

CAPÍTULO VI. ELABORACIÓN O CONFECCIÓN DE ACCESORIOS

El presente capítulo se dedica a la descripción de los procedimientos de confección de los accesorios que necesita un cable de energía que ya ha sido tendido en cualquiera de todos sus tipos de instalación.

Un accesorio es un elemento que complementa los cables utilizados para la distribución de la energía eléctrica, y que permite hacer la transición entre las líneas de distribución aéreas y subterráneas, de cable a equipo o viceversa. Dada esta importancia, los accesorios deben estar diseñados, fabricados e instalados con calidad debida para permitir un largo periodo de vida, de lo contrario es predecible tener una falla en un periodo corto de tiempo.

Estadísticamente los accesorios son las principales fuentes de falla de un cable, dado que no son de la misma composición material de los propios cables, lo cual de ninguna manera debe dar pauta para que las fallas sean continuas en un cable, por ello deben de colocarse no sólo con cuidado, sino con el conocimiento preciso de lo que está haciendo.

6.1 Precauciones de carácter general

Ahora bien, antes de comenzar con cualquier tipo de maniobra para la instalación de los accesorios del cable, deben verificarse las condiciones mismas de los dichos accesorios y también del cable que para entonces ya debe haber sido instalado en el medio que se seleccionó. Por lo cual deben prepararse y tomarse en cuenta algunas consideraciones para asegurar que tanto el cable como el accesorio estén en las condiciones adecuadas para ser utilizados.

6.1.1 Durante el tendido del cable

Cuando el cable de energía está siendo instalado, deben guardarse las siguientes recomendaciones:

- a) Dejar un poco de cable extra para garantizar que haya suficiente longitud de pantalla metálica para las conexiones de tierra en empalmes y terminales.
- En el caso de cables de media tensión (5-35 [kV]), presentar el cable contra el dispositivo al cual se va a conectar (transformador, seccionador, interruptor, apartarrayos, bus o tablilla de conexión) y dejar suficiente longitud para operar los conectores separables (codos),

cumpliendo a la vez con el radio mínimo de curvatura recomendado por el fabricante del cable.

- a) Confirmar que el cable que se va a instalar esté en buenas condiciones (puntas selladas, que no haya agua dentro del conductor y que las pantallas metálicas no estén dañadas o presenten corrosión). En caso de duda, solicitar pruebas al cable sobre el carrete. Estas pruebas serán de resistencia de aislamiento (de preferencia a 5 [kV] a C.D.) y aplicación de alto voltaje a corriente directa o a corriente alterna a muy baja frecuencia (VLF) durante 5 minutos a una tensión equivalente al 80% de la tensión de operación del cable (E_o).
- b) Limpiar muy bien la cubierta del cable para quitarle mugre, lodo, polvo y residuos de lubricante usando solamente solventes y limpiadores aprobados. Generalmente agua y jabón son suficientes.
- a) Enderezar las puntas del cable. Esto es muy importante sobre todo en los cables de alta tensión al hacer empalmes para evitar que los conectores y los componentes del empalme estén sujetos a esfuerzos mecánicos indeseables.
- b) En cables de media tensión, cuando se van a elaborar codos premoldeados, procurar utilizar el dobléz natural del cable para no forzar el cable durante su operación normal, ni durante el proceso de desconexión y conexión del codo al transformador o a las tablillas derivadoras.

6.1.2 Antes de la elaboración del accesorio

- a) Confirmar que el accesorio que se va a instalar sea el adecuado para el cable.
- b) Confirmar que el accesorio sea apropiado para la aplicación deseada (uso interior o intemperie, voltaje, nivel de aislamiento, etc.)
- c) Verificar la lista de empaque para confirmar que la caja donde viene el accesorio contiene todas las partes que se van a necesitar, según lo indica el instructivo.
- d) Asegurarse de que los componentes incluidos en la caja o bolsa del accesorio están en buenas condiciones y que la fecha de caducidad no haya vencido.

- e) Usar el equipo de seguridad apropiado
- f) Leer cuidadosamente el instructivo. En caso de dudas preguntar al supervisor o al distribuidor del fabricante del accesorio.
- g) Asegurarse de que se cuenta con todas las herramientas y equipo necesarios para la elaboración de ese accesorio en particular, ANTES de iniciar la preparación del cable.

6.2 Herramientas

La herramienta que se utilice para la confección de los accesorios del cable es muy importante, a grado tal que resulta un punto determinante para la su exitosa elaboración, por lo que debe de utilizarse la recomendada. Se presenta a continuación una lista de herramental mínimo para la elaboración de empalmes y terminales en cables de energía de media tensión:

- Cuchillo curvo de zapatero
- Cuchillo recto
- Piedra de asentar
- Cúter
- Pinzas de electricista
- Pinzas de mecánico
- Pinzas de zapatero
- Pinzas de punta
- Metro retráctil
- Cinta de PVC para baja tensión
- Cepillo de acero inoxidable (para limpiar el conductor)
- Solvente, trapos, estopa y toallas de papel azul y papel plástico transparente (egapack)
- Peladora para semiconductora sobre aislamiento
- Peladora para aislamiento
- Peladora para cubierta externa
- Pinza hidráulica y dados de compresión
- Lima cola de rata
- Lima plana
- Lima media caña
- Lima bastarda (para la cubierta)
- Herramienta especial para hacer punta de lápiz
- Tanque de gas de 6 [kg] manguera, soplete y chispero
- Micrómetro y/o pie de rey
- Generador portátil de gasolina (10 KW), 240/120 volts

El propósito fundamental de éste capítulo radica no solamente en indicar la forma adecuada de confección de empalmes y terminales, sino que además se haga con las precauciones adecuadas para cuidar la integridad del personal que lo realiza.

6.3 Preparación del cable

Una vez que ya se han descrito las terminales y empalmes, que son la parte fundamental de los accesorios en la instalación de un cable de energía, se procede a preparar el cable para que se encuentre en las condiciones apropiadas para la instalación del accesorio, por lo cual se presenta de forma detallada la manera de hacerlo.

6.3.1 Retiro de la cubierta externa

De acuerdo con el instructivo del fabricante, se debe respetar la longitud desde la punta del cable hasta el punto donde se va a retirar la cubierta. Medir y hacer una marca con plumón negro. Existen dos formas de hacerlo, las cuales se mencionan a continuación.

6.3.1.1 Método usando cuchillo

Se puede usar cuchillo curvo o recto. Debe cuidarse de no perforar totalmente la cubierta para evitar dañar la pantalla metálica. Algunos empalmadores con experiencia primero cortan en forma circular el extremo inferior de la cubierta y luego con el cuchillo curvo lo meten tangencialmente cortando la cubierta en forma longitudinal de abajo hacia arriba (hacia la punta del cable). El ayudante va abriendo la cubierta con las pinzas de zapatero para que el maestro pueda cortar con más facilidad.

6.3.1.2 Método usando la herramienta especial para pelar cubiertas

La herramienta recomendada tiene una cabeza y un mango. La cabeza puede girar 90° con objeto de hacer cortes radiales y longitudinales. Contiene una navaja cuya profundidad de ataque se puede graduar. Primero se gradúa la navaja en la punta del cable (donde se va a retirar el aislamiento del cable), de tal forma que no es importante dañar en esta zona la pantalla metálica e inclusive el aislamiento. Se hacen varios intentos de graduación hasta que se logra la penetración requerida, que es un poco menor que el espesor de la propia cubierta. Enseguida se gira la cabeza 90° para hacer el corte en el sentido radial al cable donde está la marca que hicimos de acuerdo a lo indicado en el instructivo. Después se hace el corte longitudinal y se retira con cuidado la cubierta con ayuda de la pinza de zapatero.

6.3.2 Retiro de la pantalla metálica

Debe tenerse mucho cuidado evitando marcar o cortar los hilos de cobre, ya que esto puede reducir la capacidad de conducción de corriente de corto circuito o comprometer la eficiencia de las conexiones a tierra de la pantalla. Hay que recordar que, en el caso de los empalmes, la pantalla debe tener continuidad a lo largo del empalme, por lo que hay que dejar suficiente longitud para que esto sea posible. Cuando se utilicen codos premoldeados generalmente la pantalla del cable se conecta a tierra a través de un adaptador de tierra, por lo que deberán seguirse las instrucciones del fabricante del accesorio que se está elaborando.

6.3.3 Retiro de la semiconductora sobre aislamiento

Esta pantalla es de un material semiconductor (de color negro) extruido sobre el aislamiento. Deberá usarse la herramienta especial para retirar semiconductora. El ajuste de la navaja se hace generalmente sobre un pedazo de cable de desecho. El corte de la semiconductora es de la mayor importancia para evitar rayar el aislamiento. Cuando el retiro de la semiconductora se hace con cuchillo, es conveniente usar el “cúter” cuya navaja se puede ajustar.

