

CAPÍTULO II. EL CABLE DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN (5-35 [kV])

En éste capítulo se mencionan de manera amplia las características de un cable de energía de media tensión, así como los elementos que lo componen y los materiales más comúnmente usados por los fabricantes.

2.1 El cable de energía de media tensión

Un cable de potencia es un dispositivo eléctrico utilizado para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro a una corriente y tensión determinadas. Por lo tanto, un cable aislado tiene como finalidad transportar energía, además de lograr que las pérdidas eléctricas que existan por causa de la transferencia de energía de un lugar a otro sean las mínimas posibles, esto es justamente lo que le da funcionalidad a una instalación. Cuando un conductor eléctrico aislado se conecta a una fuente de energía eléctrica, se ordena, orienta y acelera el movimiento de los electrones como causa del efecto del campo eléctrico. Los cables de potencia se clasifican de varias formas, y en este caso es útil clasificarlos por la tensión a la que operan, en éste caso específico, al tratar el tema de cables para media tensión, se está hablando de un rango de 1.1 [kV] hasta 35 [kV], mismo que es utilizado como referencia para la elaboración de éste trabajo.

Cabe señalar, que del nivel mencionado, los valores de diseño para la fabricación de cables de potencia son de 5, 8, 15, 25 y 35 [kV]. Para aclarar mejor éste punto, se tiene la siguiente tabla:

NIVELES DE ENERGÍA	RANGO	VALORES DE DISEÑO
BAJA TENSIÓN	300 [V] – 1.0 [kV]	440 [V]
MEDIA TENSIÓN	1.1 [kV] – 35 [kV]	5, 8, 15, 25 y 35 [kV]
ALTA TENSIÓN	69 [kV] – 161 [kV]	69, 115, 138, 161 y 170 [kV]
EXTRA ALTA TENSIÓN	230 [kV] – 500 [kV]	230, 345, 400 y 500 [kV]

Tabla 3. Valores comerciales de tensión

2.2 Elementos componentes del cable

En un cable de potencia, existen tres elementos principales:

- El conductor
 - Cobre recocido, desnudo o recubierto de una capa metálica.
 - Aluminio, o aleación de aluminio

- El aislamiento
 - Papel impregnado en aceite
 - Polietileno vulcanizado (XLPE)
 - Etileno propileno (EPR)

- Las protecciones
 - Contra daños de origen eléctrico
 - Capa semiconductora
 - Pantallas
 - Contra daños de origen mecánico
 - Cubierta (interior y exterior)
 - Armadura

En la figura 2 se observan cada una de las partes del cable de potencia descritas anteriormente, en donde se puede observar el orden y lugar que ocupan en la construcción del cable y que es imprescindible entender para posteriormente comprender el papel que desempeñan.

Asimismo, es importante señalar que cada elemento tiene propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas que deben de tomarse en cuenta para seleccionar el tipo de cable y diseñar el tipo de sistema que mejor satisfaga las necesidades de suministro.

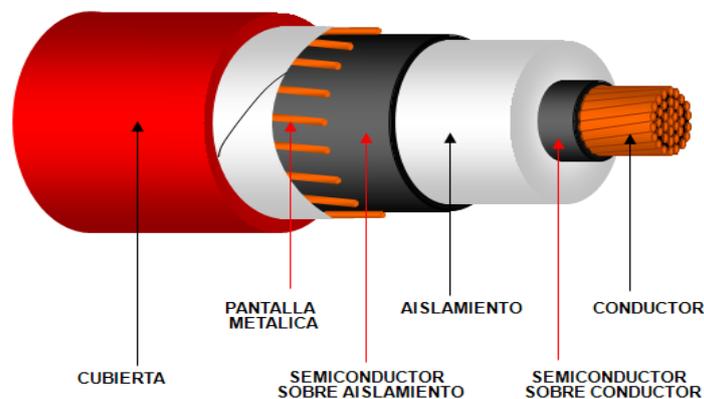


Figura 2. Elementos componentes de un cable de energía

Fuente: Condumex. Características de cables de energía de media y alta tensión.

