



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

***“MANUAL PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE  
ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN”.***

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A N**

**ABEL HERCULANO MARTÍNEZ  
CHRISTIAN MAZA SÁNCHEZ**

**ASESOR:**

**ING. ARMANDO RÍOS COSÍO**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.**

**JUNIO DE 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

Llegar a este punto tan importante de mi vida significa la culminación de toda una etapa de estudio, perseverancia y también de una larga espera, ya que en este camino que he recorrido ha habido gente muy valiosa que me ha animado siempre con sus palabras de aliento, apoyo incondicional y comprensión, es por ello que a través de este trabajo quiero agradecerles por lo mucho que me han dado y por acompañarme en este sueño que emprendí hace unos años.

Le doy gracias a Dios, primero que a nadie, por dejarme conocerlo y darme la certeza de que siempre ha estado conmigo, y sobre todo por ser un amigo con quien siempre puedo contar. Salmos 103.

A mis padres, Yolanda y Miguel, por su apoyo y cariño, sin ustedes no hubiera podido llegar hasta aquí, pues en las buenas y malas siempre estuvieron ahí, para darme aliento para seguir. Porque han esperado largos años para ver cumplido un sueño como éste, y sé que es el comienzo de muchas más satisfacciones que tendrán por tantos años de trabajo duro, de luchar y siempre tener buen ánimo para salir adelante.

A mi hermano Juan, por su compañía, gracias por tu paciencia, es un privilegio que estés a mi lado.

A Rubén y Raquel, gracias por su apoyo, por sus oraciones y por todo el tiempo dedicado en mí, por enseñarme de la vida, por permitirme estar a su lado estos años, es un privilegio que sean mis pastores. A sus hijos por darme tantos momentos de alegría, gracias por ser más que amigos, ustedes también son mi familia.

A todos mis hermanos que siempre han estado al tanto de mi formación, que al igual que yo han esperado con ansias que llegara este día. A mis amigos que aunque son pocos, también me han alentado a seguir, gracias a todos, es un gusto conocerlos y espero lo mejor de la vida para ustedes, se lo merecen.

A mi asesor, Ing. Armando Ríos Cosío por su paciencia, su ayuda y porque siempre estuvo al tanto de este trabajo, sobre todo por estar dispuesto a ayudar a unos principiantes a titularse, gracias por transmitirnos su experiencia y por su colaboración para hacer este trabajo.

A mi querida Universidad, a la Facultad de Ingeniería, a mis profesores, mi más profundo agradecimiento por la formación académica que a jóvenes como yo nos han dado.

**Abel Herculano Martínez**



## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis representa un parteaguas entre una etapa muy enriquecedora y el camino que el tiempo obliga. A lo largo de mi experiencia universitaria y laboral han habido personas que dejaron huella en mí y que indudablemente merecen mi más sincero agradecimiento y aprecio. Sin su valiosa aportación y apoyo incondicional este trabajo no hubiera sido posible.

A mi madre le agradezco su gran apoyo, su guía y confianza en la realización de mis sueños. Soy afortunado por contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo. Esta tesis va dedicada a ella.

A Dios por permitirme terminar este trabajo y por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A mis profesores y sinodales, que compartieron conmigo su tiempo, conocimientos y experiencia. Especialmente al Ing. Armando Ríos quien me brindó todo su apoyo en la realización de esta tesis.

A Claudia Muñoz por su cariño, paciencia y confianza en todo momento.

A mi familia y amigos por su lealtad y apoyo incondicional.

**Christian Maza Sánchez**

# MANUAL PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

- 1.1 La energía eléctrica en México
  - 1.1.1 Generación
  - 1.1.2 Transmisión y sub-transmisión
  - 1.1.3 Distribución
- 1.2 Formas de transmisión de la energía eléctrica
  - 1.2.1 Líneas aéreas
  - 1.2.2 Líneas subterráneas
  - 1.2.3 Calidad del servicio eléctrico
    - 1.2.3.1 Continuidad del servicio
    - 1.2.3.2 Control de la frecuencia

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

- 2.1 El cable de energía de media tensión
- 2.2 Elementos componentes del cable
  - 2.2.1 El conductor
    - 2.2.1.1 Formas y tipos de conductores
    - 2.2.1.2 Escalas IEC y AWG
  - 2.2.2 La pantalla semiconductor sobre el conductor (pantalla interna)
  - 2.2.3 Los aislamientos extruidos. Generalidades
    - 2.2.3.1 Termoplásticos
      - 2.2.3.1.1 Policloruro de vinilo (PVC)
      - 2.2.3.1.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)
    - 2.2.3.2 Termofijos
      - 2.2.3.2.1 Polietileno vulcanizado (XLPE)
        - 2.2.3.2.1.1 Polietileno vulcanizado resistente a las arborescencias (XLPE-RA)
          - 2.2.3.2.1.1.1 Arborescencias
        - 2.2.3.2.2 Etileno propileno (EPR)
  - 2.2.4 La pantalla semiconductor sobre el aislamiento (pantalla externa)
  - 2.2.5 La pantalla metálica
  - 2.2.6 La cubierta externa
    - 2.2.6.1 Cubiertas termoplásticas
      - 2.2.6.1.1 Policloruro de vinilo (PVC)
      - 2.2.6.1.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)

- 2.2.6.2 Cubiertas elastoméricas
  - 2.2.6.2.1 Policloropreno (Neopreno)
  - 2.2.6.2.2 Polietileno clorosulfonado (Hypalon)
- 2.2.6.3 Cubiertas metálicas

### **CAPÍTULO III. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS CABLES DE ENERGÍA**

- 3.1 Resistencia eléctrica de un conductor al paso de la corriente directa
- 3.2 Corrección por temperatura de la resistencia a la corriente directa
- 3.3 Resistencia eléctrica de un conductor al paso de la corriente alterna
  - 3.3.1 Efecto de piel
  - 3.3.2 Efecto de proximidad
- 3.4 Inductancia
  - 3.4.1 Reactancia inductiva
    - 3.4.1.1 Inductancia propia
    - 3.4.1.2 Inductancia mutua
- 3.5 Capacitancia
  - 3.5.1 Reactancia capacitiva
  - 3.5.2 Capacitancia inductiva específica (SIC)
  - 3.5.3 Constante dieléctrica
- 3.6 Impedancia
- 3.7 Pérdidas eléctricas
  - 3.7.1 En el conductor
  - 3.7.2 En el aislamiento
  - 3.7.3 En la pantalla metálica
  - 3.7.4 Otras pérdidas
  - 3.7.5 Pérdidas totales