En este caso, se hacen dos cortes longitudinales con una separación de aprox. 5 mm entre ellos. Antes de proceder a separar la semiconductora del aislamiento, se acostumbra calentar (con flama suave) la parte de la semiconductora que se va a retirar, para que se desprenda del aislamiento. Una vez hecho lo anterior, con la pinza de punta se desprende el extremo de la semiconductora donde se hicieron los cortes longitudinales y se retira enrollando la pantalla desde el extremo del cable hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada en el instructivo. Previamente se debió haber hecho el corte radial de la misma, sin llegar a rayar el aislamiento del cable, ya que cualquier daño al cable en este punto concentrará el esfuerzo eléctrico y producirá la falla eventual del cable. (Más adelante se indica cómo debe de hacerse la limpieza del aislamiento antes de colocar el accesorio).

6.3.4 Retiro del aislamiento

Hay que recordar que cualquier daño al aislamiento del cable se traduce en una reducción de su rigidez dieléctrica. Respetando la dimensión indicada en el instructivo del fabricante del accesorio por instalar, si se usa cuchillo, se deberá hacer un corte limpio procurando no llegar hasta el conductor. Lo mejor es usar la “peladora de aislamiento” cuya cuchilla graduable permite controlar

mejor la profundidad del corte. De esta manera se retira el aislamiento en forma similar a como se pela una manzana.

Cuando se retira la semiconductora sobre aislamiento, se observan algunas manchas de color negro en la superficie del aislamiento. Estas manchas deberán eliminarse por completo utilizando cuando menos tres grados de lija de óxido de aluminio (gruesa, intermedia y fina), empezando con la lija más gruesa. Hay que procurar no lijar demasiado para no reducir el diámetro sobre aislamiento. El lijado debe hacerse con ambas manos con un movimiento similar al usado para sacarle brillo al calzado. Debe respetarse la forma circular del aislamiento evitando dejar lugares planos, ya que se pueden formar huecos entre la superficie del aislamiento y la parte interior del accesorio reduciendo la rigidez dieléctrica y fomentando la formación de arcos eléctricos entre las dos superficies lo que es causa de falla del cable en un tiempo relativamente corto de operación.

6.3.4.1 Limpieza y acondicionamiento del aislamiento

Una vez terminado el lijado, la superficie del aislamiento debe limpiarse con un solvente aprobado para retirar polvo y/o material semiconductor. El solvente debe ser aplicado con un paño limpio que no suelte pelusa. La limpieza debe hacerse desde la punta del cable hacia la semiconductora. Si se hace al revés, se corre el peligro de arrastrar material semiconductor hacia el aislamiento. Después de limpiar con el solvente se debe dejar secar completamente al aire o bien limpiar los residuos del solvente con un trapo seco y limpio que no suelte pelusa. Acto seguido, la porción de aislamiento limpio deberá cubrirse con papel transparente (similar al usado en casa para envolver alimentos que se van a guardar en el refrigerador).

6.3.5 Instalación del conector (conector)

Es muy importante que antes de instalar el conector, se coloquen los adaptadores (de aislamiento y de tierra) así como las mangas termocontráctiles y todos los elementos que componen el accesorio.

Asegurarse de que el conector del empalme o la zapata de la terminal sean adecuados al metal conductor del cable y del calibre apropiado. También hay conectores bi-metálicos que se pueden usar tanto en conductores de cobre como de aluminio. La mayoría de los conectores son a compresión (pinza y dado), aunque hay también conectores mecánicos y termosoldables. Los conectores para cable de aluminio siempre vienen rellenos con un inhibidor. Recordar que los conectores de cobre solo se pueden usar en cables de cobre. Si se instala un conector de cobre en un cable de aluminio, resultará en una

conexión suelta en corto tiempo debido a los ciclos de carga y al fenómeno de flujo en frío, lo cual producirá sobrecalentamiento en ese punto y la falla temprana del accesorio.

Para instalar un conector se deben seguir las siguientes reglas:

- Siga la recomendación del fabricante en lo que se refiere a la herramienta de compresión y el dado adecuado.
- Alinee el conector con respecto al equipo al cual se va a conectar el cable. Si no lo hace, tendrá que torcer el cable para forzarlo en su posición definitiva.
- Si el conector viene relleno con inhibidor, no lo saque, ya que el inhibidor evita la oxidación. Además, contiene pequeñas partículas metálicas que ayudan a romper la capa de óxido del conductor.
- En conductores de aluminio, use un cepillo de acero inoxidable para limpiar el óxido e inmediatamente después inserte el conector en el conductor.
- Efectúe la compresión siguiendo las instrucciones del fabricante. En términos generales se debe empezar la compresión en una posición cercana al extremo del cable y seguir hacia el aislamiento. En el caso de los empalmes la primera compresión es en el centro y las subsecuentes hacia el extremo de afuera (hacia el aislamiento).
- Por lo general la información impresa en el barril del conector o zapata indica: calibre del conductor y tipo de cableado por ejemplo: "1/0 Str 2/0 Compt"; nombre del fabricante, logo y número de parte. Algunas veces indica el número del dado que se debe usar.
- Cuando en el instructivo del accesorio no venga indicada la combinación pinza/dado que se debe usar, pregunte al fabricante o a su distribuidor.
- Al operar la pinza (hidráulica o mecánica) asegúrese de completar el ciclo de apriete.

- Gire la pinza 90° entre indentaciones adyacentes para evitar la deformación en el barril del conector o que éste tome la forma de plátano.
- Una vez terminada la compresión, limpie el exceso de inhibidor que salió del barril del conector al comprimirlo, ya que puede degradar al aislamiento.
- Si, como resultado de la compresión, resultan picos filosos en el conector, deberá eliminarlos con una lima fina. Antes de limar deberá protegerse adecuadamente tanto el conductor como el aislamiento del cable para evitar dañarlos.

6.3.6 Instalación del accesorio sobre el cable

Antes de proceder a la instalación del accesorio inspeccione el cable y colóquelo en posición. El aislamiento deberá estar libre de elementos contaminantes.

- Con las manos limpias, lubrique la superficie del aislamiento con una capa fina y uniforme del lubricante suministrado en el kit del fabricante. Lubrique también la parte interior del accesorio
- Siguiendo las instrucciones del fabricante, coloque una marca con cinta aislante en el lugar hasta donde debe introducirse el accesorio.
- Deslice el cuerpo del accesorio sobre el cable usando un ligero movimiento rotatorio hasta llegar a la marca previamente señalada.
- Quite la cinta aislante usada para marcar la posición definitiva del accesorio y limpie el exceso de lubricante que haya sido expulsado al colocar el accesorio.

6.3.6.1 Conexión a tierra de las pantallas metálicas

Por cuestiones de seguridad, las pantallas metálicas deben estar aterrizadas a tierra por lo menos en un punto, y el diseño, construcción, operación y mantenimiento deben basarse en el principio de que el voltaje de la pantalla metálica debe ser considerado de manera importante para evitar accidentes. Aunque a decir verdad, el método que proporciona una mayor seguridad en una instalación de cables es el aterrizaje de las pantallas en dos o más puntos,

ya que no existe un voltaje neto inducido en ellas, aunque esto signifique que por las pantallas circulará una corriente que se traduce en calor que produce pérdidas. Para la conexión de dichas pantallas, debe considerarse lo siguiente:

- Siguiendo las instrucciones del fabricante, la pantalla metálica deberá ser conectada al sistema de tierra ya sea directamente o con ayuda de un adaptador.
- En el caso de los empalmes de cables de media tensión (5 – 35 [kV]), y en casos específicos de cables de alta tensión, las pantallas metálicas deben ser conectadas entre sí para asegurar su continuidad.
- Para empalmes o codos premoldeados de media tensión (5-35 [kV]), su carcasa (cuerpo exterior) debe conectarse a tierra a través de un alambre de cobre para asegurar la condición de “frente muerto”.

Los dos aspectos mencionados deben de evaluarse para tomar un punto medio que permita que el sistema sea beneficiado, sin embargo, en todo momento debe de protegerse la integridad física de quien manipula directamente al cable que ya ha sido instalado, aunque ello implique mayores pérdidas eléctricas.

El hecho de permitir que circule corriente a través de la pantalla metálica de un cable genera pérdidas que reducen la ampacidad del cable en función de la magnitud del voltaje inducido y de la resistencia de la propia pantalla. Sin embargo, si no se conecta la pantalla metálica del cable a tierra, pueden aparecer voltajes peligrosos en la pantalla, lo cual, como ya se mencionó, implica un riesgo para el personal que maneja el cable.