2.2.1 El conductor

Un conductor es todo aquel material que permite el flujo de la corriente o de cargas eléctricas en movimiento sin mucha oposición. Es un elemento metálico que permite con facilidad el paso de corriente eléctrica, es decir, posee baja resistencia y alta conductividad.

Para efectos de un cable de potencia de media tensión solamente se utiliza cobre o aluminio, por lo cual a mayor área del conductor, mayor capacidad de transmisión de corriente eléctrica.

El conductor es un elemento importante en un cable de potencia y cumple la función de transportar la corriente de un extremo a otro del cable tratando de perder la menor cantidad de la energía transportada.

2.2.1.1 Formas y tipos de conductores

Existen cuatro principios fundamentales que deben de determinar la selección de un conductor para un cable de energía: el material, la flexibilidad, la forma y las dimensiones.

Como ya se mencionó, los materiales más comúnmente usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, entre los cuales existen métodos de comparación muy especiales. Esto se debe a que el cobre posee mejores condiciones eléctricas y mecánicas, sin embargo el aluminio tiene ventaja por su menor peso, pues su densidad de $2.70 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ es menor que la del cobre que tiene una densidad de $8.89 \text{ [g/cm}^3\text{]}$.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre diferentes materiales conductores:

Metal	Densidad g / cm ³	Temperatura de fusión °C	Coefficiente lineal de dilatación x 10 ⁻⁶ / °C	Resistividad eléctrica a 20° C Ω -mm ² / km	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica a 20 ° C 1 / °C	Conductividad eléctrica % IACS*
Acero	7.90	1400	13	575 - 115	0.0016 – 0.0032	3 - 15
Aluminio	2.70	660	24	28.264	0.00403	61.0
Cobre duro	8.89	1083	17	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1083	17	17.241	0.00393	100
Plomo	11.38	327	29	221	0.00410	7.8
Zinc	7.14	420	29	61.1	0.00400	28.2

IACS International Annealed Copper Standard. Patrón internacional para el cobre suave o recocido, igual a 100% de conductividad

Tabla 4. Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos

Fuente: Conдумex. Características de cables de energía de media y alta tensión

En la Tabla 5 la comparación se reduce a los dos conductores más usados, y en donde se comprende de manera clara la forma en cómo se realiza la elección de un conductor u otro.

Características	Cobre	Aluminio
Para igual volumen: relación de pesos	1.0	0.3
Para igual conductancia: relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
Para igual ampacidad: relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
Para igual diámetro: relación de resistencias	1.0	1.61
capacidad de corriente	1.0	0.78

Tabla 5. Comparación de características entre cobre y aluminio

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 1

Por lo tanto, si se utiliza un conductor de cobre el costo será mayor, la conductividad será excelente y considerando su alta densidad en relación con el aluminio, su volumen será menor pero su peso será más alto. Por el contrario, si se utiliza un conductor de aluminio el costo será menor, la conductividad menor, su volumen será mayor y su peso menor.

Existen dos formas de obtener la flexibilidad de un conductor: recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman.

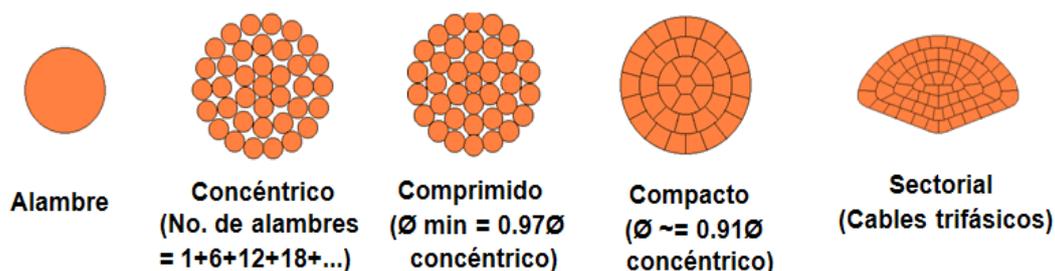


Figura 3. Formas y tipos de conductores

Fuente: Condumex. Características de cables de energía de media y alta tensión.

