores de corriente o captosres amagnéticos instalados en el lado BT aguas abajo del interruptor.

10.1.4. Protección de las líneas salientes

Líneas de vinculación entre bornes BT del transformador con el tablero BT:

- La protección contra cortocircuitos deberá ser verificada por la protección del lado primario del transformador.



81

- Deberá quedar protegido contra sobrecargas, salvo cuando se cumpla la condición de excepción indicada en 10.1.3.

Líneas de BT salientes del tablero BT (*):

- Cada una dispondrá de protección por sobrecorrientes.
- En salidas aéreas, el umbral de detección de las protecciones será tal que permita detectar corrientes de falla de bajo valor (fallas alejadas o de alta impedancia) que se pueden producir.

(*). Para salidas de BT que constituyan la línea principal de la instalación de un inmueble, o el tablero BT constituye el tablero principal de la instalación de un inmueble, se aplicarán los criterios establecidos en la REIEI, capítulo 771.

Líneas de MT salientes de centro MT/MT:

- Cada una dispondrá de protección por sobrecorrientes.
- El calibre de la protección será adecuado a la corriente admisible de la línea saliente, eventualmente considerando su capacidad de operación en emergencia.
- Los equipos que posean recierre deberán completar los mismos en un lapso inferior a 3 minutos para no producir una perturbación en los circuitos no afectados por la falla, ni permitir las consideraciones de una interrupción de carácter permanente.

10.1.5. Protecciones para detección de fallas incipientes.

Estas protecciones se aplicarán según las características del transformador y del local, según lo indicado en 7.8, o cuando se consideren convenientes por razones de servicio, para acotar los daños sobre el equipamiento averiado, y eventualmente evitar interrupciones si la configuración del centro lo permite.

- Relés diferenciales. Relés con detección de corriente residual.
- Relés de cuba.
- Dispositivos de actuación por acumulación de gases y sobrepresión interna para transformadores en líquido aislante con tanque de expansión (relé Buchholz).
- Dispositivos de actuación por acumulación de gases, sobrepresión interna y temperatura para transformadores en líquido aislante herméticos de llenado integral (GRPT).

Las señales de acumulación de gases, o de primer escalón de temperatura (elegido acorde la IEC 60354) podrán proporcionar alarma siempre que sea recibida en un panel de control con personal permanente y capacitado para tomar una decisión. Caso contrario se efectuará la apertura del circuito.

Cuando corresponda, estos dispositivos provocarán la actuación del elemento de maniobra lado primario, y también del lado secundario si pudiera aparecer tensión de retorno (considerando la configuración operativa normal).



82

10.2. Protecciones contra sobretensiones

10.2.1. Del lado de MT:

- a) Se usarán descargadores en las conexiones a las redes aéreas primarias.

Se instalarán un descargador en cada conductor aéreo no puesto a tierra que acceda al centro. Cuando se derive más de un circuito de una barra común, puede instalarse directamente un juego de descargadores sobre ésta, próximo al transformador de potencia preferentemente sobre la cuba.

- b) El conductor entre el descargador y las barras, y entre aquél y tierra, debe ser de cobre o equivalente, no menor a 16 mm² de sección y tan corto y recto como sea posible, evitando toda curva o vuelta aguda.

10.2.2. Del lado de BT:

El equipamiento de la red de distribución deberá ser clase 1, según lo indicado en la norma IEC, es decir, resistir las tensiones indicadas en la norma IEC 60664 o IRAM 2377 para impulso y frecuencia industrial correspondientes a dicha clase para la tensión nominal superior más próxima.

Si el nivel isocerámico(*) es menor o igual a 25 tormentas eléctricas/año no se requerirá protección alguna contra sobretensiones de origen atmosférico. Por encima de este valor, se deberá garantizar no sobrepasar las condiciones de la clase IV de aislación en todos los equipos con aislación no renovable o que pueden producir riesgo de incendios. Bajo estas condiciones la red no deberá sufrir daños que afecten la calidad de servicio ni originen situaciones de riesgo o peligro para el personal, usuarios y terceros.

Pueden instalarse descargadores de sobretensión en las redes aéreas de baja tensión derivadas del centro de transformación, según el nivel cerámico(*) del lugar.

(*) Ver AEA 92305-0

10.3. Protección de instalaciones auxiliares BT

Las instalaciones auxiliares en centros de transformación podrán alimentarse desde el tablero de baja tensión.