### **CAPÍTULO IV. SELECCIÓN DE UN CABLE DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN**

- 4.1 Por nivel de aislamiento
  - 4.1.1 Categoría I. Nivel 100 %
  - 4.1.2 Categoría II. Nivel 133 %
  - 4.1.3 Categoría III. Nivel 173 %
- 4.2 Por capacidad de conducción de corriente
- 4.3 Por caída de tensión
- 4.4 Por regulación de voltaje
- 4.5 Por corriente de corto circuito
- 4.6 Por calibre económico



## **CAPÍTULO V. INSTALACIÓN DE CABLES DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN**

- 5.1 Inspección preliminar
- 5.2 Empaque
- 5.3 Carga y descarga
- 5.4 Transporte
- 5.5 Almacenamiento
- 5.6 Acarreo
- 5.7 Tendido
  - 5.7.1 Ojo de tracción
  - 5.7.2 Malacate
    - 5.7.2.1 Dinamómetro
  - 5.7.3 Destorcedor
  - 5.7.4 Grilletes
  - 5.7.5 Poleas
  - 5.7.6 Rodillos
  - 5.7.7 Radios de comunicación
  - 5.7.8 Soportes y flechas para carretes
- 5.8 Parámetros mecánicos del cable de energía
  - 5.8.1 Radio mínimo de curvatura durante y después de la instalación
  - 5.8.2 Tensión máxima jalando del conductor
  - 5.8.3 Tensión máxima jalando de la cubierta con malla trenzada
- 5.9 Instalación de cables de media tensión aislados
  - 5.9.1 Directamente enterrados
    - 5.9.1.1 Trayectoria de instalación
    - 5.9.1.2 Excavación
    - 5.9.1.3 Instalación
    - 5.9.1.4 Protección mecánica a los cables y relleno de la cepa
    - 5.9.1.5 Configuración de instalación
  - 5.9.2 En canalizaciones entubadas (ductos)
    - 5.9.2.1 Trayectoria
    - 5.9.2.2 Excavación
    - 5.9.2.3 Registros
      - 5.9.2.3.1 Dimensiones típicas
      - 5.9.2.3.2 Soportería
    - 5.9.2.4 Banco de ductos
      - 5.9.2.4.1 Tipos de ductos
      - 5.9.2.4.2 Separadores
    - 5.9.2.5 Limpieza, verificación y guiado de ductos
    - 5.9.2.6 Porcentaje de llenado de ductos
    - 5.9.2.7 Principios básicos de jalado de cables en ductos
      - 5.9.2.7.1 En tramo recto horizontal

- 5.9.2.7.2 En curva horizontal
- 5.9.2.7.3 En tramo recto inclinado
- 5.9.2.7.4 Presión lateral
- 5.9.2.7.5 Factor de corrección del peso o de la fuerza normal
- 5.9.2.7.6 Ejemplo de cálculo
- 5.9.2.7.7 Paquete de cálculo para tensiones de jalado
- 5.9.2.8 Tendido del cable en el ducto
- 5.9.3 Barrenación direccional
  - 5.9.3.1 Cruce de ríos
- 5.9.4 En galerías y canaletas
  - 5.9.4.1 Materiales y dimensiones
  - 5.9.4.2 Tendido del cable
    - 5.9.4.2.1 Tendido vertical del cable
- 5.9.5 En bandejas o charolas
  - 5.9.5.1 Tipos de montaje
  - 5.9.5.2 Tipos de tendido de cable
    - 5.9.5.2.1 Desenrollar el cable directamente sobre la charola
    - 5.9.5.2.2 Utilizando rodillos y poleas
- 5.10 Condiciones ambientales durante la instalación
- 5.11 Transición aéreo-subterránea
  - 5.11.1 Medidas de protección eléctrica
    - 5.11.1.1 Protección contra sobretensiones
    - 5.11.1.2 Protección contra corto circuito
  - 5.11.2 Medidas de protección mecánica
  - 5.11.3 Instalación del cable de la transición
    - 5.11.3.1 Transiciones
    - 5.11.3.2 Estructuras

## **CAPÍTULO VI. ELABORACIÓN O CONFECCIÓN DE ACCESORIOS**

- 6.1 Precauciones de carácter general
  - 6.1.1 Durante el tendido del cable
  - 6.1.2 Antes de la elaboración del accesorio
- 6.2 Herramientas
- 6.3 Preparación del cable
  - 6.3.1 Retiro de la cubierta externa
    - 6.3.1.1 Método usando cuchillo
    - 6.3.1.2 Método usando la herramienta especial para pelar cubiertas
  - 6.3.2 Retiro de la pantalla metálica
  - 6.3.3 Retiro de la semiconductora sobre aislamiento

- 6.3.4 Retiro del aislamiento
  - 6.3.4.1 Limpieza y acondicionamiento del aislamiento
- 6.3.5 Instalación del conector (conector)
- 6.3.6 Instalación del accesorio sobre el cable
  - 6.3.6.1 Conexión a tierra de las pantallas metálicas
- 6.4 Medidas de seguridad
- 6.5 Terminales
  - 6.5.1 Clasificación y normatividad
    - 6.5.1.1 Terminal clase I
    - 6.5.1.2 Terminal clase II
    - 6.5.1.3 Terminal clase III
  - 6.5.2 Métodos para reducir el esfuerzo eléctrico sobre el aislamiento del cable en el punto de corte de las pantallas
    - 6.5.2.1 Método geométrico (cono de alivio)
    - 6.5.2.2 Método de la resistividad variable
    - 6.5.2.3 Método capacitivo
- 6.6 Empalmes
  - 6.6.1 Operación
  - 6.6.2 Clasificación
    - 6.6.2.1 Encintados
    - 6.6.2.2 Premoldeados (uniones rectas)
    - 6.6.2.3 Termocontráctiles
    - 6.6.2.4 Contráctiles en frío
- 6.7 Conectores aislados separables
  - 6.7.1 Operación
  - 6.7.2 Clasificación
  - 6.7.3 Intercambiabilidad
  - 6.7.4 Terminales (codos)
  - 6.7.5 Uniones múltiples (derivadores múltiples)
- 6.8 Certificación de técnicos especializados (empalmadores o montadores)
  - 6.8.1 Escuela de montadores

## **CAPÍTULO VII. PRUEBAS A LOS CABLES DE ENERGÍA**

- 7.1 Pruebas en recepción
  - 7.1.1 Normatividad
  - 7.1.2 Inspección visual
  - 7.1.3 Pruebas eléctricas
    - 7.1.3.1 Faseo
    - 7.1.3.2 Continuidad
    - 7.1.3.3 Resistencia de aislamiento
    - 7.1.3.4 Alta tensión
      - 7.1.3.4.1 Corriente directa

- 7.1.3.4.2 Corriente alterna a muy baja frecuencia
- 7.1.3.5 Descargas parciales

## **CAPÍTULO VIII. MANTENIMIENTO A LOS CABLES DE ENERGÍA**

### 8.1 Tipos de mantenimiento

8.1.1 Preventivo

8.1.2 Correctivo

8.1.3 Predictivo

8.1.4 Mantenimiento basado en la condición del sistema de cables y accesorios

### 8.2 Localización de fallas

### 8.3 Recomendaciones generales para el mantenimiento

### 8.4 Criterios de selección para mantenimiento

## **CONCLUSIONES**

## **GLOSARIO**

## **BIBLIOGRAFÍA**

# INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tesis es el de poner a disposición de los contratistas eléctricos un manual de instalación de cables de energía de media tensión con base en normas nacionales e internacionales que proporcione información técnica valiosa que asegure la operatividad, duración y garantice la seguridad del personal encargado de la instalación.

