

Boletín 43

PUESTA A TIERRA DE BANDEJAS PORTACABLES

Boletín técnico N°43
PARTE 2
Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

Puesta a tierra de bandejas portacables.

PARTE 2

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADERO Y VENTAS
División materiales eléctricos

General.

Para comprender el tema de la puesta a tierra en canalizaciones mediante bandejas portacables, es necesario haber visto previamente el **Boletín Técnico N° 8 PARTE 1** donde partimos desde principios básicos sobre esta materia, recuerden que si el sistema está correctamente conectado a tierra por medio de un conductor de baja resistencia y capacidad suficiente, la corriente inmediatamente se llevará a tierra con un mínimo peligro de incendio o descarga.

Conexión de bandejas a otras canalizaciones.

Las salidas o entradas de cables desde un sistema de bandejas portacables a los varios tipos de cerramientos debe estar provista de conexión mediante tornillos entre el sistema de bandeja y el sistema empleado para la salida, para el conductor de puesta a tierra, o de adaptadores de tubería conduit a bandeja portacables.

Las conexiones entre tubería conduit y/o cables con las bandejas portacables debe hacerse con conectores que aseguren una buena continuidad eléctrica entre la bandeja portacables y las tuberías o los cables. En la figura 10 se ilustra como sería esta conexión.

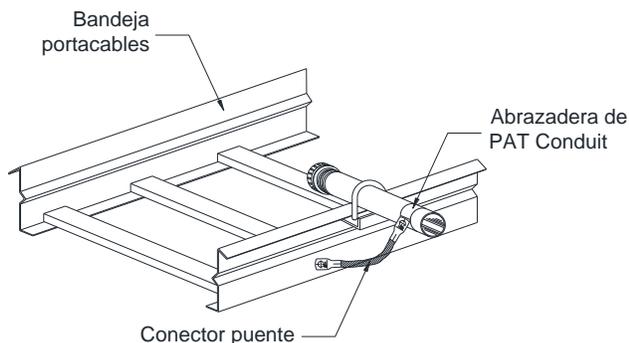


Figura 10

Adaptador de tubo conduit a bandejas

Como instalar los conectores puente.

Los modelos de conectores puente típicos incluyen: los

aislados, desnudos y trenzados o mallados tal como se aprecian en la figura 10.3.2. Los calibres de los conectores puente deben satisfacer los valores establecidos en la tabla 10.2 basada en el CEN

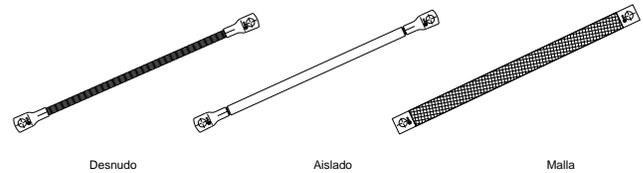


Figura 11

Conectores puente

Instalación del conector puente:

- Realice las perforaciones con un taladro en cada riel lateral entre unos 50 mm a 100 mm de cada extremo del empalme o unión.
- No utilice los tornillos de las uniones o planchas de empalme para realizar la fijación del conector puente a la bandeja portacables.
- El tornillo debe ser de cabeza redonda de forma de no presentar filos que dañen a los cables
- Introduzca el tornillo desde el interior de la bandeja portacables
- Coloque el conector puente por fuera de la bandeja portacables, agregue la arandela plana, luego la arandela de estría o de presión y luego la tuerca de seguridad
- Apriete con el torque recomendado por el fabricante.

Véase las restricciones de instalación en el artículo 250.120 del CEN.

Conductor de puesta a tierra de equipos para sistemas de bandeja portacables.

Los sistemas de canalización mediante bandejas portacables tienen excelentes registros de seguridad y confiabilidad. Estos excelentes registros son el resultado de las características particulares de la bandeja portacables y del diseño apropiado de la canalización.

Los conductores de puesta a tierra de equipos son los conductores más importantes en los sistemas eléctricos. Esto se debe a que el conductor de puesta a tierra de equipo es el conductor de seguridad del circuito eléctrico.

Al diseñar una canalización mediante sistemas de bandejas portacables, el proyectista debe evaluar en primer lugar el Código Eléctrico Nacional (CEN) en lo referente al conductor

de puesta a tierra de equipos (CPTE) y las opciones que son aplicables para el proyecto.

A continuación veremos los artículos relacionados que cubren los requisitos para el CPTE:

Impedancia del circuito y otras características.

En el artículo 110.10 del CEN se establece que los dispositivos de protección contra sobrecorriente, la impedancia total, las corrientes de interrupción de los componentes y otras características del circuito que haya que proteger, se deben elegir y coordinar de modo que permitan que los dispositivos para protección del circuito contra fallas, operen sin causar daños a los componentes eléctricos del circuito.

Se debe considerar que la falla se presenta entre dos o más de los conductores del circuito o entre cualquier conductor del circuito y el conductor de puesta a tierra o la canalización metálica que lo rodea, para nuestro caso aplica la bandeja portacables.