Como elemento de entrada de la instalación se dispondrá de un elemento de maniobra y protección general, apto para producir el seccionamiento de la/las fase/s y el neutro y para cortar la corriente de cortocircuito presunta, pudiendo emplearse un interruptor- fusible con capacidad de ruptura suficiente.

Si la alimentación proviene directamente de barra general de BT, los conductores de conexión al elemento de protección principal deberán soportar los esfuerzos térmicos de un cortocircuito en bornes de salida de éste, y deberán estar concebidos de forma que un cortocircuito en cualquier punto de su recorrido hasta los bornes de entrada del elemento de protección sea altamente improbable (refuerzo de aislación fase-neutro y a masa), o bien como elemento de sacrificio, de modo que, de fundirse, no genere peligro a personas o bienes (por ejemplo, disponiendo cada conductor aislado dentro de una vaina flexible con base de fibra de vidrio).

Los circuitos de iluminación, tomas corrientes, o de otros usos particulares, deberán estar protegidos por interruptores automáticos con capacidad adecuada a la potencia de cortocircuito en sus bornes, considerando la limitación producida por el elemento de protección general.

Se deberán verificar las condiciones de interrupción automática de la alimentación para protección de las personas ante contactos indirectos, conforme al régimen de tierra previsto para esta instalación.



11. REQUISITOS DE SEGURIDAD EN VÍA PÚBLICA

11.1. Puertas y tapas de cámaras o gabinetes accesibles desde el exterior. Sistemas de cerramiento

11.1.1. Generalidades

Para prevenir el ingreso de personas no autorizadas por la empresa Distribuidora a sus centros ubicados en la vía pública o espacio público, o en terreno del usuario o de la distribuidora, deberán adoptarse sistemas de cierre del ingreso al mismo que cumplan los requisitos indicados en este punto.

Los sistemas de cierre de los distintos tipos de centros se resolverán con cerradura o candado, según las características tecnológicas y de operación que en cada jurisdicción establezcan las autoridades competentes, y deberán ser de combinación especial y de utilización exclusiva de la distribuidora. Su apertura desde el exterior sólo podrá efectuarse mediante llaves, cuya reproducción sea autorizada y controlada por aquélla. En el caso de las cerraduras, deberán disponer de una manija que permita su apertura desde el interior, en caso de cierre accidental de la puerta o tapa del centro.

11.1.2. Centros a nivel tipos B1.

Las puertas de acceso deben ser metálicas y resistentes, con bisagras robustas en cantidad suficiente para soportar, como mínimo, los ensayos estipulados por la Norma IEC 62262 con grado de protección IK10.

El sistema de cierre se debe realizar mediante cerraduras robustas, para uso pesado o con candados, con las características indicadas en el punto anterior.

Para los casos en que la puerta de acceso sea de dos hojas, deberá utilizarse un sistema de fallebas en la parte superior e inferior de la hoja en la que no está instalada la cerradura o el candado.

11.1.3. Centros a nivel tipo B2

Las puertas de acceso deben ser metálicas y resistentes, con bisagras robustas en cantidad suficiente para soportar, como mínimo, los ensayos estipulados por la Norma IEC 62262 con grado de protección IK10.

En estos centros compactos debe evitarse que la apertura de las puertas externas, correspondientes al tablero de M.T. y de acceso a los bornes de M.T. del transformador, posibilite hacer contacto personal con partes bajo tensión mediante barreras, consistentes en chapas o rejillas que para ser removidos sea necesario el uso de herramientas. Si el obstáculo está constituido por chapas perforadas o rejillas, el tamaño de los orificios debe cumplir con el grado IP2X de la Norma IEC 60529.

Para las puertas exteriores del centro compacto deben adoptarse sistemas de cierre constituido por cerraduras robustas o candados extraíbles, con las características indicadas en el punto 11.1.1.

11.1.4. Centros a nivel tipo B3.

Los cercos y accesos de instalaciones a nivel e intemperie deberán ser del tipo olímpico con doble protección superior angulada de alambre de púas con un mínimo de tres hileras y que para ser removidos sea necesario el uso de herramientas. Su construcción podrá ser de alambre tejido de diámetro no menor de 2,64 mm, el tamaño de los orificios debe cumplir con el grado IP1X de la Norma IEC 60529 y la altura mínima desde el terreno 2,4 metros incluida la protección. También puede construirse un muro con protección superior similar a la antes mencionada. La distancia entre los conductores con tensión MT y el cerco perimetral o muro será la indicada en 7.6.4.