Las redes de distribución de energía eléctrica que emplean cables subterráneos presentan importantes ventajas técnicas que hacen que este tipo de instalaciones se use cada vez más cuando se requieren sistemas seguros con alta continuidad de servicio, para la distribución de energía en lugares restringidos de espacio, y cuando es importante que el espacio visual sea respetado.

Uno de los problemas principales es la inversión inicial de la obra, ya que es varias veces mayor que la de un sistema aéreo. Es en estos casos cuando el diseño de la red desempeña un papel importante, ya que permite que las instalaciones con cables subterráneos bien proyectadas a futuro sean económicamente competitivas con las líneas de distribución aéreas.

Después de ver que la mayoría de los libros tienen una descripción amplia de las líneas aéreas, y se hace poca mención respecto a cables de energía, esta tesis surge de la necesidad de llevar al campo eléctrico un manual que proporcione una explicación extensa de cómo debe ser realizada una instalación con cables de energía aislados. Además, tiene como fin el de reducir los altos costos de mantenimiento al evitar una mala instalación, promoviendo un buen manejo de los conductores y realizando pruebas periódicas y adecuadas de mantenimiento en los cable.

Es necesario manejar e instalar convenientemente los cables para no perjudicarlos, tomando en cuenta las cualidades que les ha proporcionado una cuidadosa fabricación, fruto a su vez de abundantes y minuciosos ensayos, cálculos procesos de laboratorio, elección apropiada de materias primas, utilización de compleja y costosa maquinaria, así como rigurosos controles de calidad.

Una manipulación incorrecta de los cables puede ocasionar daños considerables que pueden ser detectados, en el peor de los casos, en el momento de puesta en servicio lo cual produce que los cables acorten sensiblemente su periodo de vida.



# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

En este primer capítulo se exponen los fundamentos del tema a desarrollar, en donde se establecen sus principios y necesidades, y sobre todo aquella información que puede ser útil para los instaladores de cables, de manera que ésta tesis sea una herramienta que ayude a mejorar la forma en cómo se instalan los cables de energía.

## 1.1 La energía eléctrica en México

El descubrimiento del fenómeno de la inducción electromagnética por *Faraday*, en 1831, que dio lugar al invento del generador eléctrico es el punto inicial de la *Electrotecnia*, cuyo desarrollo está íntimamente ligado al de los sistemas de energía eléctrica. Generalmente se considera que los sistemas de energía eléctrica se inician en 1882 con las instalaciones de *Edison* en *New York*, aunque existían ya algunas instalaciones de alumbrado utilizando lámparas de arco eléctrico.

Al igual que en los otros grandes países de Europa, la generación de energía eléctrica se inició en el nuestro a finales del siglo *XIX*. En 1879 se instaló en León, Guanajuato, la primera planta generadora, misma que fue utilizada por la fábrica textil "*La Americana*". Casi inmediatamente se extendió su uso hacia la producción minera y de forma discreta en la iluminación residencial y pública.

En 1889, operó la primera planta hidroeléctrica en Batopilas, Chihuahua; la cual también extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales atractivos, donde la población era de mayor percepción económica. Al iniciarse el siglo *XX*, México contaba con una capacidad de 31.0 [MW], propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50.0 [MW], de los cuales 80% lo generaba *The Mexican Light and Power Company*, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que funcionaban en los territorios de sus áreas de influencia. En ese período se comenzó el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. No fue sino hasta el 2 de diciembre de 1933, cuando se decretó integrar la Comisión Federal de Electricidad, considerándose por vez primera a la electricidad como una actividad nacional de utilidad pública. Cuatro años después, el 14 de agosto de 1937, CFE entró en operación formal. En ese momento, la capacidad instalada en el país era de 629.0 [MW]. Después de una controversial liquidación a Luz y Fuerza del Centro en octubre de 2009, Comisión Federal de Electricidad tomó el control de la distribución de la energía eléctrica en todo el país.

Para poder disfrutar de la electricidad en nuestro hogar, oficina o empresa ésta realiza un complejo recorrido desde los lugares donde se produce pasando por diferentes etapas hasta llegar finalmente a los lugares de consumo.

Un sistema de energía eléctrica consiste de una gran diversidad de cargas eléctricas repartidas en una región, en las plantas generadoras para producir la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas generadoras a los puntos de consumo, y todo el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se brinde con las características de continuidad de servicio, de regulación de la tensión y de control de frecuencia requeridas a un costo adecuado.

Todo este recorrido, desde su generación hasta su entrega final, se realiza en lo que se denomina el sistema de potencia. El sistema de potencia se encuentra dividido en: generación, transmisión, subtransmisión y distribución.

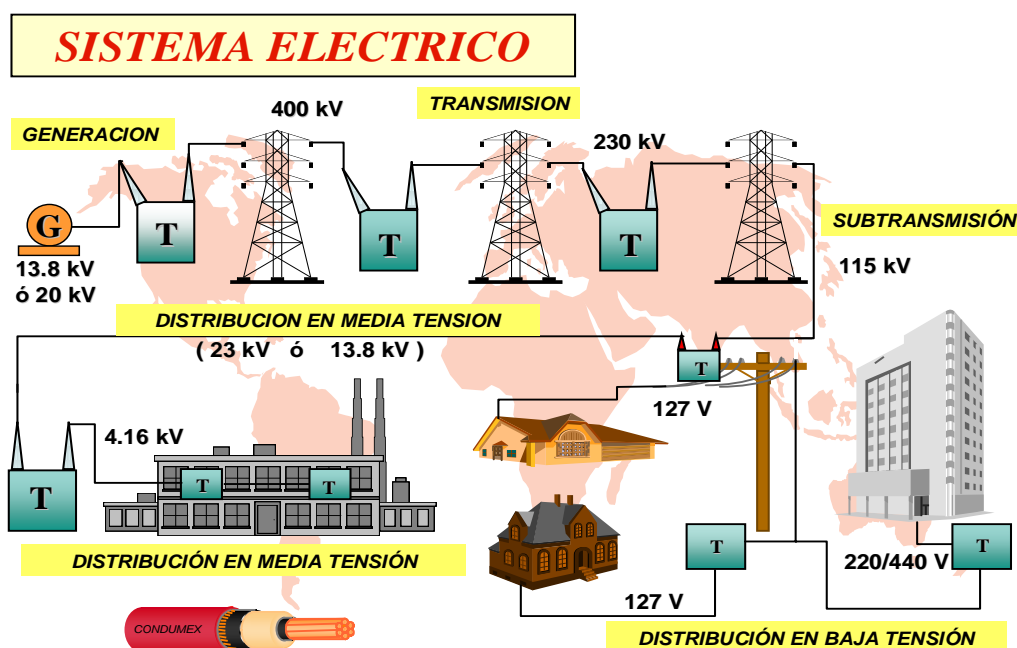


Figura 1. Sistema eléctrico

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

### 1.1.1 Generación

Es aquí donde se realiza la transformación de energía hidráulica, térmica, química, eólica, solar, nuclear, etcétera en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica.