Trayectoria efectiva de puesta a tierra.

La trayectoria a tierra de las canalizaciones de conductores debe ser:

- a) Permanente y efectivamente continúa.
- b) Tener suficiente capacidad para transportar con seguridad cualquier corriente de falla que pueda circular por ella.
- c) Tener impedancia suficientemente baja para limitar el voltaje respecto a tierra y asegurar el funcionamiento de los dispositivos de protección.

Instalación de bandejas portacables

En el artículo 392.6 referido a instalación de bandejas portacables se establece que las bandejas portacables serán instaladas para formar un sistema completo. Si se hicieran curvas o modificaciones durante la instalación, la continuidad eléctrica del sistema de bandejas y del soporte de los cables serán mantenida.

Este artículo permite que las canalizaciones por sistemas de bandejas portacables tengan segmentos mecánicamente discontinuos entre las mismas bandejas o entre las bandejas y los equipos. El sistema ofrecerá soporte a los cables según lo establecido en las Secciones correspondientes.

Donde las bandejas portacables sostengan conductores individuales y donde los conductores pasen de una bandeja portacables a otra o de una bandeja a canalizaciones o a

equipos en los cuales terminan los conductores, la distancia entre las bandejas portacables o entre las bandejas y las canalizaciones o equipos no excederá 1,8 m (6 pies). Los conductores serán fijados a la(s) bandeja(s) en la transición y serán protegidos de eventuales daños físicos por medio de resguardos adecuados.

Un puente equipotencial dimensionado de acuerdo con el artículo 250.102 del CEN conectará las dos secciones de bandejas portacables o la bandeja con la canalización o el equipo para garantizar la continuidad eléctrica. La conexión equipotencial se hará de acuerdo con el artículo 250.96 del CEN.

En resumen este artículo 392.6 del CEN establece que las canalizaciones por bandejas portacables pueden tener secciones mecánicamente discontinuas, pero deben mantener la continuidad eléctrica del sistema de bandejas portacables.

Opciones a evaluar del CPTE en bandejas portacables:

1. Empleo de la bandeja portacables como el conductor de puesta a tierra de equipos (CPTE). La bandeja portacables sólo puede usarse como un CPTE en instalaciones como lo establece la sección 392.3(C) del CEN.
2. Uso de un conductor como el CPTE común para todos los circuitos contenidos en la bandeja portacables de acuerdo a la sección 392.3(B)(1)(C) del CEN.
3. Utilización de conductores CPTE individuales por cada cable multiconductor instalado en la bandeja portacables de acuerdo a la sección 250-96 del CEN.
4. Colocación de un CPTE paralelamente a la bandeja portacables.

Opción 1. Bandejas portacables como conductor de puesta a tierra de equipos, CPTE.

El CEN en la sección 392-3(c) conductor de puesta a tierra de equipos, establece que se permite utilizar las bandejas metálicas como conductores de puesta a tierra de equipos cuando su mantenimiento continuo y supervisión aseguren que el sistema de bandejas será atendido por personal calificado y que la bandeja portacables cumple con lo establecido en el artículo 392-7.

Esto significa que la bandeja portacables puede usarse como el CPTE en cualquier instalación. No hay ninguna restricción acerca del tipo de instalación en la que bandeja portacables

metálica pueda usarse como CPTE. La restricción está basada en la especialización del personal de mantenimiento eléctrico de dicha instalación. El personal eléctrico envuelto debe estar técnicamente calificado.

Por otra parte, el artículo 392.7 del CEN referido a la Puesta a Tierra de bandejas portacables establece lo siguiente:

(A) Bandejas Metálicas.

Las bandejas portacables de metal que soporten conductores eléctricos serán puestos a tierra como lo exige la Sección 250 para las envolventes de conductores.

De lo anterior podemos inferir que según CEN Sección 392.7(A), todas las bandejas portacables de metal deben ser puestas a tierra sin tener en cuenta si la bandeja portacables se está o no utilizando como un CPTE. Por lo tanto en la figura 12 se aprecia una de las formas de hacerlo en bandejas portacables.

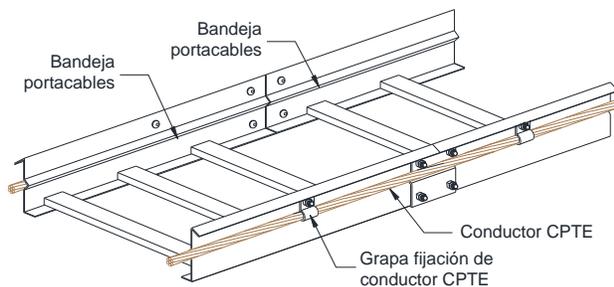


Figura 12

Conductor monopolar de CPTE de la bandeja portacables

(B) Bandejas Portacables de Acero o Aluminio.