Los cercos y accesos metálicos deberán estar puestos a tierra y serán revisados en forma periódica.



11.1.5. Centros de transformación subterráneos tipo C1 y C2.

El ingreso de personal al interior de estos centros puede ser a través de distintos tipos de cerramientos.

En consecuencia, pueden coincidir con la ventilación del centro, con la entrada para el transformador o ser independiente de ambos.

En todos los casos los dispositivos de cierre estarán constituidos por cerraduras o candados extraíbles, con las características indicadas en el punto 11.1.1.

Las rejillas de ventilación deben fijarse mediante tornillos con cabeza especial que sólo puedan ser extraíbles con llaves apropiadas.

11.2. Señalización preventiva para personal de operación y terceros.

Toda instalación eléctrica debe ser correctamente señalizada, y deben disponerse las advertencias para terceros, y las advertencias e instrucciones necesarias para el personal de operación y mantenimiento de modo que se impidan los errores de interpretación, maniobras incorrectas y contactos accidentales con los elementos en tensión.

A este fin se tendrá en cuenta:

Todas las puertas que den acceso a los recintos en los que se hallan aparatos de media tensión, deben estar provistos de rótulos de advertencia con indicación de la existencia de instalaciones de media tensión. En los centros aéreos, independientemente de las medidas que se indiquen para evitar la trepada, se deberá instalar señalización de advertencia con indicación de la existencia de instalaciones de media tensión.

Los carteles estarán de acuerdo a la norma IRAM 10005, y/o la Reglamentación que sea aplicable a futuro.

Todos los equipos y aparatos principales, celdas, paneles de cuadros y circuitos, deben estar diferenciados entre sí con marcas o letreros claramente establecidas, señalizados mediante rótulos de dimensiones y estructuras apropiadas para su fácil lectura y comprensión.

Particularmente deben estar claramente señalizados en forma visible todos los elementos de accionamiento de los aparatos de maniobra y los propios aparatos, incluyendo la identificación de las posiciones de apertura y cierre, salvo en el caso en que su identificación se pueda hacer claramente a simple vista.

Deben colocarse carteles de advertencia de peligro en todos los puntos que por las características de la instalación o su equipo lo requieran.

En los Interruptores y seccionadores manuales o automáticos, se indicarán claramente las posiciones de "cerrado" y "abierto", por medio de rótulos en el mecanismo de maniobra, debiendo disponer de dispositivos para instalar candados que imposibiliten su operación, cuando se encuentran consignados para una tarea.

12. IMPACTO AMBIENTAL

En función del tipo de centro, deberán analizarse los siguientes aspectos ambientales

a) Centros aéreos

- Impacto visual de la estructura general y sus componentes.
- Afectación del acceso a predios o de la circulación peatonal o vehicular.
- Afectación de patrimonio cultural



- Ruidos y radiointerferencias
 - Manipuleo, pérdidas y disposición final de los aceites aislantes.
 - Producción de campos electromagnéticos
- b) Centros a nivel (operación interior), compactos e intemperie.
- Impacto visual
 - Afectación del acceso a predios o de la circulación peatonal o vehicular.
 - Afectación de patrimonio cultural
 - Ruidos y radiointerferencias
 - Mantenimiento de las condiciones ambientales del local, evitando la generación de olores, ingreso de roedores y anidación de insectos.
 - Manipuleo, pérdidas y disposición final de los aceites aislantes.
 - Producción de campos electromagnéticos
- c) Centros subterráneos tipo cámara y tipo pozo
- Afectación de accesos a predios o de la circulación peatonal o vehicular.
 - Afectación del patrimonio cultural
 - Ruidos y radiointerferencias
 - Manipuleo, pérdidas y disposición final de los aceites aislantes.
 - Producción de campos electromagnéticos
 - Mantenimiento de las condiciones ambientales de la fosa, evitando la generación de olores, ingreso de roedores y anidación de insectos.

Las Distribuidoras deben efectuar el análisis de los aspectos ambientales siguiendo las pautas de las normativas y disposiciones legales aplicables y efectuando las Evaluaciones de impacto Ambiental, según lo establecido por el Ente Regulador respectivo o las disposiciones propias de cada jurisdicción.