Los sistemas de puesta a tierra son componentes importantes de los sistemas eléctricos, puesto que deben permitir la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas no deseadas, originadas por las fallas en los equipos del sistema eléctrico y las producidas por las descargas atmosféricas. Deben poseer una capacidad de dispersión sin que se presenten potenciales peligrosos en la superficie del suelo que puedan dañar los equipos eléctricos y poner en riesgo la seguridad de los trabajadores. Por razones de seguridad en sistemas subterráneos las pantallas metálicas de los conductores deben estar siempre puestas a tierra al menos en un punto con el objeto de limitar las tensiones inducidas (55 V. NOM-001-SEDE-1999). Parte importante en el proceso de limitar las tensiones inducidas lo constituye la resistencia de puesta a tierra, cuyos valores no deben exceder de 5 en épocas de lluvia y de 10 en temporada de estiaje respectivamente, según se indica en el procedimiento para la revisión, supervisión y construcción de redes subterráneas.

Uno de los elementos principales en una instalación de una red de tierras es el electrodo de puesta a tierra o también conocida como electrodo de tierra. La resistencia del electrodo de puesta a tierra, tiene tres componentes.

- Una es su propia resistencia, la cual puede ser despreciable para efectos de cálculo. Pero las conexiones entre electrodo y conductor de bajada pueden llegar a tener una resistencia considerable con el tiempo.
- La resistencia de contacto entre electrodo y suelo, cuando el electrodo está libre de grasa o pintura, es despreciable. Sin embargo la resistencia de contacto puede aumentar significativamente en terrenos secos, aumentando rápidamente cuando el contenido de humedad disminuye por debajo de un 15%.
- La resistencia del terreno alrededor del electrodo. Introduciendo un electrodo en un terreno uniforme, la corriente se dispersará uniformemente alrededor del electrodo. La resistividad del terreno varía ampliamente según su composición y zonas climáticas, también varía estacionalmente, debido a que la resistividad se determina en gran proporción por el contenido de electrolito, consistente de agua, minerales y sales.

Adicionalmente también varía con la temperatura. Algunos valores típicos de resistividades de suelos se resumen en la tabla siguiente:

Tipo de suelo	Resistividad (Ωm)
Arcilla	2-100
Arena y grava	50-1000
Piedra caliza de superficie	100-1000
Piedra caliza	5-4000.
Esquisto o pizarra	5-100
Piedra arsenica	20-2000
Granito, basalto	1000

Tabla 36. Tipo de suelo vs resistividad

El valor de resistividad del terreno debe obtenerse con base en mediciones, las cuales se recomienda realizarlas en épocas de estiaje. También es importante considerar la reducción de los valores de resistencia de conexión a tierra, y se

mencionan algunos métodos que se usan para mejorar los valores de resistencia de puesta a tierra.

a) Electrodo profundos.

Cuando el terreno es penetrable se puede usar este método para mejorar el valor de resistencia a tierra.

b) Electrodo múltiples en paralelo.

Cuando se tienen valores de la resistividad del terreno de las capas superiores más baja que la de las capas más profundas o en casos donde no se puedan obtener las profundidades adecuadas de los electrodos de tierra, se recomienda el uso de dos o más electrodos en paralelo.

c) Contra-antenas. En terrenos donde no es posible la penetración de electrodos teniéndose un manto delgado de suelo sobre el subsuelo de roca, se recomienda el uso de conductores enterrados a baja profundidad a lo largo de zanjas construidas específicamente para contener al conductor.

d) Hormigón armado.

El hormigón armado puede considerarse como electrodo metálico inmerso en un medio razonablemente homogéneo (el hormigón), cuya resistividad está en el orden de los 30 Ωm . El hormigón, a su vez está inmerso en el terreno, cuya resistividad puede variar desde 1 hasta 1000 Ωm . La relación de resistividades de hormigón y terreno determina la resistencia de dispersión de la tierra resultante.

e) Reducción de la resistividad del suelo mediante procedimientos artificiales.

En algunos terrenos con alta resistividad, las prácticas de los métodos resumidos anteriormente pueden resultar prácticamente imposibles de aplicar para obtener valores de resistencia de conexión a tierra aceptables. En estos casos puede resultar aceptable el uso de procedimientos para reducir artificialmente la resistividad del terreno que circunda al electrodo de tierra. La resistencia de conexión a tierra es afectada principalmente por cuatro factores: la resistividad del suelo, la longitud, el número de electrodos y el espaciamiento entre ellos. Las resistencias de conexión a tierra en situaciones críticas pueden mejorarse por varios métodos, utilizando electrodos más largos, ya que usualmente reducen la resistencia de conexión a tierra.

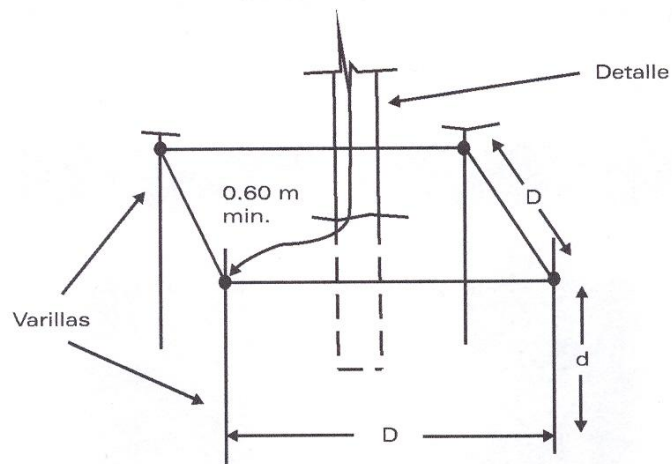


Figura 66. Conexión a tierra

Para el caso de la conexión a tierra de las pantallas metálicas, existen métodos que pueden reducir las pérdidas eléctricas en el cable de energía:

- **Conexión en un solo punto:** Las pantallas se conectan a tierra en uno de los extremos del circuito, interrumpiendo la circulación de corrientes, pero abriendo la posibilidad de que se generen voltajes peligrosos en el extremo que no ha sido conectado a tierra. En éste caso se recomienda el uso de limitadores de voltaje en el extremo en el que el sistema no está aterrizado.

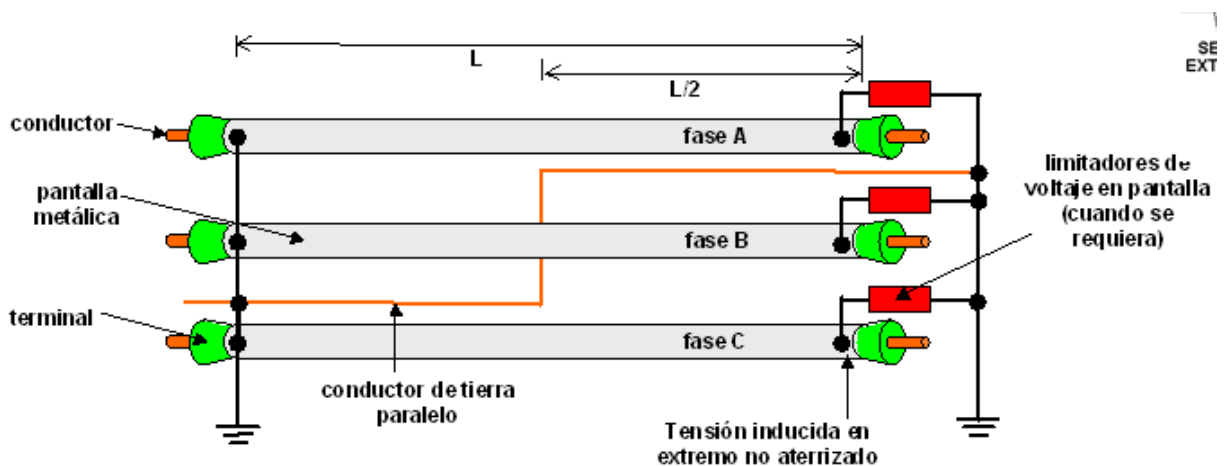


Figura 67. Aterrizaje de pantallas en un solo punto
Fuente: Condumex. Programa de cálculo de tensiones inducidas

- **Conexión Cross-Bonding:** En la figura correspondiente se muestra ésta forma de conexión, que consiste en intercambiar las pantallas entre las fases, en los empalmes a $1/3$ y $2/3$ de la longitud total de la instalación. De éste manera cada una de las pantallas metálicas es sometida a tres flujos magnéticos opuestos a 120° , por lo cual las corrientes que se indican son muy bajas.

- Para lograr que la corriente inducida en cada pantalla sea igual a cero, los puntos de intercambio de las pantallas deben dividir a la instalación en tres partes de igual longitud, y la configuración de los cables debe ser triangular equilátera o plana con transposición física de fases en los puntos de *cross-bonding*. Para que esto sea posible, los empalmes deben ser interrupción de pantalla semiconductora externa.