Se permitirá utilizar como conductor de tierra de equipos la bandeja portacables de acero o aluminio, siempre que se cumplan los requisitos siguientes:

- 1) Las partes de la bandeja portacables y los accesorios estarán identificados para el uso como toma de tierra.
- 2) La sección transversal mínima de la bandeja cumplirá con los requisitos de la Tabla 392.7(B) del CEN.
- 3) Todas las partes de la bandeja y los accesorios estarán marcados de manera legible y duradera donde se indique el área de la sección transversal de la parte metálica del canal de la bandeja o de las bandejas fabricadas de una pieza y la sección transversal total de ambos rieles laterales en las bandejas tipo fondo escalera o de fondo sólido.

- 4) Las secciones de bandejas, sus accesorios y las canalizaciones conectadas estarán conectadas equipotencialmente según lo establecido en 250.96, usando conectores mecánicos con pernos o puentes equipotenciales dimensionados e instalados cumpliendo con los requisitos de 250.102 .

Las bandejas portacables de metal están clasificadas por Underwriters Laboratories (UL) con respecto a la conveniencia para el uso como conductores de puesta a tierra de equipos (CPTE). La etiqueta de clasificación establece: **Clasificado por Underwriters Laboratories Inc. Conveniente como conductor de puesta a tierra de equipos.**

Es importante aclarar que si una bandeja portacables no está listada por UL, o Clasificada por UL como un CPTE, no significa que no cumpla con los requisitos que UL establece, es muy probable que los cumpla lo que quizás no tenga es que haya sido probada por este laboratorio.

Tenga en cuenta que si la bandeja portacables esta proyectada para ser usada como CPTE, esto debe especificarse en la solicitud a realizar al fabricante, a objeto de que marque o coloque la etiqueta de información permanente en los rieles laterales de la bandeja portacables en la cual esta marcación o etiqueta especificarán el área de la sección transversal de la bandeja portacables metálica como CPTE. En la figura 2 del Boletín Técnico 8 PARTE 1 se aprecia un ejemplo de esta etiqueta.

Determinación del área de una bandeja portacables para ser empleada como CPTE.

Para determinar si una bandeja puede ser empleada con conductor de puesta a tierra de equipos, se utiliza la Tabla 392.7(B) del CEN que nos suministra los requisitos del área de metal para bandejas portacables como conductores de puesta a tierra de equipos.

Esta tabla nos indica el área de sección transversal mínima de metal que se requiere para la bandejas portacables bien sea de aluminio o de acero pueda ser usadas como CPTE partiendo del rango más alto del dispositivo de protección (el rango del fusible o del interruptor) para los circuitos en la bandeja portacables.

Es importante destacar que el área metálica de la sección transversal que está disponible para el uso de la bandeja portacables como un CPTE es un dato que suministra cada fabricantes para los distintos tipos y aplicaciones de bandejas portacables que elabora.

TABLA 392.7(B) del CEN Requisitos de área de metal para bandejas portacables utilizadas como conductores de puesta a tierra de equipos				
Capacidad máxima de los fusibles, Ajuste de disparo de los interruptores automáticos y del relé de falla a tierra de cualquier circuito de cables en un sistema de bandejas portacables (Amperios)	Sección transversal mínima de la parte metálica de las bandejas portacables*			
	De acero		De aluminio	
	mm ²	Pulg. ²	mm ²	Pulg. ²
60	129	0,20	129	0,20
100	258	0,40	129	0,20
200	451,5	0,70	129	0,20
400	645	1,00	258	0,40
600	967,5**	1,5**	258	0,40
1000	-	-	387	0,60
1200	-	-	645	1,00
1600	-	-	967,5	1,50
2000	-	-	1290**	2,00**

NOTAS:
*Área de la sección transversal total de ambos rieles laterales de la bandeja portacables tipo escalera o área de la sección transversal mínima del metal en las bandejas tipo canal o las construidas de una sola pieza.
**No se utilizaran bandejas portacables de acero como conductor de puesta a tierra de equipos en los circuitos con protección contra falla a tierra superior a 600 amperios. No se utilizaran bandejas portacables de aluminio como conductor de puesta a tierra de equipos en los circuitos con protección contra falla a tierra superior a 2000 amperios.

Para el caso de las de tipo escalera esta es la suma de las áreas de la sección transversal de ambos rieles laterales que la conforman.

En caso de que no se disponga del dato de la sección mínima de la bandeja portacables para determinar si se puede utilizar como CPTE, es muy sencillo el procedimiento para obtenerla, hagamos un ejemplo que nos ilustrara el procedimiento. Imaginemos que tenemos una bandeja portacables tipo escalera cuyos rieles laterales tienen la forma como se muestra en la figura 13 y queremos saber su sección.