En particular en lo concerniente a la preservación del patrimonio cultural, en los centros del tipo a) y b), en la medida de lo posible, la ubicación de los centros debe estar alejada de sitios que hayan sido identificados y protegidos por legislación específica (monumentos históricos, etc.). Para los centros del tipo c) la referencia se realiza en cuanto a las posibilidades de hallazgos de piezas de interés arqueológico, a partir de lo cual se respetará la normativa específica que tenga vigencia en la jurisdicción.

En lo concerniente al riesgo ambiental por la presencia de ductos de otros servicios, el proyecto deberá evaluar las protecciones adecuadas frente a las posibles fugas de gases, combustibles, agua o de productos cloacales, los que pueden provocar incidentes por deflagraciones, explosiones o daños a las instalaciones, etc.

En el caso de los centros tipo c), el diseño de los mismos debe evitar la acumulación en los recintos estancos, de aguas, aguas residuales o residuos de todo tipo, de modo tal que pueda constituirse en un foco de proliferación de enfermedades o de producción de olores.



12.1. Ruidos.

12.1.1. Niveles de ruido admitidos

Los niveles medios de ruido permisibles en el entorno afectado por los centros de transformación deberán cumplir con los valores establecidos en la norma aplicable en la jurisdicción en la que se encuentra la instalación. En caso de no existir una normativa específica local se respetarán los límites fijados en la norma IRAM 4062 vigente. Los valores deben ser medidos en el espacio afectado contiguo al centro de transformación, siguiendo los procedimientos establecidos en la precitada norma IRAM y en la IRAM 4061.

12.1.2. Niveles medios de ruido de los transformadores

Los transformadores de distribución deberán tener un nivel medio de ruido igual o inferior al indicado en la norma IRAM 2437. Sin perjuicio de lo indicado en el punto 12.1.1, los elementos estructurales del centro de transformación deben evitar amplificar el ruido producido por el transformador.

12.2. Campos Eléctricos y Magnéticos

Los campos eléctrico y magnético medidos en el límite perimetral del espacio ocupado por los centros de transformación, no deberán sobrepasar los valores de referencia que establezca la autoridad competente.

Al respecto, la Resolución de la Secretaría de Energía 77/98 indica que "Para atender los efectos en las personas debidos a la exposición a campos eléctricos y de inducción magnética, se adoptan valores de máximo límite extremo tendientes a orientar la elección de los diseños de las futuras instalaciones de distribución de energía eléctrica, teniendo en cuenta valores tan bajos como razonablemente alcanzables y evitando los que puedan producir campos de inducción magnética más intensos que los típicos para las líneas existentes..."

Los límites vigentes conforme a la citada Resolución son los siguientes:

- Campo magnético: 25 μ T
- Campo eléctrico: 3 kV/m

Su medición se podrá efectuar conforme a la resolución ENRE 1724/98, y recomendaciones indicadas en la IEEE 644.

12.3. Radiointerferencia

Los valores máximos permisibles y los procedimientos de medición a emplear son los establecidos en la Resolución SE N° 77/98.

13. INSPECCIONES Y ENSAYOS EN EL EMPLAZAMIENTO PARA LA PUESTA EN SERVICIO

Se deben llevar a cabo inspecciones y ensayos para comprobar que la instalación o el equipo cumplen las especificaciones técnicas aplicables.

Nota: los ensayos específicos a realizar en el emplazamiento sobre el material prefabricado y sometido a ensayos de tipo y el ensamblado en fábrica, se basan en las normas IRAM o IEC que sea de aplicación, o en otra norma reconocida en ausencia de éstas.



La verificación se llevará a cabo mediante los siguientes métodos:

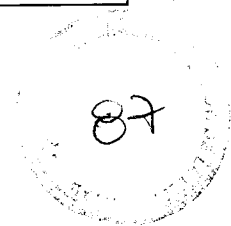
- Verificaciones visuales.
- Ensayos funcionales.
- Medidas.

Las verificaciones y los ensayos en partes de las instalaciones eléctricas pueden realizarse cuando la instalación ha sido completada.

La construcción civil, y el sistema de puesta a tierra y de las medidas complementarias que correspondan para acotar las tensiones de paso y contacto se controlarán durante su ejecución.