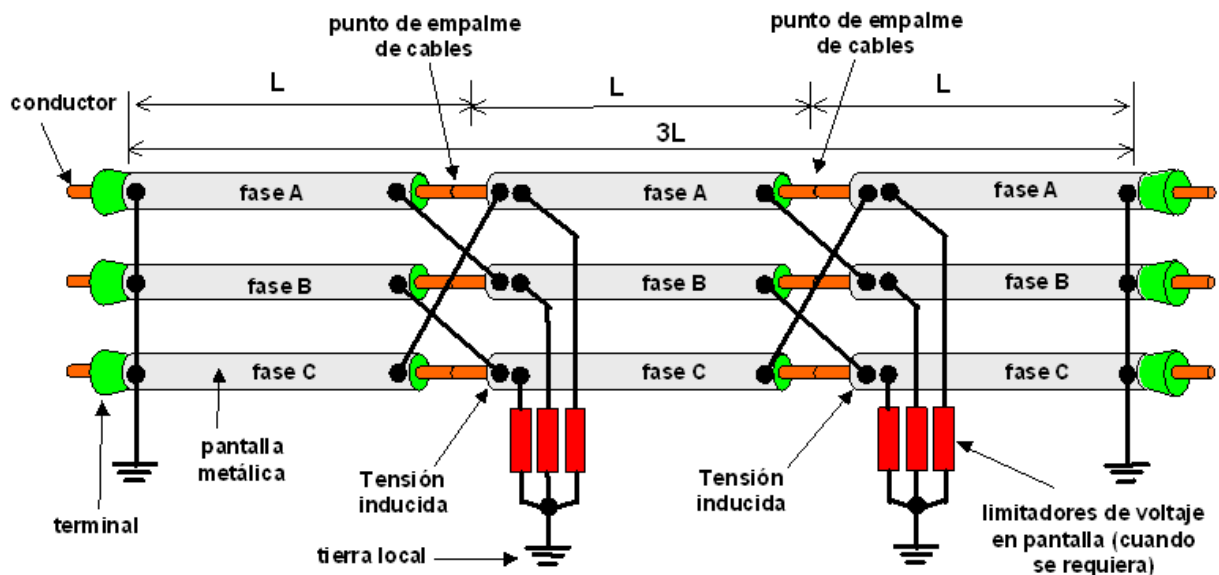


Figura 68. Conexión *Cross-Bonding*

Fuente: Condumex. Programa de cálculo de tensiones inducidas

Cuando se presenta una falla de fase a tierra en la carga de sistemas aterrizados, la corriente de corto circuito va a regresar al transformador de alimentación por todos los caminos paralelos que existan. Cuando las pantallas se aterrizan en dos ó mas puntos ó en el caso del *cross-bonding*, el camino más importante de regreso de las corrientes de corto circuito son las pantallas metálicas de los cables. Para evitar que las pantallas resulten dañadas se deben calcular de tal forma que puedan transmitir ésta corriente de corto circuito, la cual se va a dividir entre las pantallas de las tres fases

Si se presenta una falla en un cable, en un empalme, o en una terminal, en un sistema aterrizado, la corriente de corto circuito va a circular por la pantalla metálica hacia sus conexiones a tierra. Si las pantallas están aterrizadas en un solo punto, la pantalla del cable fallado tiene que transmitir toda la corriente de corto circuito. En el caso de pantallas aterrizadas en dos o más puntos o con *cross-bonding*, la corriente se va a dividir circulando hacia las dos conexiones a tierra de las pantallas. Si no se quiere reemplazar el tramo de cable completo cuando se presente una falla de este tipo, se debe dimensionar cada pantalla para que soporte toda la corriente de corto circuito de falla a tierra.

6.4 Medidas de seguridad

Para instalar accesorios (empalmes y terminales) en cables de energía con aislamiento extruido (XLPE ó EPR) de Media Tensión (5-46 [kV]) o de Alta Tensión (69-161 [kV]), se deben tomar en cuenta todas las indicaciones arriba señaladas.

Como recomendaciones particulares deben seguirse, como mínimo, las siguientes:

- 1) El personal que se va a encargar de elaborar el accesorio debe ser calificado, tanto en la parte técnica, como en los aspectos de seguridad aplicables.
- 2) Se debe contar con el equipo y la herramienta especiales para este tipo de trabajo.
- 3) Se debe verificar que el accesorio que se va a instalar sea el adecuado para el cable.
- 4) Se debe verificar que el accesorio no esté caducado; esto quiere decir que su fecha de caducidad no se haya vencido y, aunque esté vigente, deberá revisarse cuidadosamente para verificar su estado físico y si el kit trae todas las piezas que indica el instructivo.
- 5) Hay que seguir fielmente y “paso a paso” el instructivo del fabricante.
- 6) Al hacer los diferentes cortes que se requieren, hay que tener mucho cuidado para no lastimar a los otros componentes del cable, principalmente al aislamiento.
- 7) La limpieza del aislamiento es de primordial importancia, utilizando solamente los solventes aprobados.
- 8) Hay que conectar adecuadamente la pantalla metálica al sistema de tierras, ya que de esto depende la correcta operación del cable.

6.5 Terminales

El uso de terminales en los sistemas eléctricos subterráneos tiene como función reducir y controlar los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento al interrumpir y retirar la pantalla sobre el aislamiento, así como brindar al cable una distancia de fuga aislada adicional y hermeticidad.

Su funcionamiento está soportado por el control de esfuerzo que se puede lograr por medio materiales especiales y se complementa con distancias de fuga adecuadas y elementos que proporcionan hermeticidad en la terminación del cable.



Foto 33. Terminales en subestación

Fuente: ConduMex. Instalación, montaje, conexiones y pruebas de cables de energía de alta tensión

6.5.1 Clasificación y normatividad

Las terminales se clasifican de acuerdo a los elementos funcionales que proporcionen, es decir, de acuerdo a su operación, por lo cual se clasifican de la siguiente manera:

6.5.1.1 Terminal clase I

Éste tipo de terminales son generalmente de porcelana, y su dispositivo para el control de los esfuerzos eléctricos es de tipo interconstruido, elastomérico o encintado.

- Cono de alivio metálico preformado. Tiene como función controlar el esfuerzo eléctrico que se presenta sobre el aislamiento del cable en la zona donde se retira el blindaje electrostático. El cono de alivio está integrado al cuerpo de la terminal, logrando contacto eléctrico y soporte mecánico.
- Aislador de porcelana. Su principal función es brindar al cable una distancia adicional de fuga aislada y, por el material con el que está hecho, es utilizable en lugares de ambiente muy contaminado.

- Base y elementos de sello. Éstos materiales tienen el objetivo de proporcionar al sistema cable-terminal una hermeticidad total, con la finalidad de que el fluido aislante contenido dentro de la terminal no escape.

Éste tipo de terminal contiene todos los elementos que han de instalarse, con excepción del conector interior que tiene que colocarse en el conductor del cable antes de insertarlo en la terminal.

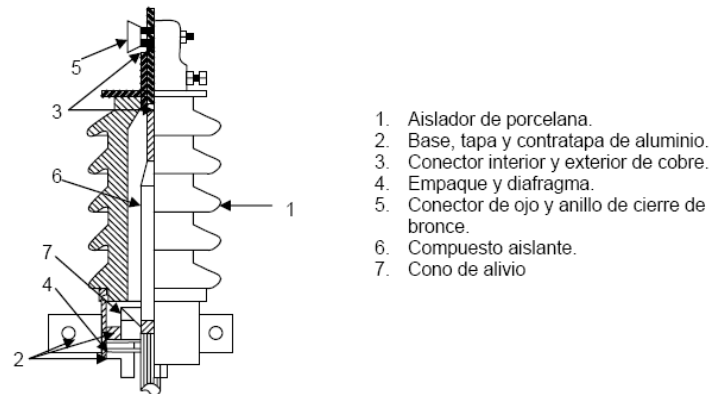


Figura 69. Detalle constructivo de la terminal tipo bayoneta instalada en cable con aislamiento extruído

Fuente: *Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13*

6.5.1.2 Terminal clase II

Éste tipo de terminales generalmente son premoldeadas, termocontráctiles o encintadas.