Lo primero es tomar la medida de cada segmento que conforma la topología del riel lateral, para nuestro ejemplo es:

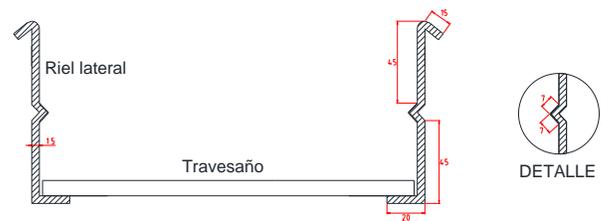


Figura 13

Sección de una bandeja portacables tipo fondo escalera

Altura del riel sin pliegues = $15+45+7+7+45+20 = 139$ mm

Luego con la ayuda de un instrumento de precisión (vernier) medimos el espesor de la lámina con que está fabricado, para nuestro caso tenemos que $e = 1,5$ mm.

Por último, la sección es el producto de estas dos mediciones, siendo:

Sección del riel lateral = 139 mm x $1,5$ mm = $208,5$ mm²

Ambos rieles suman 417 mm²

Si buscamos en la columna 1 de la tabla 392.7(B) del CEN la capacidad máxima de corriente de los fusibles, ajuste de disparo de los interruptores automáticos y del relé de falla a tierra de cualquier circuito de cables en un sistema de bandejas portacables (en amperios) para una sección de ambos rieles de esta bandeja portacables previamente calculada, la misma estaría entre 100 amp y 200 amp, lo que nos obliga a tomar por defecto una protección de 100 amp.

Para una bandeja portacables construida en una sola pieza, como lo son las bandejas portacables de tipo fondo sólido el total del área de la sección transversal es la suma de la sección transversal de los dos rieles laterales más la sección transversal del fondo.

Tenga siempre presente que si el fondo de la bandeja portacables contiene aperturas para ventilación, las aperturas de ventilación reducen el área de la sección transversal del fondo de la bandeja portacables disponible para el servicio como CPTE, lo que hace el cálculo más complicado.

Realicemos otro ejemplo pero en este caso para una bandeja portacables de tipo fondo sólido. Imaginemos que tenemos una bandeja portacables tipo fondo sólido cuyos rieles

laterales y fondo tienen la forma como se muestra en la figura 14 y queremos saber su sección.

Lo primero es tomar la medida de cada segmento que conforma la topología del riel lateral, para nuestro ejemplo es:

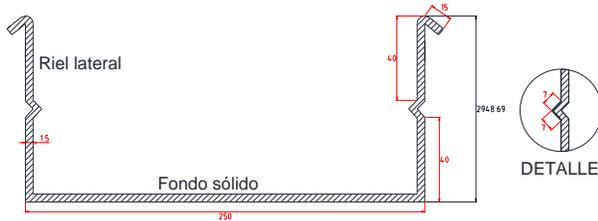


Figura 14

Sección de una bandeja portacables tipo fondo sólido

Altura del riel sin pliegues= $15+45+7+7+45= 119$ mm

Ancho del fondo= 250 mm

Totalizan = 119 mm + 250 mm + 119 mm = 488 mm

Luego con la ayuda de un instrumento de precisión (vernier) medimos el espesor de la lámina con que está fabricado, para nuestro caso tenemos que $e = 1,5$ mm.

Por último, la sección es el producto de estas dos mediciones, siendo:

Sección del arreglo = 488 mm x $1,5$ mm = 732 mm²

Si buscamos en la columna 1 de la tabla 392.7(B) del CEN la capacidad máxima de corriente de los fusibles, ajuste de disparo de los interruptores automáticos y del relé de falla a tierra de cualquier circuito de cables en un sistema de bandejas portacables (en amperios) para una sección de ambos rieles de esta bandeja portacables previamente calculada, la misma estaría entre 200 amp y 400 amp, lo que nos obliga a tomar por defecto una protección de 200 amp.

De manera general en caso de que el área de la sección transversal de la bandeja portacables sea insuficiente para el rango del dispositivo de protección, la bandeja portacables no podrá ser usada como CPTe, por lo tanto, se debe evaluar otra opción, como la de colocar un conductor para CPTe instalado en la bandeja portacables o la de instalar cables multiconductor que contengan su propio conductor CPTe.

Opción 2. Conductor común como CPTe para todos los cables contenidos en la bandeja portacables.

En la sección 392.3(B)(1) del CEN se establece que los

conductores monoplares utilizados como conductores de puesta a tierra de equipos (CPTe), serán aislados, cubiertos o desnudos de calibre # 4 AWG o mayores.