Como se puede observar, el conductor concéntrico está formado por alambres trenzados helicoidalmente en capas que son concéntricas.

El conductor compacto no es otra cosa más que un conductor concéntrico que ha sido comprimido con la finalidad de eliminar los espacios libres que existen entre los alambres, por lo cual no se reduce el área del material conductor.

Otro de los objetivos de compactar el conductor concéntrico es evitar que entre los intersticios se filtre agua en forma de vapor. Al momento de trabajar con el cable en lugares con alta humedad y al compactar un conductor circular concéntrico el área se reduce y por lo tanto todas las áreas de los recubrimientos que protegen al conductor central también se reducen, contribuyendo de ésta manera a un ahorro en el uso de todo el material utilizado para la elaboración de un cable de potencia.

El conductor sectorial se consigue al comprimir un conductor concéntrico circular hasta que se deforme de tal manera que tome la forma de un sector de círculo, para después ser unidos y formar el círculo completo.

En resumen, si se compara un conductor redondo con un sectorial, se tiene que los sectoriales tienen algunas ventajas pues poseen menor diámetro, menor peso y un costo menor. Por otro lado, el conductor redondo es superior al sectorial en el sentido de que tiene mayor flexibilidad y una menor dificultad para realizar uniones. Otra de las características fundamentales para la selección de un conductor tiene que ver con sus dimensiones.

2.1.1.2 Escalas IEC y AWG

Es bien sabido que las dimensiones son expresadas por número de calibre, del cual se tienen dos escalas de medición: la *AWG* (*American Wire Gage*) y la *IEC* (*International Electrotechnical Commission*).

En la escala *AWG* la numeración es regresiva, ya que un número mayor de calibre representa un alambre de menor diámetro. La escala se formó fijando dos diámetros y estableciendo una ley de progresión geométrica para diámetros intermedios. Los diámetros base seleccionados son 0.4600 pulgadas (calibre 4/0) y 0.0050 pulgadas (calibre 36), existiendo 38 dimensiones entre estos dos. Por lo tanto, la razón entre un diámetro cualquiera y el diámetro siguiente en la escala está dada por la expresión:

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[39]{92} = 1.1229$$

Esta progresión geométrica puede expresarse como sigue: La razón entre dos diámetros consecutivos en la escala es constante e igual a 1.1229.

Ahora bien, se tiene que para diámetros mayores de (4/0) se define el cable directamente por área en el sistema inglés de medidas, y que son los siguientes:

- Mil. Para diámetros, siendo una unidad de longitud igual a una milésima de pulgada.
- Circular Mil. Para áreas, unidad que representa el área de un círculo de un mil de diámetro. Tal círculo tiene un área de 0.7854 mils cuadrados
- Kcmil. Para secciones mayores se utiliza ésta unidad (antes *kCM* o *MCM*) que equivale a mil circular mils.

La escala *IEC* consiste en proporcionar la medida directa de la sección transversal de los conductores en milímetros cuadrados. Los siguientes puntos establecen una relación entre éstas dos escalas de medición:

- 1 kcmil = 0.5067 [mm^2]. Para conversiones rápidas es aceptable la relación: 2 kcmil = 1 [mm^2]
- El incremento de tres números en el calibre (verbigracia del 10 AWG al 7 AWG) duplica el área y el peso, por lo tanto, reduce a la mitad la resistencia a la corriente directa.
- El incremento en seis números de calibre (por ejemplo del 10 AWG al 4 AWG) duplica el diámetro.
- El incremento de 10 números de calibre (por ejemplo del 10 AWG al 1/0 AWG) duplica área y peso por 10 y dividen entre 10 la resistencia eléctrica.