- Cono de alivio premoldeado. Cuenta con dos materiales elastoméricos, uno de características aislantes y otro con características semiconductoras, que son unidos en el proceso de fabricación a fuerza de presión y temperatura, con lo que se asegura una unión total y se elimina la posibilidad de burbujas de aire en el cuerpo aislante. Tiene como función controlar los esfuerzos que se presentan sobre el aislamiento del cable al retirar el blindaje electrostático.
- Campanas premoldeadas. Está construido de material elastomérico aislante, que tiene entre sus propiedades más importantes una alta resistencia a la formación de trayectorias carbonizadas, y una alta resistencia a las radiaciones solares a la que está expuesto cuando ha sido instalado. Las campanas aislantes ofrecen una distancia adicional de fuga aislada, cuyo número está determinado por la tensión de los cables, de la misma manera existe protección contra la humedad.

Otros dos elementos que juegan un papel muy importante en las terminales de clase II se tiene el conector universal y el sello semiconductor.

El conector universal se instala en el cable conductor y forma parte del enlace entre el cable aislado y la conexión del equipo o línea aérea, asimismo cuenta con un diseño que integra un reborde que impide que el capuchón semiconductor se deslice y abandone su lugar.

Por su parte, el sello semiconductor consiste en una pieza elastomérica premoldeada, que tiene como función eléctrica la de homogeneizar el campo eléctrico presente en el extremo del conductor-conector, y la función mecánica consiste en proporcionar un sello contra el ingreso de humedad a la región en donde se retira el aislamiento evitando un deterioro de éste por dicha humedad.

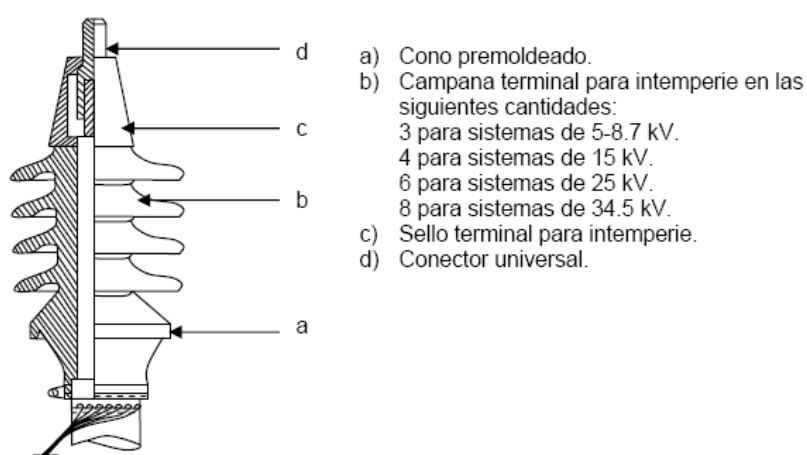


Figura 70. Arreglo descriptivo de la terminal modular para interperie

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13

6.5.1.3 Terminal clase III

El elemento principal de ésta terminal es básicamente un cono de alivio, que está construido de materiales elastoméricos premoldeados, uno de ellos es de características aislantes y el otro de características semiconductoras, que se unen mediante un proceso de fabricación. El cono de alivio permite que el cable en que se instale el control de los esfuerzos que se presentan al retirar el blindaje electrostático sobre aislamiento, en el caso de la distancia de fuga necesaria para la terminal, se obtiene con el espacio libre de aislamiento entre el conductor y el corte de la pantalla.

Éste tipo de terminales está diseñado para utilizarse solamente en interiores, que no esté en contacto con el medio ambiente y expuesto a radiaciones solares.

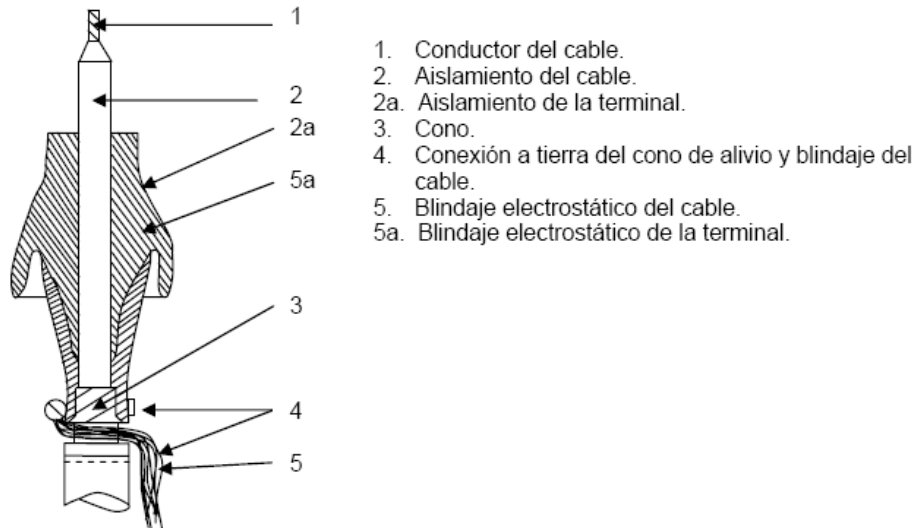


Figura 71. Detalle constructivo de la terminal para uso en interiores

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13

6.5.2 Métodos para reducir el esfuerzo eléctrico sobre el aislamiento del cable en el punto de corta de las pantallas

Existen tres técnicas para la reducción del esfuerzo eléctrico sobre el aislamiento del cable, ya que en el momento en el que se retira el blindaje electrostático del cable, comienzan a presentarse sobre el aislamiento éstos esfuerzos eléctricos que son indeseables.

6.5.2.1 Método geométrico (cono de alivio)

Consiste en dar una continuidad al blindaje electrostático con el diámetro ampliado, lo cual puede lograrse mediante la aplicación de cintas, elastómero o metálico preformado, de ésta manera los esfuerzos eléctricos se distribuyen, cabe señalar, que la expansión del diámetro depende directamente de la clase de aislamiento del sistema que se utilice.

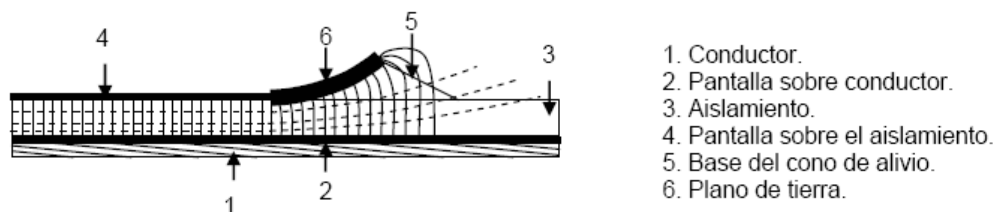


Figura 72. Control de esfuerzos eléctricos por medio del cono de alivio

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13

6.5.2.2 Método de la resistividad variable

La técnica consiste en una combinación de materiales resistivos y capacitivos que se encargan de amortiguar los esfuerzos al cortar la pantalla, obteniendo una disminución en el esfuerzo sobre el aislamiento del cable, dichos materiales son: cintas, pastas o materiales termocontráctiles.

6.5.2.3 Método capacitivo

Consiste en controlar los esfuerzos eléctricos sobre el aislamiento por medio de materiales aislantes con una constante dieléctrica alta, y que conservando sus características aislantes, refractan las líneas del campo en la región adyacente al corte de la pantalla del cable.

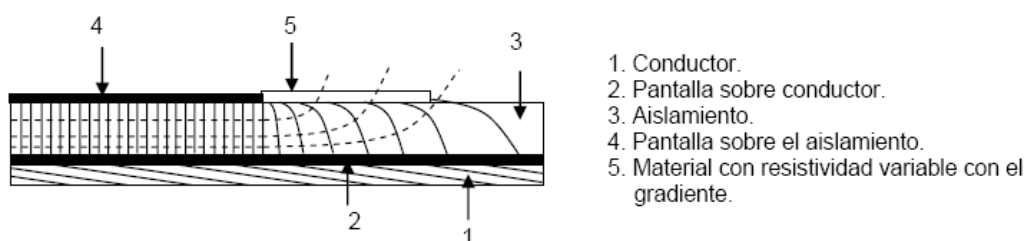


Figura 73. Control de esfuerzos eléctricos por los métodos de resistividad variable y capacitivo

Fuente: *Condux. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13*

6.6 Empalmes

Un empalme es la conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen un cable de potencia aislado, protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcasa.

La confiabilidad de un empalme depende de la calidad de los materiales empleados, el diseño y la obra de mano de instalación. Los materiales deben estar fundamentados en pruebas de evaluación, en donde se establezca niveles de esfuerzos dieléctricos aceptables.

6.6.1 Operación

El diseño de los empalmes debe estar respaldado en que los materiales utilizados para su construcción sean compatibles con los elementos constitutivos del cable que se va a unir, y dichos materiales deben efectuar satisfactoriamente la función que desempeñan sus homólogos en el cable.