Los procesos que se llevan a cabo son:

- a) Verificación de las características del equipamiento (incluido valores asignados) para las condiciones de funcionamiento dadas.
- b) Verificación de las distancias mínimas de aislamiento en el aire entre partes en tensión y entre éstas y tierra.
- c) Verificación de alturas mínimas y de distancias de seguridad por barrera.
- d) Verificación del conexionado de los cables de potencia.
- e) Verificación de la instalación y conexionado del sistema de puesta a tierra, y la ejecución de medidas complementarias.
- f) Ensayos dieléctricos de los cables.
- g) Verificación visual y/o ensayos funcionales del equipamiento eléctrico y de partes de la instalación.
- h) Ensayos funcionales y/o medidas de los dispositivos de protección, de monitorización, de medida y de mando.
- i) Verificación de las identificaciones del equipamiento y de las líneas que acceden al centro
- j) Verificación de advertencias de seguridad y dispositivos de seguridad.





ANEXO A. TENSION DE CONTACTO Y CORRIENTE ADMISIBLE POR EL CUERPO HUMANO (REGLAMENTARIO)

A.1. EQUIVALENCIA ENTRE LA TENSION DE CONTACTO Y LA CORRIENTE QUE PASA A TRAVÉS DEL CUERPO HUMANO

Para el cálculo de los valores admisibles para la tensiones de contacto en las instalaciones de alta tensión, para una trayectoria de la corriente desde una mano a los pies, se evaluaron dos criterios:

Criterio 1

- Valores de impedancia del cuerpo humano en función de la tensión con una probabilidad de ser superados del 95%.
- Valores de corriente en función del tiempo con una probabilidad de fibrilación ventricular mucho menor del 5%.
- Resistencia adicional de calzado de 1000 Ohm (media para calzado usado y mojado). Su efecto se consideró con la metodología del punto A.2.

Criterio 2

- Curva impedancia-tensión 50% de probabilidad de impedancia del cuerpo humano;
- 5% de probabilidad de fibrilación ventricular.
- Ninguna resistencia adicional.

Nota: Según el documento Cenelec HD 637 S1, este último criterio dió como resultado una curva de la tensión de contacto con un riesgo estimado que, debido a la experiencia, personal instruido específicamente, gastos justificables etc., es aceptable en caso de defectos a tierra en las instalaciones de alta tensión. La IEC 61936-1 en su Anexo B indica que evidencias probabilísticas y estadísticas sugieren que este criterio presenta un bajo nivel de riesgo, y puede considerarse como un requerimiento mínimo aceptable.

Asumiendo que la base del cálculo de la corriente que pasa a través del cuerpo humano es según la IEC/TR2 60479-1, y teniendo en cuenta como límite admisible de corriente la curva C2 de la figura 14 de la IEC/TR2 60479-1 : 1994 (Menos de un 5% de probabilidad de fibrilación ventricular en una trayectoria de corriente de la mano izquierda a los dos pies), resulta la siguiente tabla (tabla C.1):

Tabla A.1
Corriente admisible que pasa a través del cuerpo humano IB en función de la duración tF de la corriente de defecto

Duración del defecto (s)	Corriente que pasa a través del cuerpo humano(mA)	
	Probabilidad de fibrilación ventricular mucho menor al 5% (Curva C1 IEC 60479)	Probabilidad de fibrilación ventricular 5% (Curva C2 IEC 60479)
0,01	500	1000
0,05	460	900
0,1	420	750
0,2	340	600
0,5	100	200
1	50	80
2	42	60
5	38	51
10	38	50



89

Para obtener la tensión de contacto admisible correspondiente es necesario determinar la impedancia total del cuerpo humano. Esta impedancia depende de las tensiones de contacto y de la trayectoria de la corriente; los valores para una trayectoria de corriente de mano a mano y de mano a pie se indican en la IEC 60479-1. En la siguiente tabla se indican valores de resistencia en función de la tensión, para probabilidades de ser superada 50% y 95% respectivamente.

Tabla A.2
Impedancia total del cuerpo humano ZB relacionada con la tensión de contacto UT para una trayectoria de corriente de mano a mano o de mano a pie.

Tensión de contacto(V)	Impedancia total del cuerpo humano (Ohm)	
	Probabilidad 50% de ser superada	Probabilidad 95% de ser superada
25	3250	1750
50	2625	1450
75	2200	1250
100	1875	1200
125	1625	1125
220	1350	1000
700	1100	750
1000	1050	700

Para una trayectoria de corriente de una mano a los pies debe aplicarse un factor de corriente de 0,75 a la impedancia del cuerpo humano (figura 3 de la IEC 60479-1). Luego, para el caso del criterio 1 se agrega 1000 Ohm de resistencia de calzado al cada valor de resistencia del 95% de probabilidad de ser superado. Combinando los valores aplicados se determina la duración límite del defecto para cada tensión de contacto. En la tabla A.3 se muestran los valores obtenidos aplicando los dos criterios mencionados.