En la siguiente tabla se muestra lo mencionado anteriormente:

Designación		Área de la selección transversal	Número de alambres	Diámetro exterior nominal	Peso nominal
mm^2	AWG kcmil	mm^2		mm	kg/km
-	8	8.37	7	3.4	75.9
-	6	13.3	7	4.29	120.7
-	4	21.15	7	5.41	191.9
-	2	33.6	7	6.81	305
-	1	42.4	19	7.59	385
50	-	48.3	19	8.33	438
-	1/0	53.5	19	8.53	485
-	2/0	67.4	19	9.55	612
70	-	69	19	9.78	626
-	3/0	85	19	10.74	771
-	4/0	107.2	19	12.06	972
-	250	126.7	37	13.21	1149
150	-	147.1	37	14.42	1334
-	300	152	37	14.48	1379
-	350	177.3	37	15.65	1609
-	400	203	37	16.74	1839
240	-	239	37	18.26	2200
-	500	253	37	18.69	2300
-	600	304	61	20.6	2760
-	750	380	61	23.1	3450
-	800	405	61	23.8	3680
-	100	507	61	26.9	4590

Tabla 6. Construcciones preferentes de cable de cobre con cableado redondo compacto (Clase B).

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 1

2.2.2 La pantalla semiconductora sobre el conductor (pantalla interna)

Se coloca sobre el conductor, es la capa de material sintético y de baja resistividad que tiene como función promover la disminución simétrica y radial del esfuerzo del campo eléctrico sobre el aislamiento, haciendo uniforme el gradiente eléctrico en la superficie del conductor.

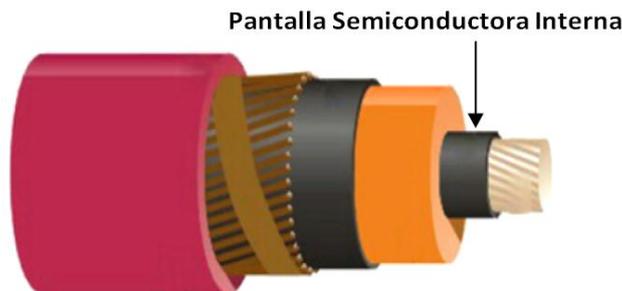


Figura 4. Pantalla interna

Fuente: IUSA. Cables de media tensión

Es decir, alisa el campo eléctrico más cercano al conductor haciéndolo uniforme, disminuyendo de ésta manera el gradiente eléctrico y el riesgo de la formación de puntos de ionización en la parte del aislamiento en la que el campo es más intenso.

2.2.3 Los aislamientos extruidos. Generalidades

Un material aislante es aquel que tiene fuertemente ligados los electrones de sus átomos a sus núcleos y por lo tanto no permite su fácil desplazamiento por lo que ante la acción de una diferencia de potencial, tales electrones no tienen la libertad de moverse.

El aislamiento en un cable de potencia es una capa de material sintético de alta resistividad y tiene como función confinar el campo eléctrico.

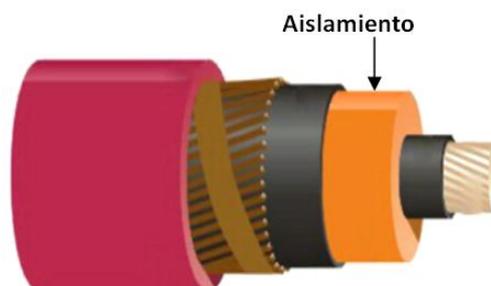


Figura 5. Aislamiento

Fuente: IUSA. Cables de media tensión

El espesor del aislamiento es importante que sea el apropiado para la tensión del conductor, ya que tiene la finalidad de que el campo eléctrico al que se somete al aislamiento sea menor a la rigidez dieléctrica del medio aislante.

Las características eléctricas ya se han descrito, sin embargo también existen otro tipo de condiciones con las que debe de cumplir un aislamiento. Las características químicas son principalmente:

- Absorción de agua
- Resistencia a la humedad
- Resistencia a la exposición de los rayos ultravioleta
- Resistencia a la oxidación
- Resistencia a los agentes corrosivos

Debe quedar claro, que éstas características que deben de buscarse en un aislante dependen del tipo de instalación que se va a realizar y sobre todo, del lugar en el que se va a colocar.