Los generadores funcionan de manera similar a los motores, pero en forma inversa, esto significa que: mientras a un motor le proporcionamos energía eléctrica para transformarla en energía mecánica; a los generadores debemos de alguna manera entregarle energía mecánica para transformarla en energía eléctrica y así producir electricidad. Existen diversos tipos de plantas generadoras de electricidad entre las que podemos mencionar:

**Hidroeléctrica:** Este tipo de planta es la más económica de todas a largo plazo, ya que requiere de una inversión inicial muy elevada. Es necesario que existan saltos de agua y ríos de gran capacidad para poder construir una central de generación de este tipo. El agua que se va soltando se hace chocar contra las aspas de una inmensa turbina, que esta unida mecánicamente al generador, para así moverlo y éste a su vez producir electricidad. Actualmente la Comisión Federal de Electricidad está construyendo la Central Hidroeléctrica la Yesca que generará 750 [MW] y que se planea quede terminada en febrero de 2011.

**Termoeléctrica:** Estas plantas producen electricidad a partir de la combustión de gas, petróleo o carbón. En este caso se quema el combustible para producir vapor de agua, éste vapor a alta presión es disparado contra las aspas de las turbinas que están acopladas mecánicamente a grandes generadores, moviéndolos y produciendo la energía eléctrica necesaria.

**Nuclear:** En este caso se utiliza el poder calorífico de la fusión nuclear para producir electricidad. En México solo contamos con una planta de este tipo la cual se localiza en Laguna Verde. La central consta de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 [MW] y entró en operación el 29 de Junio de 1990.

**Eólica:** Es el viento en este caso quien mueve las aspas de una especie de molino y estas mueven un generador para producir electricidad. En México la Central de La Venta se localiza, a unos 30 [km] al noreste de Juchitán, Oaxaca.

**Solar:** La energía solar es la energía producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar (0.2%) debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Definición obtenida de <http://www.formaselect.com/areas-tematicas/energias-renovables/energia-solar.htm>

**Geotermoeléctrica:** Las plantas geotérmicas aprovechan el calor del vapor de agua proveniente del subsuelo para producir electricidad. Las tensiones de generación usadas en un sistema eléctrico en México son 13.8 [kV] ó 20 [kV].

**Capacidad instalada y generación.** La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nucleares. A inicios del año este año (2010) se tenían los siguientes datos sobre la capacidad instalada y de generación:

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*
Capacidad (MW)	CFE	38,422	37,325	37,470	38,397	38,474	38,927	39,62
	PIE's	7,265	8,251	10,387	11,457	11,457	11,457	11,45
	Total	45,687	45,576	47,857	49,854	49,931	50,384	51,08
Generación (TWh)	CFE	159.53	170.07	162.47	157.51	157.16	154.14	35.72
	PIE's	45.85	45.56	59.43	70.98	74.23	76.50	17.89
	Total	205.39	215.63	221.9	228.49	231.4	230.64	53.61

Tabla 1. Desarrollo de la capacidad instalada y de generación.<sup>2</sup>

En la siguiente tabla se presenta la capacidad efectiva por tipo de generación:

Tipo de Generación	Capacidad efectiva en MW	Porcentaje
Termoeléctrica	23,474.67	46%
Hidroeléctrica	11,134.90	22%
Carboeléctrica	2,600.00	5%
Geotermoeléctrica	964.50	2%
Eoloeléctrica	85.25	0%
Nucleoeléctrica	1,364.88	3%
Termoeléctrica (Productores Independientes)	11,456.90	22%
<b>Total</b>	<b>51,081.10</b>	<b>100%</b>

Tabla 2. Capacidad efectiva instalada por tipo de generación al mes de marzo de 2010<sup>3</sup>

<sup>2,3</sup> Información obtenida de:

<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/queEsCFE/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneraci%C3%B3n.aspx>

### **1.1.2 Transmisión y sub-transmisión**

La electricidad producida en centrales generadoras se debe transportar hacia los grandes centros de población, que por lo general se encuentran a una distancia considerable.

Para realizar esta labor de forma eficiente se eleva el voltaje, por medio de transformadores, en los cuales los niveles de tensión utilizados son de 400, 230 y 161 [kV]. Una vez que nos aproximamos a los centros poblados, es necesario reducir el voltaje a valores menores de 69 [kV] y 115 [kV] por medio de transformadores reductores.

### **1.1.3 Distribución**

Finalmente, para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se vuelve a reducir el voltaje a niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 [kV] y 120 [V], 240 [V], y 440 [V] por medio de transformadores reductores. De esta forma es mucho más sencillo, económico y seguro, transportar la energía eléctrica a cada rincón del pueblo, urbanización o ciudad. Estamos entonces en la etapa de distribución. Para septiembre de 2007, la longitud de estas líneas fue de 612,651 [km].

Los postes, equipos se colocan en las calles, los cables que parten de los postes hacia cada casa, comercio o industria y los equipos contadores de energía (medidores) son los componentes de la fase de distribución y los últimos en la carrera de la electricidad desde el generador hasta nuestros hogares e industrias.

## **1.2 Formas de transmisión de energía**

La electricidad generada en las plantas eléctricas llega a los consumidores a través de líneas de transmisión, las cuales son construidas de acuerdo con los requerimientos ambientales y normativos vigentes.

### **1.2.1 Líneas aéreas**

Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte y, en la mayor parte de los casos de las líneas de alta tensión, los cables de guarda para proteger a las líneas de las descargas atmosféricas.

## **1.2.2 Líneas subterráneas**

Las líneas subterráneas consisten en la transmisión de energía eléctrica a través de cables de potencia. Dichos cables consisten, esencialmente, en uno o más conductores aislados mediante materiales enrollados o extruidos sobre los conductores.

Existen otros elementos en el cable que tienen por objetivo hacer eficiente el uso de las cualidades de los aislamientos y el control de campos electromagnéticos dependiendo de la tensión de diseño.