Tabla A.3
Valores calculados de las tensiones de contacto admisible U_{Tp} en función de la duración del defecto t_F

Tensión de contacto admisible Ucad (V)	Duración del defecto t _F (s)	
	Criterio 1	Criterio 2
80	3	10
100	0,95	1,1
125	0,65	0,72
150	0,55	0,64
220	0,46	0,49
300	0,38	0,39
400	0,31	0,29
500	0,23	0,20
600	0,16	0,14
700	0,07	0,07
775	0,01	0,01
811		

Se observa que la curva según criterio 1 (probabilidad de fibrilación ventricular mucho menor al 5%, resistencia del cuerpo humano 95% de probabilidad de ser superada, resistencia de calzado) prácticamente se corresponde con el criterio 2 (probabilidad de fibrilación ventricular del 5%, resistencia del cuerpo humano 50% de probabilidad de ser superada, y sin considerar resistencias adicionales). La curva adoptada para el punto 4 es la obtenida por el criterio 1.

A.2. CONSIDERACIÓN DE RESISTENCIAS ADICIONALES

Se indica a continuación el método para considerar las resistencias adicionales.

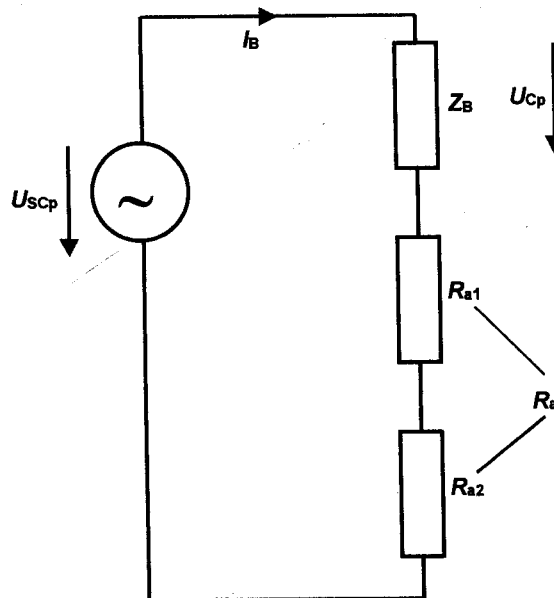


Fig. A.1 - Esquema del circuito de contacto

Símbolos para la figura A.1, tabla A.3 y tabla A.4:

- U_{Cad} Tensión de contacto admisible, a la tensión a la que está sometido el cuerpo humano.
- U_{SCad} Diferencia de tensión actuando como fuente de tensión en el circuito de contacto con un valor limitado que garantiza la seguridad de una persona cuando utiliza las resistencias adicionales conocidas (por ejemplo, calzado, superficies accesibles de material aislante). Si no se tienen en cuenta las resistencias adicionales, es igual a U_{Cad} .
- Z_B Impedancia total del cuerpo humano
- I_B Corriente que pasa a través del cuerpo humano
- R_a Resistencia adicional total
- R_{a1} Resistencia del calzado, ya considerada en la curva según criterio 1 (se adoptó una resistencia de 1000 Ohm, que representa un valor medio del calzado usado y mojado, según HD 637 S1)
- R_{a2} Resistencia a tierra de la superficie donde está el operador
- ρ_s Resistividad del terreno cerca de la superficie donde se presume ubicada la persona al verificar la tensión de contacto (en Ω m).



- t_F Duración del defecto.

Tabla A.4
Supuestos para los cálculos con resistencias adicionales

Tipo de contacto	Mano izquierda-ambos pies
Probabilidad para el valor ZB	95% de ser superada
Curva IB = f(tF)	C1 IEC 60479-1
Impedancia del circuito	ZB + Ra
Resistencia adicional	Ra = Ra1 + Ra2 = Ra1 + 1,5 x m-1 x ρS