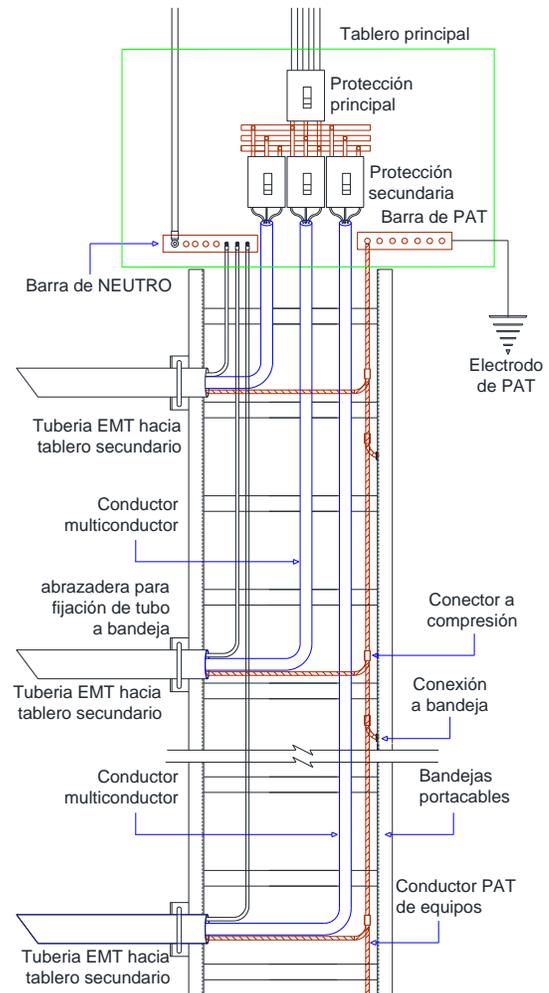


Figura 15

Bandeja portacables con un CPTe

Cuando un conductor monopolar es usado como cable de CPTe, el cable conductor monopolar de CPTe debe ser dimensionado según el rango del fusible o del interruptor de protección del circuito con la mayor capacidad contenido en la bandeja portacables que utilizaría este cable conductor monopolar CPTe en caso de una eventual falla a tierra que pudiese ocurrir, todo esto en concordancia con lo establecido en la Tabla 250.122 del CEN.

En ambientes con mucha humedad, un CPTe de cobre desnudo no debe instalarse en una bandeja portacables de aluminio debido al potencial de corrosión galvánica de la bandeja de aluminio. Para tales instalaciones, es mejor usar

un conductor cubierto o aislado y remover la cubierta o aislamiento en dónde se realicen conexiones con la bandeja, conectores puentes, tuberías, cajas equipadas, etc. Mediante conectores recubiertos de estaño o de zinc.

Es conveniente conectar el cable conductor monopolar de CPTe a la bandeja portacables a lo largo del tendido por lo menos cada 15 a 30 metros con conectores o grapas apropiados, particularmente lo recomiendo cada sección de bandeja portacables como se observa en la figura 16.

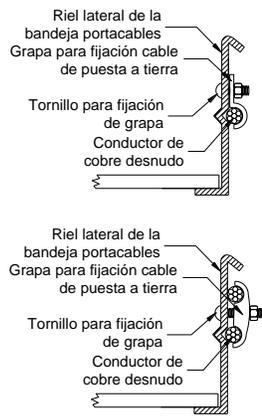


Figura 16

Conductor CPTe adosado mediante grapas o conectores a la bandeja portacables

Esto coloca a la bandeja portacables eléctricamente en paralelo con el cable de CPTe. Si una falla a tierra ocurre, esta aplicación puede despejar las bajas de voltajes a tierra aplicados sobre los componentes metálicos.

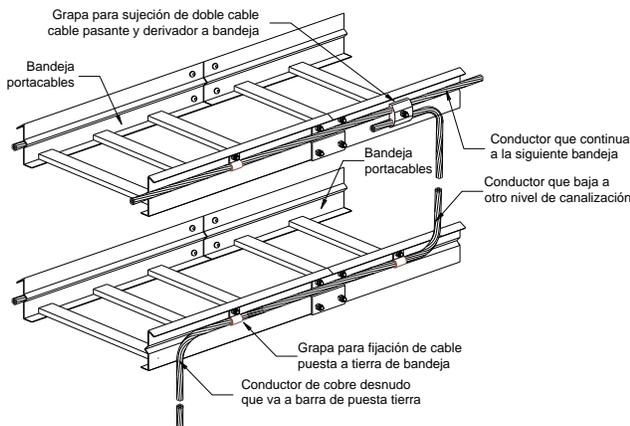


Figura 17

Conductor CPTe que conectan a otro nivel de bandeja portacables

La conexión eléctricamente en paralelo de la bandeja portacables y el cable conductor CPTe, se convierte en una baja impedancia.

Los cables de CPTe deben estar firmemente fijos a la bandeja portacables entre cada 0,90 a 1,80 metros para que bajo condiciones de cortocircuito, las fuerzas magnéticas no lancen el CPTe fuera de la bandeja portacables o lo desprendan de sus laterales.

En la figura 17 se puede observar al CPTe adosado a la bandeja portacables a través de las grapas para tal fin que permiten también empalmar cables que derivan a otras canalizaciones en niveles distintos.

Opción 3. Cables Multiconductores con conductor CPTe en bandejas portacables.

Los cables multiconductor puede especificarse que contengan su propio CPTe. El conductor de CPTe en los cables multiconductor puede estar desnudo, cubierto o aislado. Si es cubierto o aislado, el acabado exterior debe ser verde o verde con una o más rayas amarillas. En la figura 18 se aprecia estos multiconductores en bandejas portacables con un conductor color verde que sería el CPTe incorporado en el cable.