## **1.2.3 Calidad del servicio eléctrico**

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes factores: continuidad del servicio, regulación del voltaje, control de la frecuencia y el control de las armónicas.

### **1.2.3.1 Continuidad del servicio**

La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que una interrupción de su suministro causa graves trastornos y pérdidas económicas importantes. Por lo cual, para asegurar la continuidad del suministro deben tomárselas disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. A continuación se mencionan las principales:

- a) Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio, o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- b) Disponer de un sistema de protección automático que permita sacar de servicio rápidamente cualquier elemento del sistema que ha tenido una falla.
- c) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- d) Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia necesarios para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- e) Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando éstas no han podido ser evitadas.

### 1.2.3.2 Control de la frecuencia

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. En los países de Europa, la mayor parte de los de países asiáticos, africanos y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 [Hz]. En América del Norte y otros países del continente americano los sistemas eléctricos funcionan a 60 [Hz]. En general, el equipo eléctrico de un sistema, como los generadores y los transformadores, está diseñado para funcionar a una frecuencia determinada y lo mismo puede decirse de los equipos de distribución y utilización. En México la frecuencia estándar de generación, distribución y utilización es de 60 [Hz].

El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos de utilización, como el funcionamiento del sistema mismo.

En algunas aplicaciones, como, por ejemplo, la industria de fabricación del papel, la variación de la velocidad debida a la variación de frecuencia puede afectar el buen funcionamiento del proceso de fabricación.

Tomando en cuenta todos estos factores puede decirse que, desde el punto de vista del adecuado funcionamiento de los aparatos de utilización, es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del 1%.

Por último, entre las características que debe cumplir la frecuencia de un sistema, puede incluirse su pureza, es decir, que el porcentaje de armónicas sea despreciable. Esto requiere, en primer lugar, que los generadores proporcionen una tensión lo más aproximada posible a una tensión sinusoidal.

En segundo lugar, hay que limitar a valores tolerables la aparición de armónicas en otros puntos del sistema, como pueden ser los circuitos magnéticos de los transformadores, que están diseñados para funcionar a densidades de flujo próximas a los valores de saturación. Una disminución excesiva de la frecuencia o un aumento de la tensión pueden causar la saturación del circuito magnético y la deformación de la onda de la tensión inducida.

La presencia de armónicas debidas a cargas no lineales causa pérdidas adicionales y puede afectar el funcionamiento de ciertos tipos de aparatos, así como producir también fenómenos de resonancia que pueden dañar el equipo.



## 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]
<b>MEDIA TENSIÓN</b>	<b>1.1 [kV] – 35 [kV]</b>	<b>5, 8, 15, 25 y 35 [kV]</b>
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.

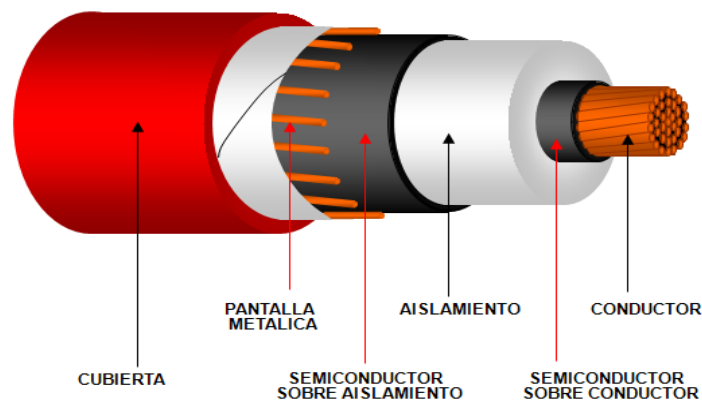


Figura 2. Elementos componentes de un cable de energía

*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 <sup>3</sup>	Temperatura de fusión °C	Coefficiente lineal de dilatación x 10 <sup>-6</sup> / °C	Resistividad eléctrica a 20° C Ω -mm <sup>2</sup> / 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
<b>Para igual volumen:</b>		
relación de pesos	1.0	0.3
<b>Para igual conductancia:</b>		
relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
<b>Para igual ampacidad:</b>		
relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
<b>Para igual diámetro:</b>		
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.

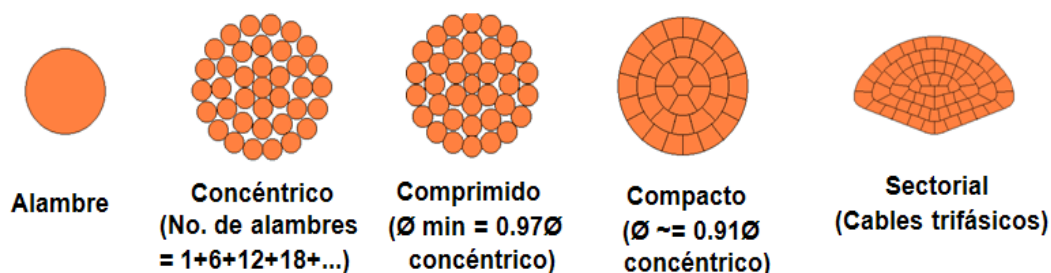


Figura 3. Formas y tipos de conductores

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
<b>50</b>	-	48.3	19	8.33	438
-	1/0	53.5	19	8.53	485
-	2/0	67.4	19	9.55	612
<b>70</b>	-	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
<b>150</b>	-	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
<b>240</b>	-	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.

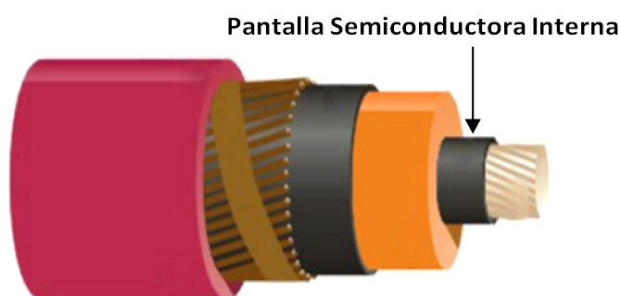


Figura 4. Pantalla interna

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.

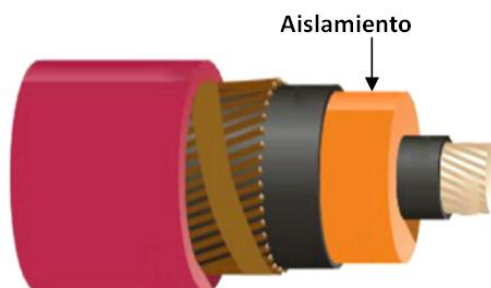


Figura 5. Aislamiento

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.