Las características físicas también deben de ser tomadas en cuenta:

- Termoplasticidad
- Resistencia al agrietamiento
- Resistencia a la baja o alta temperatura

También deben de considerarse las características mecánicas:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia al alargamiento permanente
- Resistencia al envejecimiento
- Resistencia a la torsión

Es importante señalar que cualquier tipo de aislamiento por bueno que sea, va a ser falible a alguna de éstas características, sin embargo, como se menciona reiteradamente, depende del ingeniero de cables la selección adecuada de aislamiento para las condiciones específicas de la instalación.

2.2.3.1 Termoplásticos

Un termoplástico se caracteriza por ser un material rígido cuando se expone a temperatura ambiente, sin embargo cuando se eleva a la temperatura de fusión se vuelve blando y moldeable. Es decir, después de fundirlo se le puede volver a dar una nueva forma.

Los materiales más utilizados como aislamientos de cables en México en el periodo 1950 – 1960 fueron el cloruro de polivinil (PVC) y el polietileno. Por lo general, por sus propiedades térmicas, generalmente se utilizan en cables de baja tensión.

2.2.3.1.1 Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo, en un inicio era mezclado con otros compuestos químicos y se usaba como material aislante comúnmente usado en cables de baja tensión debido a su bajo costo y mayor resistencia a la ionización, pero a su vez se tenía una constante dieléctrica elevada y por lo tanto grandes pérdidas eléctricas, lo cual había limitado su uso en cables de tensiones más elevadas.

Sin embargo, en países como Alemania e Italia se desarrollaron compuestos de PVC que tiene pérdidas dieléctricas relativamente bajas cuando es sometido a la temperatura de operación del cable, por lo que su uso se extendió para cables de media tensión.

2.2.3.1.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno que se consigue por la polimeración de gas etileno, da como resultado un material con muy buenas características aislantes, con una rigidez dieléctrica comparable a la del papel impregnado y una mayor conductividad térmica, lo cual facilita la disipación de calor.

El polietileno de alta densidad tiene un punto de fusión de 130 °C con respecto a los 110 °C del de baja densidad, tiene mejores cualidades mecánicas y un costo menor, esa es la razón por la cual es uno de los materiales usados para los cables de energía de media tensión.

2.2.3.2 Termofijos

Los materiales termofijos se comportan de manera distinta al ser expuestos a altas temperaturas, pues a diferencia de los termoplásticos, en lugar de ablandarse y volverse moldeable, lo que sucede es que se queman reduciéndose a carbón, por lo tanto no puede volver a fundirse y por lo tanto no se le puede dar una nueva forma.

Es justamente en éste tipo de aislamientos en donde se encuentran los dos más utilizados en la industria de cables de potencia de media tensión, como los son el polietileno vulcanizado y el etileno-propileno, mejor conocidos como XLPE y EPR respectivamente.

2.2.3.2.1 Polietileno vulcanizado (XLPE)

También llamado polietileno de cadena cruzada o polietileno reticulado, se logra a través de la suma de un peróxido que al ser expuesto a una temperatura elevada en el proceso de vulcanización tiene una reacción con el polietileno provocando la liga de las cadenas moleculares de polietileno.

El proceso de vulcanización es importante, ya que aumenta la rigidez y eso conlleva una mayor dificultad para el manejo mecánico del cable.

Éste material tiene una muy buena estabilidad térmica, lo que le permite soportar una temperatura de operación de hasta 90 °C y soportar sobrecargas o cortocircuitos como un material termoestable. Como desventaja, tiene una baja resistencia de ionización en presencia de humedad lo que se conoce como arborescencia.

2.2.3.2.1.1 Polietileno vulcanizado resistente a las arborescencias (XLPE-RA)

El aislamiento vulcanizado resistente a las arborescencias (XLPE–RA) conserva las mismas características que el anterior, con una diferencia que radica en que es resistente a las arborescencias, es decir, ofrece barreras contra agentes que puedan producir un envejecimiento acelerado.