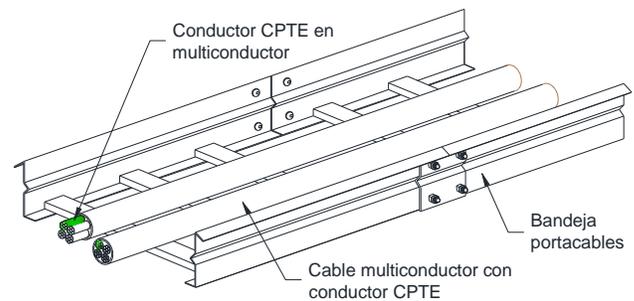


Figura 18

Cable multiconductor con CPTe incluido

Cualquier conductor aislado en un cable multiconductor será identificado permanentemente como conductor de puesta a tierra de equipo CPTe en cada extremo y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible, por uno de los siguientes métodos:

- Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta.
- Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto.
- Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

Los conductores CPTe en cables multiconductor paralelos en las bandejas portacables.

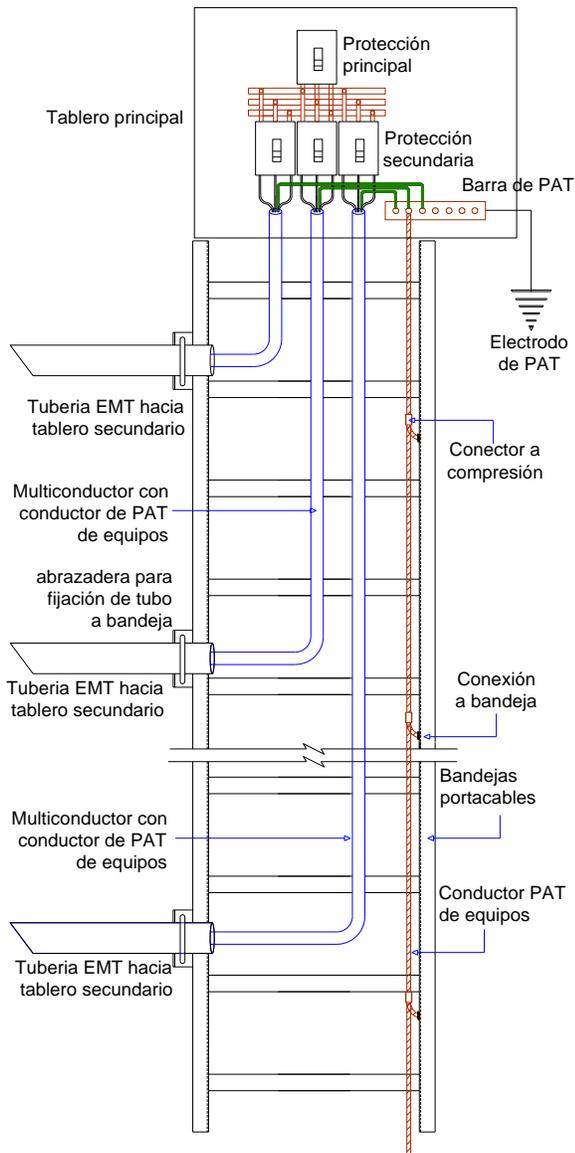


Figura 19

Multiconductores con CPTe paralelos en bandejas

Para tres cables conductores en paralelo instalados en la bandeja portacables es recomendable seleccionar una de las opciones siguientes:

- A. Cables especiales tripolares que contienen un conductor CPTe de gran tamaño. El tamaño del conductor CPTe dependerá del rango del dispositivo de protección del circuito según CEN Tabla 250.122. Esto significa que el tamaño del conductor CPTe

depende del calibre de los cables de tres conductores que están en paralelo para obtener la capacidad del circuito deseado.

- B. Emplear cables tripolares sin conductor CPTe e instale un conductor monopolar CPTe en la bandeja portacables o use la bandeja portacables como el CPTe en las instalaciones calificadas según Sección 392.3(C) como ya se ha visto.
- C. Use cables tripolares con un conductor monopolar de CPTe y cables tripolares con cable de tierra en paralelo CPTe incorporado en el arreglo (Tamaño según Tabla 250.122) dentro de la bandeja portacables o la bandeja portacables si se usa como el CPTe. Esto se encuentra en la Sección 250.122 del CEN requisitos.

Opción 4. Conexión en paralelo del conductor CPTe a la bandeja portacables.

Como ya hemos comentado una conexión eléctrica en paralelo del conductor CPTe con la bandeja portacables realizadas cada 15 a 30 metros suministra un mayor grado de seguridad a la instalación eléctrica de la planta y a su personal durante condiciones de falla a tierra.

A pesar de que los empalmes en un tendido de canalización mediante bandejas portacables con el conductor CPTe conectado cada 15 a 30 metros no es requerido por el CEN es una práctica muy recomendable que se debe considerar.