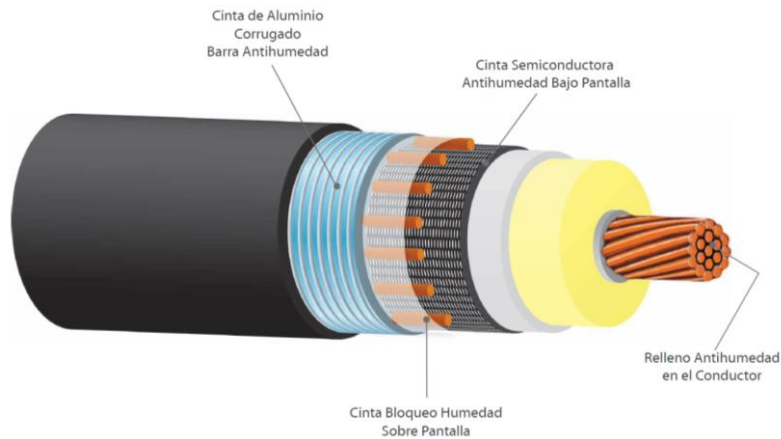
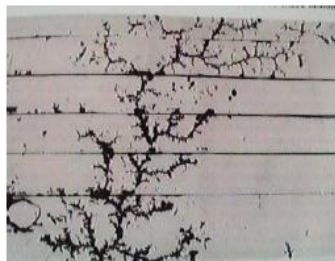


Figura 6. Cable con cinta semiconductora antihumedad  
Fuente: CENTELSA, Boletín, cables de media tensión

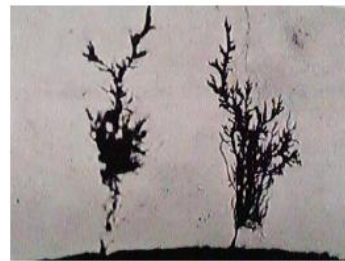
### 2.2.3.2.1.1.1 Arborescencias

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:

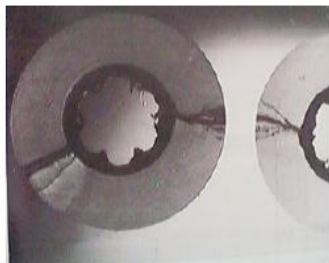
- Presencia de agua en el aislamiento
- Tensión de corriente alterna aplicada
- Irregularidades en el aislamiento (contaminantes en el proceso de fabricación).



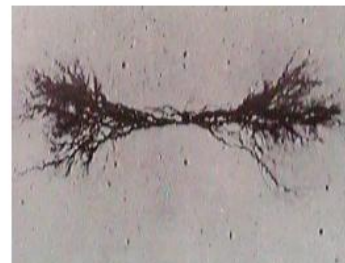
Arborescencia en aislamiento de papel impregnado



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.

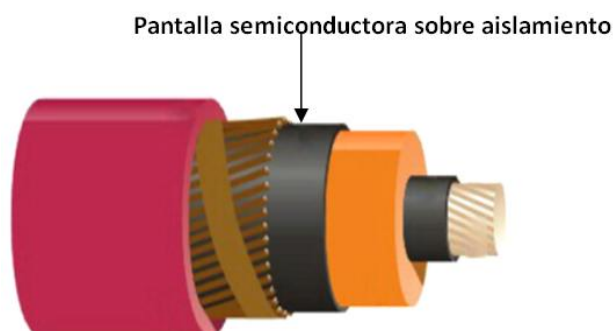


Figura 8. Pantalla semiconductora sobre aislamiento

*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.

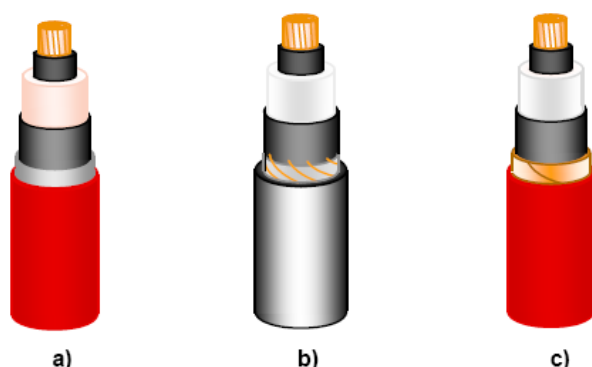


Figura 9. Variantes de pantallas metálicas.

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.



## CAPÍTULO III. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL CABLE DE ENERGÍA

Hasta este punto, se han mencionados todos los elementos físicos de un cable de potencia así como su función, sin embargo al quedar hasta ese punto, poco se puede entender sobre el comportamiento del cable mismo y su mantenimiento, por lo cual ahora se presentan los parámetros eléctricos, los cuales son de gran utilidad para la selección del tipo de cable, para conocer las pérdidas eléctricas, el costo económico, la impedancia del cable una vez que ya ha sido seleccionado y que es útil para estudiar el comportamiento en cortocircuito del sistema completo. Conocer los parámetros eléctricos de operación de un cable de potencia son indispensables para el responsable del diseño del sistema, pues permite el estudio no sólo técnico sino también económico que sirve como base para la selección correcta del calibre.

### 3.1 Resistencia eléctrica de un conductor al paso de la corriente directa

Cuando se pone en servicio un sistema eléctrico en el cual obviamente se han involucrado cables de potencia, es bien sabido que el cable se va a calentar, y ese calentamiento crece con el cuadrado de la intensidad de corriente que va a estar en función del material del conductor, a esto se le llama resistencia eléctrica.

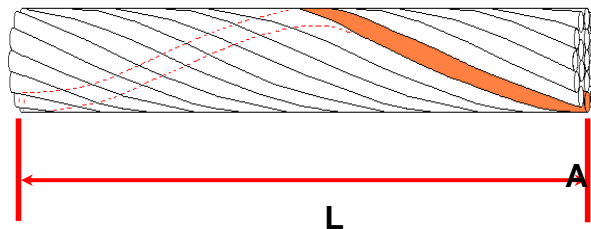


Figura 10. Resistencia eléctrica de un conductor

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

La resistencia eléctrica se calcula mediante la expresión:

$$R_{cd} = \rho \frac{L}{A} (1 + K_c)$$

Donde:

$R_{cd}$  = Resistencia del alambre a la corriente directa a 20 °C [ $\Omega$ ]

$\rho$  = Resistividad eléctrica del material del alambre a 20 °C  $\left[ \frac{(\Omega)(mm)^2}{km} \right]$

$L$  = Longitud del alambre [ $km$ ]

$K_c$  = Factor de cableado

$A$  = Área de la sección transversal de cada alambre [ $mm^2$ ]

La siguiente tabla determina el factor de cableado de acuerdo al tipo de conductor.