El aislamiento XLPE-RA tiene una composición diferente, y en su proceso de fabricación se tiene una supervisión más cuidadosa para evitar que algunos contaminantes queden introducidos en el aislamiento, además de que provee de mayores condiciones de resistencia a las arborescencias de tipo acuoso, es decir, que el aislamiento es más resistente al ingreso de moléculas de agua, lo cual garantiza una mayor durabilidad del cable. Asimismo, la fabricación considera que las arborescencias pueden aparecer a partir de un envejecimiento térmico o esfuerzo mecánico.

Los cables con éste tipo de aislamiento son requeridos para instalaciones en donde el cable permanecerá expuesto a presencia de agua de manera parcial como pueden ser el cruce de ríos o bien total como las instalaciones submarinas.

Cabe señalar, que si bien el aislamiento XLPE-RA tiene como trabajo el retardar la aparición de las arborescencias, no las impide en su totalidad, pues solamente brinda una protección adicional, lo cual permite un mayor tiempo de operación correcta del cable en condiciones de humedad.

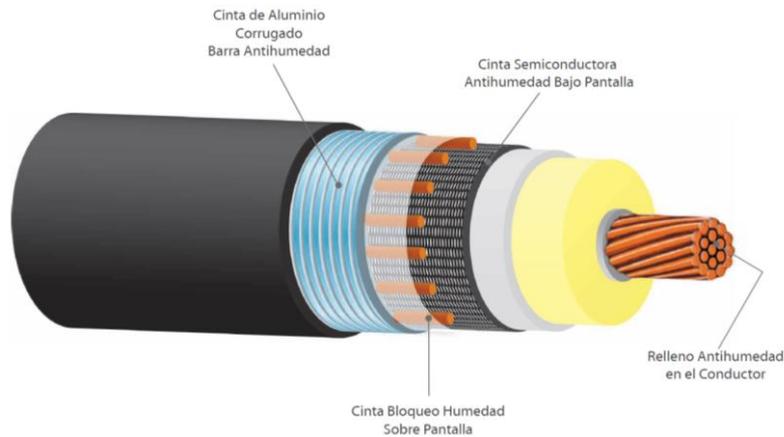
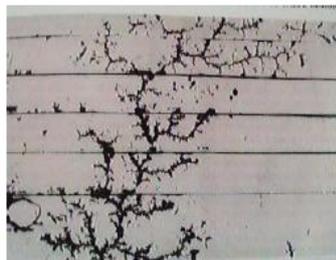


Figura 6. Cable con cinta semiconductora antihumedad
Fuente: CENTELSA, Boletín, cables de media tensión

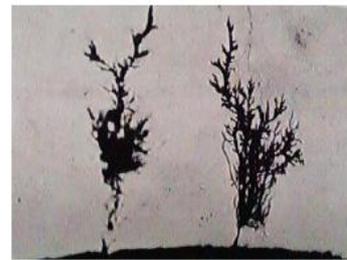
2.2.3.2.1.1.1 Arborescencias

Una arborescencia es una trayectoria conductora que se forma dentro del aislamiento, y toma su nombre por la forma en cómo se presentan y crecen dentro de los aislamientos hasta producir una falla. La aparición de las arborescencias en los aislamientos tiene tres razones principales:

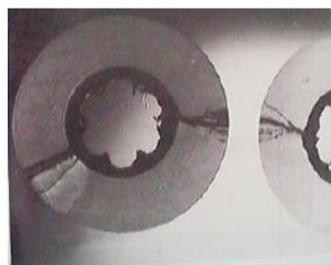
- Presencia de agua en el aislamiento
- Tensión de corriente alterna aplicada
- Irregularidades en el aislamiento (contaminantes en el proceso de fabricación).