A continuación vamos a desarrollar un ejemplo hipotético de una aplicación típica que nos permitirá comparar el caso de una instalación con canalización mediante bandejas portacables dónde un conductor monopolar CPTe no está eléctricamente conectado en paralelo con los rieles laterales de la bandeja portacables con un segundo caso donde en la misma instalación el conductor monopolar CPTe si está conectado en paralelo con la bandeja portacables.

Para desarrollar este ejemplo como una comparación simple de estos dos casos, vamos a imaginar lo siguiente:

Sistema: transformador trifásico con voltaje en el secundario de 480-277 Voltios en conexión wye.

Dispositivo de protección: Interruptor termomagnético ajustado en 400 amperios.

Conductor de fase: calibre # 500 MCM de cobre con aislamiento de 75°C THW, capacidad 380 amp

Conductor de CPTe: calibre # 2 AWG de cobre desnudo

(Este calibre es obtenido de acuerdo a la Tabla 250-122 del CEN).

Canalización mediante bandejas portacables de aluminio con fondo tipo escalera. Sus rieles laterales son de alto 150 mm.

Sección transversal riel lateral: esta sección se calcula tal como lo vimos en el apartado correspondiente "Determinación del área de una bandeja portacables para ser empleada como CPTe", para esta oportunidad el caso es una bandeja portacables de aluminio con riel lateral de forma de "U" con dimensiones; alto 150 mm, pestañas 26 mm y espesor 3,2 mm.

El cálculo de la sección transversal es:

$$S_{\text{Riel lateral}} = (26 \text{ mm} + 150 \text{ mm} + 26 \text{ mm}) \times 3,2 \text{ mm} = 645 \text{ mm}^2$$

Como es una bandeja portacables de fondo escalera se toman los 2 rieles, por lo tanto tenemos:

$$\text{Sección transversal} = 1290 \text{ mm}^2.$$

Es dato que la conductibilidad del cobre es de $58,5 \text{ S}^* \text{m}/\text{mm}^2$ y la del aluminio es de $35,86 \text{ S}^* \text{m}/\text{mm}^2$. Por lo tanto, la conductibilidad del aluminio es del 61% de la del cobre, no obstante, la conductibilidad del aluminio de la bandeja portacables es aproximadamente del 55% de la del cobre, esto es debido a que los rieles son fabricados con aleaciones de aluminio con otros elementos para transferirles mayor rigidez.

Resistencia conductor de fase calibre 500 MCM: 0,071 ohms/Km.

Resistencia conductor de CPTe calibre 2 AWG: 0,541 ohms/Km

Resistencia bandeja portacables aluminio: 0.022 ohms/km aproximadamente.

Suposiciones:

Para simplificar el ejemplo, emplearemos los valores de resistencia en lugar de los de impedancia.

En una instalación real, la impedancia determinaría la magnitud de la corriente de falla y la caída de voltaje.

La caída de voltaje a través del arco de falla se omite. Se supone que todo el retorno de la corriente de falla se confinará solo al conductor monopolar CPTe del caso 1 ó

cuando estén conectados eléctricamente en paralelo al conductor monopolar CPTe y a la bandeja portacables como el caso 2.

Se asume que el conductor de fase, el conductor de CPTe y la bandeja portacables de aluminio son todos de las mismas longitudes.

Caso 1.

En este caso vamos a analizar el comportamiento del sistema ante una falla a tierra cuando no existe conexión física entre los rieles laterales de la bandeja portacables y el conductor CPTe, es decir, no están en paralelo.

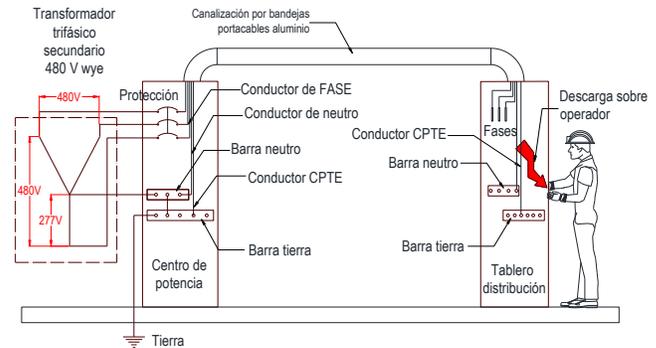


Figura 20

Bandeja portacables sin conexión paralela al conductor CPTe

La figura 20 corresponde al caso 1, en ella se puede apreciar que los rieles de la bandeja no están conectados al conductor CPTe, comenzaremos por realizar los cálculos de las caídas de voltaje del conductor de fase y el conductor CPTe bajo condiciones de falla a tierra.

$$\text{Resistencia total del circuito bajo corriente de falla} = 0,071 \text{ ohms/Km (Cable fase)} + 0,541 \text{ ohms/Km(CPTe)} = 0,612 \text{ ohms/2Km}$$

$$\text{Caída de voltaje conductor de fase} = (R_{CF} / R_{TCBF}) \times 277V = (0,071/0,612) \times 277 \text{ voltios} = 32,13 \text{ voltios}$$

$$\text{Caída de voltaje conductor CPTe} = (R_{CPTe} / R_{TCBF}) \times 277V = (0,541/0,612) \times 277 \text{ voltios} = 244,87 \text{ voltios}$$

El voltaje a tierra en la ubicación de la falla donde hace contacto el personal operador es de 244,87 voltios.