En un empalme debe asegurarse que el gradiente de esfuerzos presentes sea soportado por los materiales utilizados. Mientras el cable no pierda su

continuidad, los gradientes de tensión propios se indican en la tabla, sin embargo, en la unión se tiene un cambio en el campo eléctrico.

SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR		GRADIENTE DE TENSIÓN MÁXIMO EN EL AISLAMIENTO (volts/mm)		
		(1)		
		15 [kV] (t=4.45mm)	25 [kV] (t=6.60mm)	35 [kV] (t=8.76mm)
35mm ²	(2 AWG)	2717	3583	
50mm ²	(1/0 AWG)	2520	3268	3898
	(4/0 AWG)	2283	2992	3425
240mm ²	(500 MCM)	2087	2638	2874
500mm ²	(1000 MCM)	1969	2441	2795
		(2)		
		15 [kV] (t=4.45mm)	25 [kV] (t=6.60mm)	35 [kV] (t=8.76mm)
35mm ²	(2 AWG)	1142	1220	
50mm ²	(1/0 AWG)	1181	1299	1299
	(4/0 AWG)	1299	1417	1471
240mm ²	(500 MCM)	1417	1535	1437
500mm ²	(1000 MCM)	1457	1654	1693

(1) Sobre el conductor

(2) Bajo la pantalla electrostática

t= espesor del aislamiento

Tabla 37. Gradiente de tensión en cables con aislamiento extruido

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 14

6.6.2 Clasificación

Los empalmes también están clasificados por los materiales utilizados y sobre todo en la forma en cómo se aplican para restituir el aislamiento de los cables que se van a unir.

La adecuada selección de un empalme es fundamental para un sistema de cables, por lo que deben tomarse en cuenta algunos puntos para su selección, que están basados en que el empalme debe de cumplir con las exigencias del cable que se instala, por lo que hay que saber su construcción y dimensiones. Los datos básicos para la selección del empalme son:

- a) Empalme recto o derivación
- b) Clase de aislamiento del sistema
- c) Cable monofásico o trifásico
- d) Calibre del conductor indicado si es redondo normal o redondo compacto
- e) Material del conductor (cobre o aluminio)
- f) Construcción de blindaje del cable sobre aislamiento
 - i. Semiconductor extruido y neutro concéntrico
 - ii. Semiconductor extruido y cintas de cobre traslapadas

- iii. Semiconductor extruido, cintas de cobre y forro plomo
 - iv. Semiconductor a base de cinta y cintas de cobre traslapadas
- g) Si se requiere protección exterior adicional

De la misma manera, a continuación se presentan los tipos de empalmes utilizados en la instalación de cables de energía:

- Encintados
- Premoldeados (uniones rectas)
- Moldeados en campo
- Termocontráctiles
- Contráctiles en frío

6.6.2.1 Encintados

Los empalmes encintados son aquellos en los que la reconstrucción de los diferentes componentes del cable se llevan a cabo enrollando cintas en forma sucesiva hasta obtener todos los elementos del cable, con excepción del conductor. Las cintas deben de ser del tipo autovulcanizable o no vulcanizable, que no contienen adhesivo. Dependiendo del elemento a restituir, se determinan las características físicas y químicas que van a tener las cintas utilizadas en la elaboración de un empalme de éste tipo.

Para lograr una mejor operación del sistema cable-empalme, se requiere proporcionar encapsulados de sistemas epóxicos o compuestos fluidos, como sucede con los cables de aislamiento de papel impregnado, el cual está en desuso.

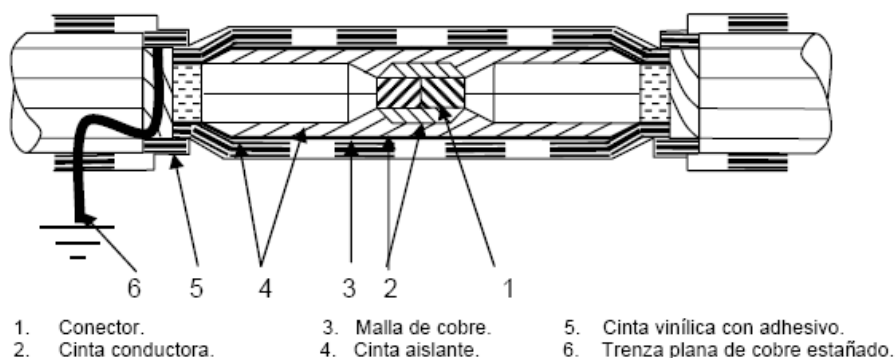


Figura 74. Detalles constructivos de empalmes encintados en cable monofásico con aislamiento extruido

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 14

6.6.2.2 Premoldeados (uniones rectas)

Éste tipo de empalmes consiste en que los componentes son moldeados por el fabricante mediante materiales elastoméricos, dichos componentes se ensamblan sobre los cables en el lugar de la instalación. Los criterios de diseño los empalmes son diversos, ya que algunos fabricantes los elaboran en forma integral de tal modo que todos los elementos elastoméricos se encuentran contenidos en una sola pieza, otros fabricantes utilizan varias piezas para obtener el empalme total. Es importante mencionar que los empalmes se construyen en sus dimensiones de acuerdo a las características del cable en el que se va a instalar.

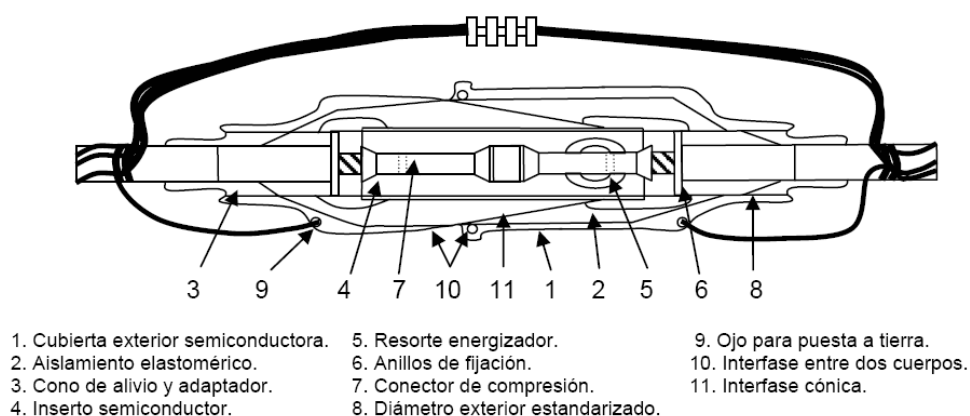


Figura 75. Empalme premoldeado

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 14*

6.6.2.3 Termocontráctiles

Los empalmes termocontráctiles son aquellos en que los componentes se aplican en el cable que se va a unir, mediante el uso de materiales con características retráctiles por la acción del calor aplicado por un equipo diseñado para tal efecto, su diseño por lo general tiene integrado en una sola pieza el blindaje semiconductivo del conductor-conector, el aislamiento y el blindaje semiconductivo de aislamiento. Cuando se tiene que hacer la reposición de la cubierta exterior del empalme se utiliza un tubo termocontráctil, la cual queda perfectamente aplicada mediante el suministro del calor.

6.6.2.4 Contráctiles en frío

Los empalmes contráctiles en frío tienen la característica de que se reúnen en un solo cuerpo todos los elementos que reconstruyen las partes del cable. Desde la jaula de *Faraday* integrada al cuerpo aislante en el punto que queda sobre el conector, diseñada para evitar la posible ionización dentro del empalme, los controladores de esfuerzos eléctricos, el cuerpo aislante con el

espesor y longitud apropiada para el nivel de aislamiento, pantalla electrostática metálica y la cubierta exterior.

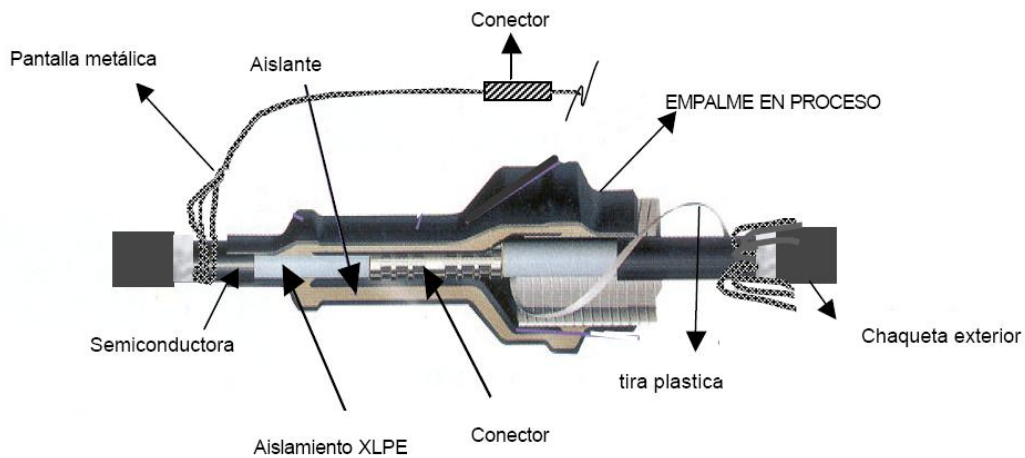


Figura 76. Empalme contráctil en frío

Un empalme contráctil en frío, bien se puede describir como “todo en uno”, ya que como principal característica de instalación se tiene que el empalme está expandido sobre una espiral que se va retirando gradualmente con un suave jalado permitiendo la contracción sobre los cables que se van a empalmar. La tecnología contráctil en frío permite la sencilla extracción del tubo soporte del cuerpo, lo cual reduce los tiempos empleados por el instalador, una disminución de errores de extracción y una instalación más limpia.