Arborescencia en aislamiento de papel impregnado



Arborescencias "ventiladas" en aislamiento extruido



Arborescencias perforando el aislamiento



Arborescencia tipo "corbata de moño"

Figura 7. Arborescencias en los aislamientos

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 2

2.2.3.2 Etileno propileno (EPR)

Éste otro material es de fabricación muy completa, pasando por innumerables etapas de construcción, también es termoestable y tiene condiciones de aislamiento muy cercanas al XLPE e incluso mejores, pues ofrece la ventaja de que su resistencia a la humedad es mucho mejor hasta el punto de utilizarse en la manufactura de cables de potencia submarinos, claro con especificaciones más exigentes.

Su principal desventaja es que cuenta con un factor de pérdidas en el dieléctrico ligeramente más altas que las del polietileno vulcanizado y también al contar con mayor resistencia térmica obliga a disminuir la carga máxima permitida en servicio permanente con una diferencia de alrededor de un 5%.

Otro aspecto importante es que su resistencia de aislamiento es menor que la del XLPE, pero con el paso de un corto período de tiempo de ponerse en servicio, la resistencia del XLPE disminuye colocándose incluso por debajo del EPR. De la misma manera, tiene una alta resistencia al efecto corona, por lo cual se establece por algunos fabricantes como el mejor aislamiento para cables de media tensión conocido hasta el momento.

2.2.4 La pantalla semiconductora sobre el aislamiento (pantalla externa)

Los cables de energía, bajo el potencial aplicado, quedan sometidos a esfuerzos eléctricos radiales, tangenciales y longitudinales. Los esfuerzos radiales están siempre presentes en el aislamiento de los cables energizados. El aislamiento cumplirá su función en forma eficiente si el campo eléctrico se distribuye uniformemente. Una distribución no uniforme conduce a un incremento de estos esfuerzos en porciones del cable, con el consecuente deterioro.

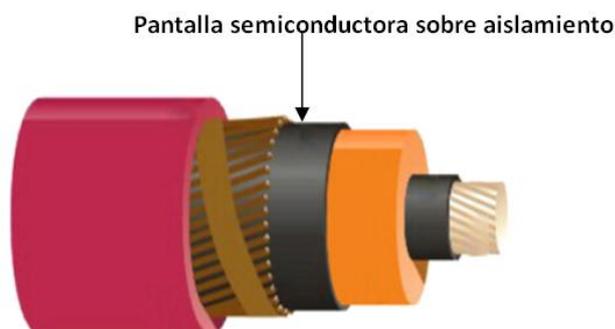


Figura 8. Pantalla semiconductora sobre aislamiento

Fuente: IUSA. Cables de media tensión

Se aplica sobre el aislamiento con el fin de hacer que las líneas del campo eléctrico sean radiales haciendo trabajar en forma uniforme el aislamiento.

Debe ser lo más tersa y lisa posible para evitar la formación de burbujas en la interfase con el aislamiento. Se utiliza un material semiconductor para evitar que se produzca ionización a su vez producida por descargas eléctricas, las cuales son reducidas por dicho material semiconductor.

2.2.5 La pantalla metálica

Esta pantalla está formada por hilos y cintas de cobre aplicadas en forma helicoidal sobre la semiconductora externa y su función es la de proteger la vida humana, pues sirve para realizar las conexiones de puesta a tierra, y para una instalación es recomendable aterrizar la pantalla en todos aquellos lugares en donde sea posible. Dicha pantalla también puede estar construida de plomo tal y como se observa en la Figura 9.

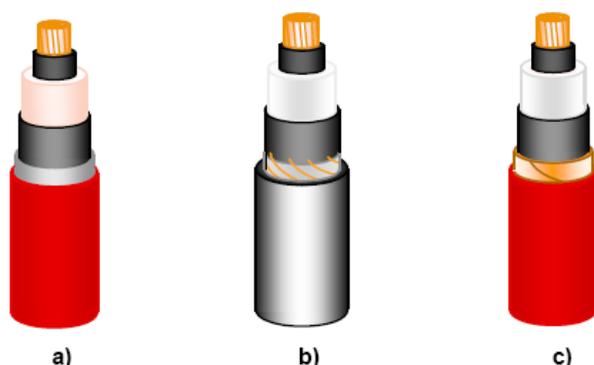


Figura 9. Variantes de pantallas metálicas.