Caso 2

En este caso vamos a analizar el comportamiento del sistema ante una falla a tierra cuando existe conexión física entre los rieles laterales de la bandeja portacables y el conductor CPTE, es decir, están en paralelo.

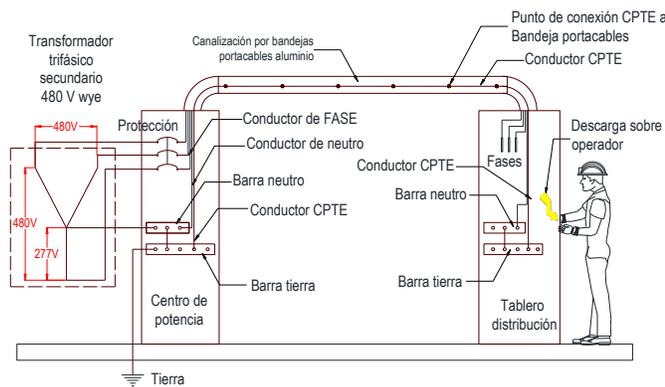


Figura 21

Bandeja portacables en paralelo al conductor CPTE

La figura 21 corresponde al caso 2, en ella se puede apreciar que los rieles de la bandeja están conectados al conductor CPTE, comenzaremos por realizar el cálculo de la resistencia resultante del paralelo entre bandeja portacables y conductor CPTE.

Cálculo de la resistencia conexión en paralelo conductor CPTE y bandeja portacables:

La resistencia resultante de los conductores en paralelo la obtenemos como sigue:

$$R_s = (R_{BP} \times R_{CPTE}) / (R_{BP} + R_{CPTE})$$

Donde

- R_{BP} es la resistencia de la bandeja portacables
- R_{CPTE} es la resistencia del conductor de puesta a tierra de equipos
- R_s es la resistencia resultante del paralelo

$$R_s = (0.022 \times 0.541) / (0.022 + 0.541)$$

$$R_s = (0.0119) / (0.563)$$

$$R_s = 0.021 \text{ ohms.}$$

Una vez obtenida la resistencia resultante del paralelo realizamos los cálculos de las caídas de voltaje del conductor de fase y el conductor CPTE bajo condiciones de falla a tierra.

Resistencia total del circuito bajo corriente de falla =
 $0,071 \text{ ohm/Km (Cable fase) + } 0,021 \text{ ohm/Km (Rs entre bandeja y CPTE) = } 0,092 \text{ ohm/2Km}$

Como se observa al comparar ambos casos la resistencia total del circuito bajo corriente de falla se redujo en un 19% para el caso 2.

$$\text{Caída de voltaje conductor de fase} = (R_{CF} / R_{TCBF}) \times 277V$$

$$= (0,071/0,092) \times 277 \text{ voltios} = 213,77 \text{ voltios.}$$

Esta caída de voltaje del conductor de fase comparado con el caso 1 representa un incremento de 6,65 veces.

$$\text{Caída de voltaje del paralelo entre bandeja portacables y conductor CPTE} =$$

$$(R_s / R_{TCBF}) \times 277V = (0,021/0,092) \times 277 \text{ voltios} = 63,23 \text{ voltios.}$$

Una rápida comprobación sería $213,77 \text{ voltios} + 63,23 \text{ voltios} = 277 \text{ Voltios}$

Lo que significa que la descarga eléctrica sobre el personal de operación de 63,23 voltios es menor que en el caso 1. No obstante, todavía sigue siendo peligroso pero no para ser fatal como sería el caso 1 con los 244,52 voltios que es más de 3.86 veces el voltaje del caso 2.

El menor potencial de puesta a tierra en una falla puede producir magnitudes pequeñas de corriente de falla fluyendo a través de las piezas metálicas. Esto reduce las posibilidades de producirse arcos eléctricos los cuales pueden ser fuentes de ignición de fuego

La conexión de una bandeja portacables eléctricamente en paralelo con un conductor monopolar CPTE es una opción que merece ser considerada. Lo anterior independientemente si la bandeja portacables está siendo utilizada como CPTE.

El hecho de reducir la impedancia del conductor CPTE puede proporcionar mejoramiento en la seguridad eléctrica de las distintas instalaciones.

La reducción de la impedancia del circuito de falla producirá una corriente de falla de gran magnitud la cual repercutirá en que actúen rápidamente los dispositivos de protección que dan energía al circuito.