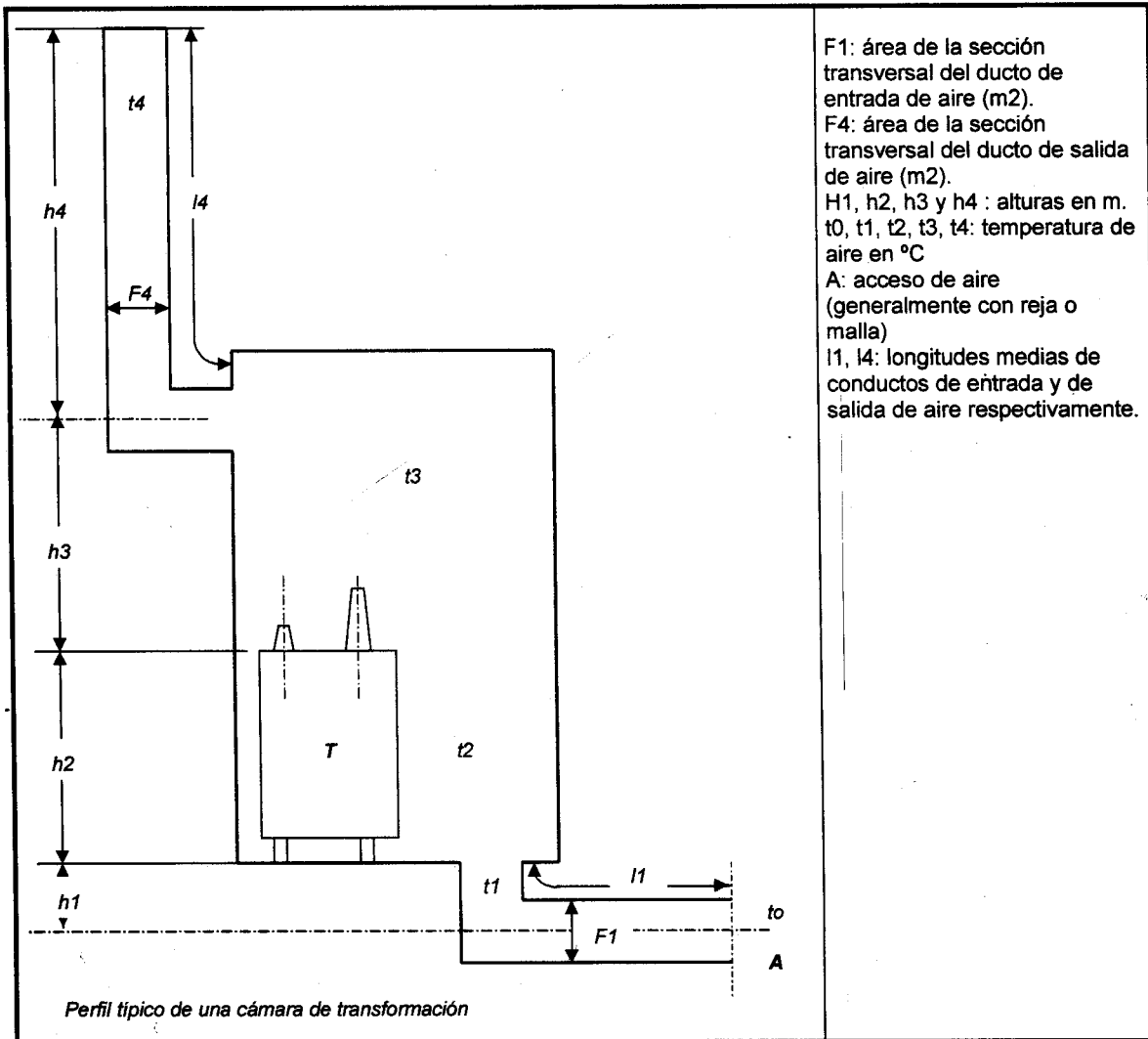
Si se deseara incluir la resistencia del terreno u otra adicional por sobre la del calzado considerada en la curva adoptada, se seguirán los pasos siguientes:

- $I_B = \frac{U_{Cad}}{Z_B}$ Por definición
- $t_F = f(I_B)$ de acuerdo con la tabla A.3 criterio 1.

- $$U_{SCad} = U_{Cad} \left[1 + \frac{R_a}{Z_B} \right]$$

ANEXO B. VERIFICACIÓN DE VENTILACIÓN NATURAL DE
TRANSFORMADOR INSTALADO EN LOCAL (INFORMATIVO)

92



En la figura se observa un esquema de local genérico, con ductos de acceso de aire frío y salida de aire caliente.