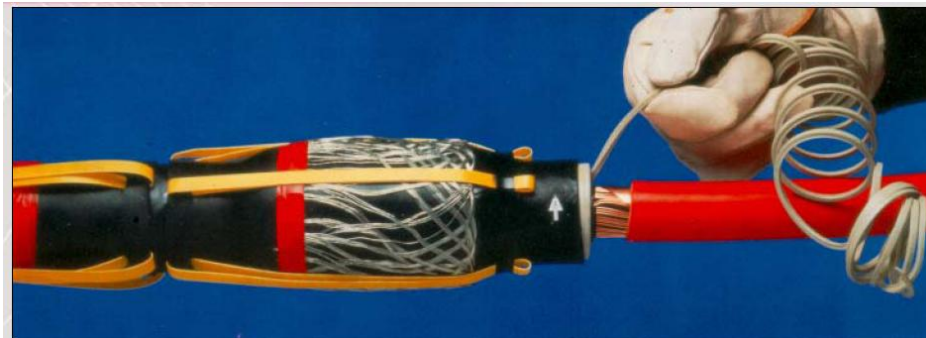


Foto 34. Instalación del empalme contráctil en frío

6.7 Conectores aislados separables

Un conector aislado separable es aquel elemento que se utiliza para llevar a cabo la unión eléctrica de un cable de energía aislado a un aparato eléctrico u otros cables de energía, o ambos, de tal forma que la conexión pueda ser establecida o interrumpida fácilmente, acoplando o separando las partes de unión del conector en la interfase o interfases operativas.

6.7.1 Operación

El conector aislado separable tiene dos características fundamentales, la primera es que una vez que ya ha sido incorporado al conjunto, queda un sistema de frente muerto, y la segunda es que el ensamble se logra a través de interfaces operativas que están normalizadas, por lo tanto existe la posibilidad de intercambiar partes aunque éstas sean de diferentes fabricantes.

Éste accesorio puede ser agrupado de acuerdo a la función que desempeñan sus componentes, que se dividen en:

- a) Conductor. Elemento realiza la conducción de la energía entre dos de los componentes del conector aislado separable, o bien, entre el cable o equipo y el elemento del conector aislado.
- b) Blindaje interno. Su función es la de hacer uniforme el campo eléctrico en la zona de transición de dos o más componentes del conector y asegurar que el aislamiento correspondiente quede expuesto a un esfuerzo eléctrico que esté uniformizado.
- c) Aislamiento. Su función es soportar el esfuerzo eléctrico presente en el sistema.
- d) Blindaje exterior. Su función es la de confinar el esfuerzo eléctrico presente en el conjunto y también la obtención de sistemas de frente muerto, al estar todos los componentes del conector aislado separable interconectados entre sí y aterrizados, proporcionando seguridad para el personal que opera los sistemas que se instalen.

Uno de los puntos más interesantes de los conectores aislados del tipo de operación con carga tiene que ver con la extinción del arco que se presenta cuando se efectúan operaciones de conexión o desconexión con carga, dicha extinción del arco se da en uno y medio ciclos. Por otro lado, los conectores deben de satisfacer:

- a) Cerrado debe ser un conductor ideal
- b) Abierto debe ser un aislador ideal
- c) Cerrado debe ser capaz de interrumpir la corriente para la que fue diseñado en cualquier instante, sin producir sobretensiones peligrosas.
- d) Abierto debe ser capaz de cerrar rápidamente en cualquier instante, incluso bajo condiciones de cortocircuito, sin que se suelden los contactos por altas temperaturas.

La interrupción del arco depende de varios factores, uno de los cuales es la separación de los contactos. Básicamente, si esta separación es menor que la distancia nominal para mantener la resistencia de aislamiento una vez interrumpida la corriente, después del primer cero en el valor de la corriente se

puede provocar un arqueo. En un conector aislado separable, pueden presentarse tres modos de falla durante la conmutación:

- a) Falla en soportar la tensión del circuito entre los contactos, mientras el operador pone en posición el seguidor en la cavidad, al preparar una operación de conexión con carga.
- b) Falla en interrumpir la corriente en una operación de desconexión con carga.
- c) Falla en mantener rigidez dieléctrica entre contactos energizados y tierras adyacentes, después de que la corriente ha sido interrumpida.

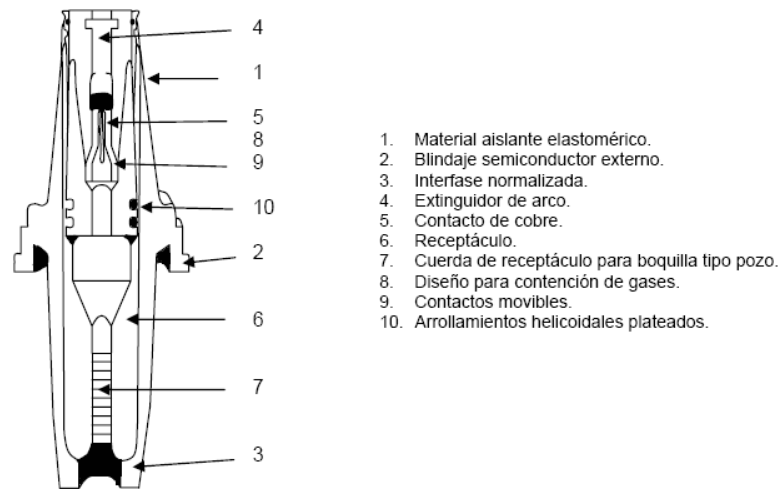


Figura 77. Corte de inserto para operación con carga

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 15

6.7.2 Clasificación

Los conectores aislados separables se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Por las características de desconexión, entre los que se encuentran los conectores desconectables con carga y desconectables sin carga
- b) Por su corriente nominal, que se tienen hasta para 200 [A], 400 [A] y 600 [A]. Los sistemas para 400 [A] son generalmente utilizados en Europa
- c) Por su tensión máxima, según el circuito ya sea monofásico o trifásico:
 - i. 8.3 [kV] fase a tierra
 - ii. 8.3/14.4 [kV] fase a tierra / entre fases
 - iii. 15.2 [kV] fase a tierra
 - iv. 15.2/26.3 [kV] fase a tierra / entre fases
 - v. 21.1. [kV] fase a tierra
 - vi. 21.1/36.6 [kV] fase a tierra / entre fases

La función de los cada uno de los elementos del conector aislado separable es lo que define la geometría y material con que se fabrica.

A continuación se mencionan algunos de sus componentes y la función que desempeñan:

- a) Boquillas para integrar el equipo. Su función es la de servir de enlace entre el embobinado primario del transformador, o con la terminal del equipo en que se encuentre instalada y el resto de los componentes de los conectores.

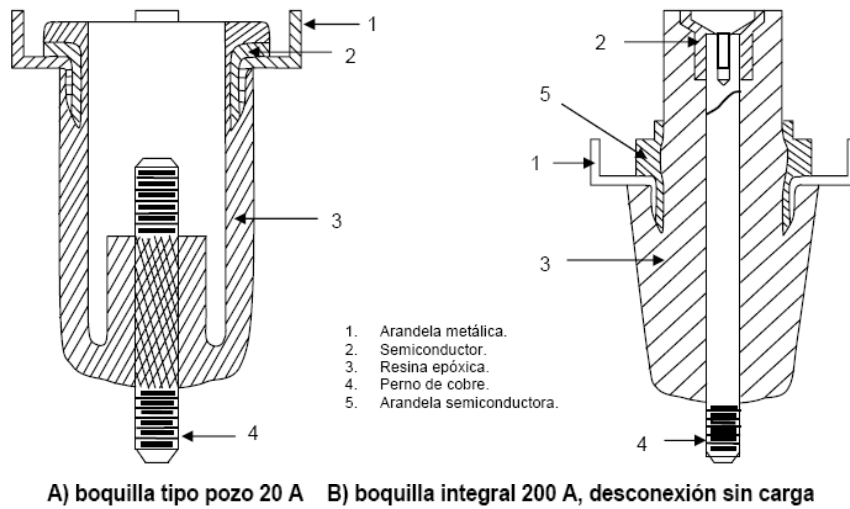


Figura 78. Ejemplos de boquillas para equipo

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 15*

- b) Componentes tipo inserto. Hay varios tipos de diseño, su función general es la de servir de enlace entre dos o más elementos del sistema.