Tipo de cableado	$k_c$
Redondo normal	0.020
Redondo compacto	0.020
Sectorial	0.015
Segmento	0.020

Tabla 7. Incremento de la resistencia eléctrica por efecto del cableado

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5

$mm^2$	AWG Kcmil	Área de la sección transversal ( $mm^2$ )	Resistencia eléctrica nominal a la c.d (20°C, Cu suave) $\Omega/km$
	8	8.37	2.10
	6	13.30	1.322
	5	16.77	1.05
	4	21.15	0.832
	3	26.70	0.660
	2	33.60	0.523
<b>35</b>		34.89	0.504
	1	42.41	0.415
<b>50</b>		48.30	0.364
	1/0	53.50	0.329
	2/0	67.43	0.261
<b>70</b>		69.00	0.255
	3/0	85.00	0.207
	4/0	107.21	0.134
	250	126.70	0.139
<b>150</b>	300	152.01	0.116
	350	177.34	0.0992
	400	202.70	0.0867
<b>240</b>		242.50	0.0726
	500	253.40	0.0694
	600	304.02	0.0578
	700	354.70	0.0496
	750	380.02	0.0463
	800	405.36	0.0434
	1000	506.7	0.0347

Tabla 8. Resistencia a la corriente directa a 20 °C en conductores de cobre con cableado concéntrico normal, comprimido y compacto

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5



AWG Kcmil	Área de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Resistencia eléctrica nomina a la c.d. a 20°C, Ω/km
2	33.6	0.860
1/0	53.5	0.539
2/0	67.4	0.428
3/0	85.0	0.3391
4/0	107.2	0.269
250	126.7	0.228
350	177.3	0.163
500	253.4	0.114
600	304.0	0.0948
700	354.7	0.0813
1000	506.7	0.0569

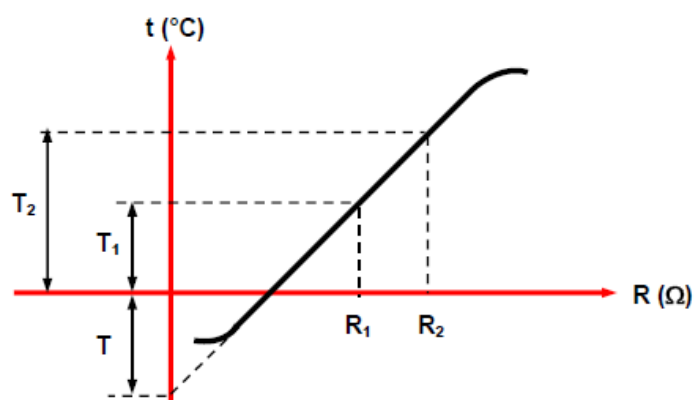
Tabla 9. Resistencia a la corriente directa a 20 °C en conductores de aluminio con cableado concéntrico normal, comprimido y compacto

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5

Cabe señalar, que ésta expresión se utiliza cuando el cable está a una temperatura de 20° C, sin embargo como al ponerse en operación la temperatura suele ser mayor que el valor establecido, entonces es necesario determinar qué es lo que sucede con la resistencia de un conductor cuando la temperatura aumenta.

### 3.2 Corrección por temperatura de la resistencia a la corriente directa

Es necesario hacer esta corrección dado que cuando la temperatura de un conductor aumenta, la resistencia también aumenta de forma significativa, tal y como se muestra en la gráfica en donde se comparan justamente éstos dos parámetros, la resistencia y la temperatura.



Gráfica 1. Resistencia vs temperatura

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 5

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Donde:

$R$  = Resistencia del cable a la temperatura  $T$  [ $\Omega$ ]

$R_0$  = Resistencia del cable a la temperatura  $T_0$  (20° C) [ $\Omega$ ]

$\alpha$  = Coeficiente térmico de resistividad eléctrica a 20° C [ $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ]

En la siguiente tabla se tienen los factores de corrección para calcular la resistencia de cobre y aluminio.

Temperatura del conductos en °C	Factor de corrección a 20°C	
	Cobre	Aluminio
0	1.085	1.088
5	1.062	1.064
10	1.040	1.042
15	1.020	1.020
20	1.000	1.000
25	0.980	0.980
30	0.962	0.961
35	0.944	0.943
40	0.927	0.925
45	0.910	0.908
50	0.894	0.892
55	0.879	0.876
60	0.869	0.861
65	0.850	0.846
70	0.836	0.832
75	0.822	0.818
80	0.809	0.805
85	0.796	0.792
90	0.784	0.780

Tabla 10. Factores de corrección por temperatura para cálculo de resistencias de conductores eléctricos de cobre y aluminio

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5

### 3.3 Resistencia eléctrica de un conductor al paso de la corriente alterna

Cuando se hace pasar corriente alterna a través de un conductor se produce la inducción de un campo magnético, y si cerca de éste se coloca un conductor más y se pone en movimiento se induce una diferencia de potencial, y al suceder esto, se provoca un aumento de la resistencia y como consecuencia un aumento en las pérdidas eléctricas por efecto Joule.

Es justamente en ese punto donde radica la importancia de calcular éste parámetro eléctrico del conductor.

$$R_{ca} = R_{cd}(1 + Y_s + Y_p)$$

Donde:

$R_{ca}$  = Resistencia en corriente alterna a la temperatura de operación [ $\Omega$ ]

$R_{cd}$  = resistencia en corriente directa a la temperatura de operación [ $\Omega$ ]

$Y_s$  = factor de corrección por efecto piel

$Y_p$  = factor de corrección por efecto proximidad

El efecto piel es de mayor magnitud cuando se trata de conductores con grandes secciones y a frecuencias elevadas, por lo cual es importante calcularlo. Factor de corrección por efecto piel:

$$Y_s = \frac{(X_s)^4}{192 + 0.8(X_s)^4}$$

$$(X_s)^2 = \left( \frac{8\pi f}{R_{cd}} \right) 10^{-4} k_s$$

$Y_s$  = Factor de corrección de la resistencia por efecto piel

$f$  = Frecuencia del sistema [Hz].

Para sistemas de transmisión de potencia  $f = 60$ [Hz]

$R_{cd}$  = Resistencia del conductor en corriente directa corregida a temperatura de operación  $\left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

Para este caso, la constante  $k_s$  se considera de la siguiente manera:

Tipo de conductor	$k_s$
Redondo	1.0
Segmental ( 4 segmentos)	0.435

Tabla 11. Valores de constante  $k_s$

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5

De la forma en cómo debe de tomarse en cuenta el efecto piel, también se considera el factor de corrección por efecto proximidad, es decir, que se plasma la relación que existe entre los conductores centrales se encuentran a una determinada distancia.