La verificación del área del ducto de salida de ventilación (F_4), para un salto de temperatura previsto entre el aire de salida y entrada, se puede efectuar mediante la expresión siguiente:

$$F_4 = 3,67 \cdot \left(\frac{1}{t_4 - t_0} \right)^{1,5} \cdot \sqrt{\frac{R}{H}} \cdot P_p \quad (1)$$

Donde:

$t_4 - t_0$ es la diferencia de temperatura entre el aire de salida y entrada



P_p es la potencia de pérdidas del transformador (en kW)

H' : es la altura desde mitad del transformador hasta el extremo del ducto de salida, determinada con la expresión:

$$H' = \frac{h_2}{2} + h_3 + h_4 \quad (2)$$

R : es un coeficiente de resistencia a la circulación del aire por los ductos, determinado mediante la expresión:

$$R = m^2 R_1 + R_4$$
$$R_1 = \mu_1 + \varepsilon_1 + \lambda_1 \cdot \frac{l_1 \cdot p_1}{F_1}; R_4 = \mu_4 + \varepsilon_4 + \lambda_4 \cdot \frac{l_4 \cdot p_4}{F_4} \quad (3)$$
$$m = \frac{v_1}{v_4} \approx \frac{F_4}{F_1}$$

Donde:

R_1 , R_4 son los coeficientes de resistencia del ducto de entrada y de salida de aire respectivamente.

m : es la relación de velocidades de aire en la entrada y en la salida de aire (aproximadamente igual a la relación inversa de áreas).

p_1 , p_4 : perímetros de la sección transversal de los conductos de entrada y salida respectivamente.

μ : coeficiente por aumento de velocidad del aire (de 0 a v , vale 1).

ε : coeficiente de resistencia debido a pérdidas en cambios de dirección o rejas, según la tabla siguiente

Codos rectos	1,5
Curvas a 135°	1,0
Rejas con sección de pasaje mitad del ducto	1,5
Rejas con sección de pasaje igual al canal	0,75

λ : índice de rugosidad de las paredes de los conductos: entre 0,005 y 0,009.

Nota: es necesario suponer previamente valores de F_1 y F_4 para estimar los coeficientes de resistencia de los ductos, previo a la verificación del área F_4 necesaria. El proceso se repetirá hasta encontrar la convergencia entre el valor estimado previamente, y el necesario obtenido por la expresión (1).



ASOCIACIÓN
ELECTROTÉCNICA
ARGENTINA

OBSERVACIONES A LOS DOCUMENTOS VIGENTES

F-20-00

95

Referencia:

La Asociación Electrotécnica Argentina tiene como política recibir observaciones sobre cualquiera de los documentos normativos que en la actualidad se encuentran en vigencia.

Rogamos completar con sus comentarios y aportes este formulario, indicando en la referencia el número y título del documento observado, y devolverlo por alguno de los siguientes medios:

Correo: Posadas 1659 – (C1112ADC) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Fax: (011) 4804-1532 / 3454

Correo electrónico: normalizacion@aea.org.ar

El correcto diligenciamiento del formulario y su posterior envío, permitirá a esta Asociación editar Normativas que respondan a las inquietudes y necesidades reales de los usuarios. Estos serán considerados por el Comité de Estudios correspondiente, siempre y cuando se envíen debidamente fundamentados.

La Asociación Electrotécnica Argentina agradece su valiosa colaboración.

Ing. Natalio Fischer

Director Equipo Operativo de Normalización

Sres. AEA:

Analizado el documento normativo de referencia, se proponen las observaciones que se detallan en el siguiente Anexo.

Enviado por:

Correo electrónico:

Nº total de páginas adjuntas:

Firma:



97

REGLAMENTO ADQUIRIDO:

Los datos aquí solicitados se utilizarán con el fin de informarle sobre las actualizaciones, modificaciones u observaciones que pudieran realizarse sobre esta edición.

Apellido:		Nombre:	
Dirección:		Localidad:	
CP:		Teléfono:	
e-mail:			

Si además desea obtener información de interés para Ud., rogamos completar los datos siguientes:

Ocupación:		Empresa:	
Dirección:		Localidad:	
CP:		Teléfono:	
e-mail:			
Temas:			
Cursos sobre:			
Reglamentaciones sobre:			
Novedades sobre:			

Rogamos completar y enviar este formulario por alguno de los siguientes medios:

Correo: Posadas 1659 – (C1112ADC) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Fax: (011) 4804-1532 / 3454

Correo electrónico: general@aea.org.ar

Muchas gracias.

Natalio Fischer
Gerente AEA