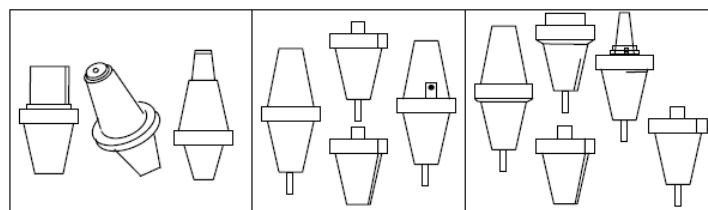


Fig. 15.3 Diferentes construcciones de insertos. En la parte superior se ilustran algunos para 600 A y, en la inferior, para 200 A

600 A y, en la inferior, para 200 A

Figura 79. Diferentes construcciones de insertos

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 15*

6.7.3 Intercambiabilidad

Uno de los puntos más importantes en los sistemas de conectores aislados, tiene que ver con su intercambiabilidad. Esta propiedad permite una mayor confiabilidad, reducción de las partes de repuesto y los costos ya que todo está normalizado. La intercambiabilidad cuanta con las siguientes áreas de acción:

- a) Interfase codo-inserto
- b) Interfase codo-codo
- c) Distancias de preparación del cable
- d) Dimensiones del conector interno, ancho y longitud
- e) Longitud de inserto macho del codo.

El conector aislado separable de operación con carga fue inicialmente desarrollado para seccionalizar transformadores y ramas monofásicas, pero debido al aumento del uso de cables con aislamiento extruido en sistemas trifásicos, también los conectores se han diseñado para conectores de operación con carga en sistemas trifásicos.

Por lo tanto, deben seguirse algunas recomendaciones para la aplicación de los conectores aislados separables de operación con carga:

- a) La tensión nominal de fase a tierra del conector no debe ser rebasada cuando el conector está cerrado o abierto.
- b) La tensión de recuperación no debe exceder los límites de tensión entre fase y tierra para conectores, para un solo valor.
- c) La tensión de recuperación no debe exceder los límites de tensión entre fase y tierra para conectores con dos valores.

Para la adecuada aplicación de los conectores de operación con carga, se deben conocer las tensiones que se presentan a través de los contactos abiertos y entre el contacto del conector y tierra durante las operaciones de cierre y apertura de la carga, de cierre contra falla y durante condiciones del sistema.

Por otro lado, las tensiones de recuperación y las de fase y tierra en un sistema trifásico dependen de:

- a) Tensión del sistema
- b) Conexión del transformador y tipo de núcleo
- c) Conexión de la carga del transformador
- d) Tipo de conexión a tierra del sistema
- e) Tipo de seccionalización
- f) Tipo de falla y localización de la misma

6.7.4 Terminales (codos)

Se utilizan para hacer la integración del cable al sistema del conector aislado separable, de esta forma es posible la interconexión de los cables al equipo, entre varios cables.

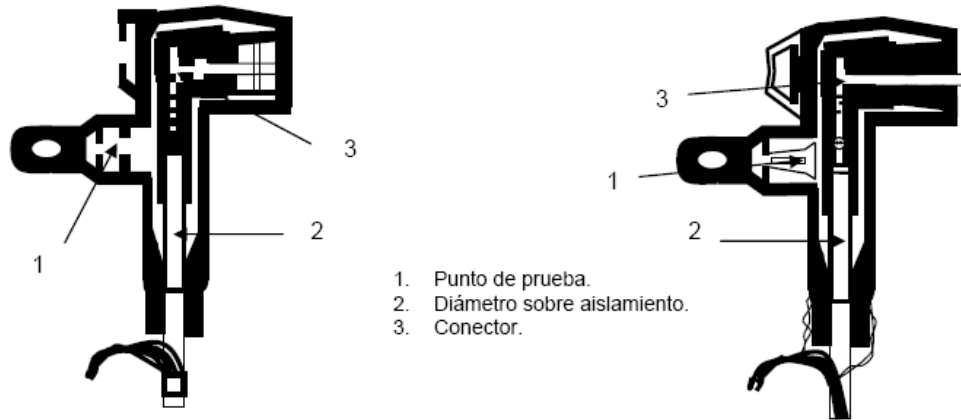


Fig. 15.4 CAS tipo codo, 200 A; a la izquierda, uno para operación sin voltaje, y a la derecha, para operación con carga

Figura 80. Conectores Aislados Separables

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 15*

6.7.5 Uniones múltiples (derivadores múltiples)

El diseño de los conectores derivadores tiene la facilidad de derivar conductores sin necesidad de cortar el conductor principal, y por lo tanto, se elimina la necesidad de retirar el aislamiento a los cables antes de la instalación, lo cual se traduce en una reducción en el tiempo de instalación.

Para aplicaciones en las que se requiere por diversas circunstancias hacer un número mayor de conexiones en un espacio menor, por mencionar una razón, se recurre a los conectores con derivaciones múltiples, en donde se utilizan cuerpos en T, o en Y en un arreglo modular, con lo cual se tiene:

- a) Un menor número de elementos del arreglo ofrece una mayor seguridad
- b) Se requiere menos espacio para llevar a cabo el mismo arreglo

Con esto, se reemplazan los cuerpos de varios conectores y se agrupan en uno sólo, a partir del cual, se realizan derivaciones.

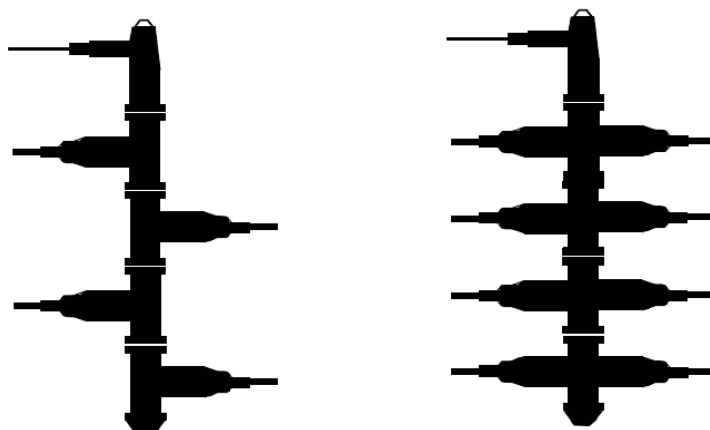


Figura 81. Conectores de uniones múltiples

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 15

6.8 Certificación de técnicos especializados (empalmadores o montadores)

En la actualidad, existe la urgente necesidad de especialización del personal que se dedica a la instalación de cables subterráneos, en éste caso específicamente a quienes realizan los empalmes. Realizar un accesorio como éste no requiere solamente de destreza y uso de la herramienta adecuada, sino sobre todo de personas con amplia experiencia y que tengan el conocimiento preciso de lo que significa la realización de empalmes.

Es difícil evaluar el desempeño de un empalmador de cables, sino hasta el momento justo en que terminan su trabajo, no existe hasta el momento otro mecanismo para ser calificado más que por la eficiencia de su labor, es por eso que es importante considerar la idea de certificar a los empalmadores, es un trabajo fundamental para que un sistema de cables que se instale trabaje correctamente.

6.8.1 Escuela de montadores

En éste caso, existen a nivel nacional diversas instituciones que pueden avalar que una persona está calificada para elaborar empalmes de manera correcta, establecer una normatividad que establezca las condiciones generales y características que debe de cumplir una persona para desempeñarse como empalmador en cualquier instalación eléctrica subterránea. Por ello, surge la propuesta de buscar métodos de evaluación, calificación y certificación de empalmadores, de manera que a nivel nacional se tenga un criterio de normalización y sobre todo se busca que las instalaciones eléctricas subterráneas tengan un mejor desempeño de servicio.

En los últimos años, ha sido creciente la necesidad de certificar a quienes desempeñan algún trabajo o profesión que exige un conocimiento bien definido y sobre todo amplia experiencia para resolver cualquier eventualidad, en éste caso de quienes se encargan de realizar el montaje de los cables. La instalación de cables de energía requiere de personal capacitado para desarrollar ese trabajo, y ante esa gran necesidad deben de existir instituciones que se encarguen de certificar que una persona está ampliamente capacitada para desarrollar un trabajo como éste.