a) Plomo, b) Alambres de cobre, c) Cintas de cobre

Fuente: *Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 3*

De acuerdo al propósito de diseño, la pantalla metálica puede tener tres funciones:

- Para propósitos electrostáticos. Deben ser de metales no magnéticos y pueden consistir en cintas, alambres o cubiertas metálicas de plomo o aluminio.
- Para conducir corriente de falla. En ésta se requiere que tenga una conductancia mayor para conducir corriente de falla.
- Para ser utilizado como neutro en el caso de sistemas monofásicos de distribución residencial subterránea.

2.2.6 La cubierta externa

La cubierta externa proporciona protección contra los agentes mecánicos, intemperismos y agentes químicos externos. Existen cubiertas metálicas, termoplásticas, y elastoméricas.

El forro debe de proteger mecánicamente al cable y es en éste en donde se graba la identificación del cable, así como del voltaje de operación, el calibre y algunos otros datos. Existen diversos materiales de la cubierta externa que se mencionan a continuación.

2.2.6.1 Cubiertas termoplásticas

Ya se ha mencionado que los materiales termoplásticos son aquellos que se pueden fundir y se les puede dar una nueva forma, en éste caso los materiales que se utilizan para las cubiertas termoplásticas son materiales como PVC y Polietileno de alta densidad.

2.2.6.1.1 Policloruro de vinilo (PVC)

El cloruro de polivinil o PVC es de bajo costo y comúnmente utilizado para ser utilizado como cubierta de los cables de potencia, de la misma manera en que tiene una resistencia a las descargas parciales. Tiene una constante dieléctrica elevada, que en este caso no importa significativamente a menos que se utilizara como aislamiento.

2.2.6.1.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad tiene un punto de fusión relativamente alto (130 [°C]) razón por la cual se trabajó con éste material por varios años, para mejorar su resistencia térmica, disipa el calor de una forma relativamente fácil. Tiene propiedades mecánicas aceptables especialmente su resistencia a la abrasión.

2.2.6.2 Cubiertas elastoméricas

Los materiales elastoméricos son polímeros que tienen un comportamiento elástico y pueden sufrir alguna deformación cuando se someten a una fuerza, sin embargo después recuperan su forma original. Los materiales más utilizados para las cubiertas de cables de media tensión son el Polietileno Clorosulfonado y el Neopreno.

2.2.6.2.1 Policloropreno (Neopreno)

El Neopreno o policloropreno es un hule sintético que se utiliza como cubierta de los cables de potencia, ya que tiene resistencia a la degradación por la exposición a rayos solares, el ozono y clima, y de la misma manera sucede con los solventes y agentes químicos. De la misma manera que los compuestos anteriores, el neopreno es resistente a los daños que pueden ser causados por

abrasión, la flexión o torsión, lo cual es indispensable cuando se habla de cables de potencia.

2.2.6.2.2 Polietileno clorosulfonado (Hypalon)

El Polietileno Clorosulfonado es un hule sintético que fue desarrollado por la empresa DuPont, y que se utiliza como forro de cables que ofrece significativas ventajas por encima del vinilo. Tiene una excelente resistencia contra la abrasión, el envejecimiento y también contra agentes químicos como el aceite, se recomienda altamente cuando se instala en zonas industriales y petroquímicas.

2.2.6.3 Cubiertas metálicas

En algunos casos por condiciones de operación y contaminación del terreno es indispensable utilizar otro tipo de cubiertas, las cuales pueden ser hechas de una capa de plomo, acero, o una malla de alambre de acero cubriendo la totalidad del cable.

La cubierta de plomo brinda una conductancia adicional que se puede aprovechar para conducir corriente de falla dado los espesores que se necesitan desde el punto de vista mecánico. De la misma manera, existen cubiertas metálicas tubulares, laminadas, engargoladas y combinadas, dependiendo del tipo de instalación y sobre todo de la protección que se desee brindar al sistema de cables.