Lo anterior se valúa a través de la siguiente expresión:

$$Y_p = \frac{(X_p)^4}{192 + 0.8(X_p)^4} \left( \frac{dc}{s} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{dc}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{(X_p)^4}{192 + 0.8(X_p)^4} + 0.27} \right]$$

Y de la misma manera:

$$(X_p)^2 = \left( \frac{8\pi f}{R_{cd}} \right) 10^{-4} k_p$$

Donde:

$Y_p$  = Factor de corrección de la resistencia por efecto proximidad

$f$  = Frecuencia del sistema [Hz]

- Para sistemas de transmisión de potencia  $f = 60$  [Hz]

$R_{cd}$  = Resistencia del conductor en corriente directa corregida a temperatura de operación  $\left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

$dc$  = Diámetro del conductor [mm]

$s$  = Distancia entre ejes de los conductores [mm]

Para el caso de la constante  $k_p$ , se tiene que

Tipo de conductor	$k_p$
Redondo	1.0
Segmental ( 4 segmentos)	0.37

Tabla 12. Valores de constante  $k_p$

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 5

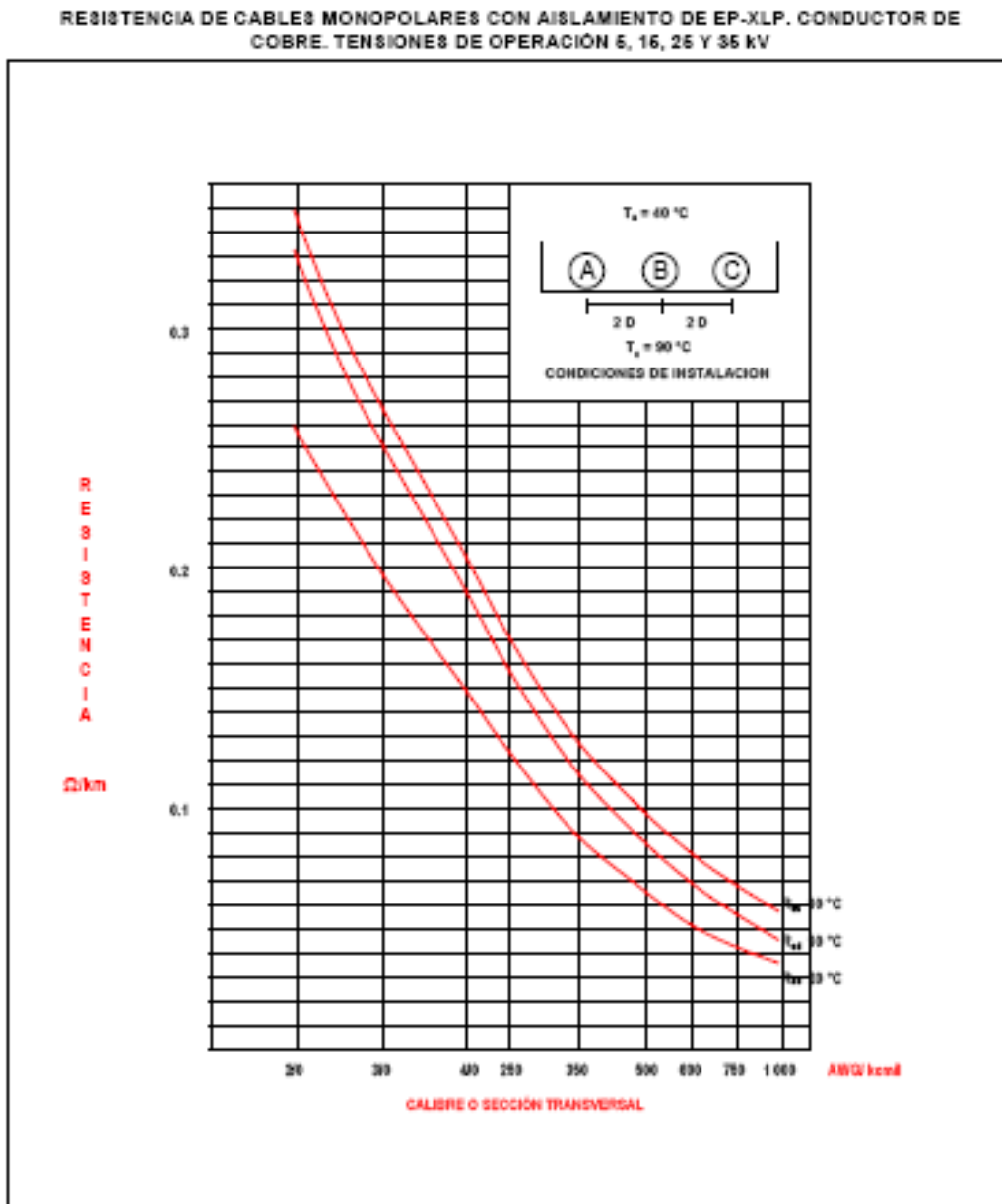
### 3.3.1 Efecto de piel

Es importante mencionar este efecto que se produce cuando al transmitir energía eléctrica a través de un conductor, la corriente que circula se distribuye en la superficie del conductor de acuerdo a la frecuencia de la corriente. Cuando se trata de corriente alterna o directa transmitida a muy baja frecuencia la corriente se distribuye de forma uniforme a través de todo el conductor, sin embargo cuando se aumenta la frecuencia sucede que la corriente circula solamente por la superficie exterior del conductor.

El efecto piel provoca que la resistencia de corriente alterna sea mayor que la de corriente directa, y aún más, cuando se presentan variaciones en la frecuencia, también existen variaciones en la resistencia eléctrica.

### 3.3.2 Efecto de proximidad

Cuando un conductor por el que fluye una corriente alterna se encuentra cercano a otro que transporta corriente de iguales características pero de sentido contrario, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva, la cual se calcula afectando la resistencia original por un factor  $Y_p$ .



Gráfica 2. Resistencia de cables monopolares con aislamiento EP-XLP, conductor de cobre, 5, 15, 25 y 36 [kV]

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 5

Cuando las circunstancias de instalación y por razones de trayectoria impliquen que el sistema de cables se cruce o siga una trayectoria paralela con otros servicios, debe de tomarse en cuenta las condiciones impuestas por la normatividad.

En el caso de que el sistema de cables sea de varios conductores por fase, debe de ponerse especial atención en la manera más recomendable de instalar los cables para evitar efectos de inducción. Por lo cual, deben de seguirse las recomendaciones siguientes:

- Todos los cables de una fase deben tener prácticamente la misma impedancia para evitar que alguno de ellos transmita más corriente y por causa de ello se sobrecaliente, exponiéndolo a un envejecimiento prematuro y posibles fallas.
- Para el caso de líneas cortas (menores a 10 [km]), no es tan relevante que los cables de diferentes fases tengan la misma impedancia.
- Los cables se deben agrupar, de manera que cada circuito debe contener las tres fases.
- La separación entre los circuitos debe ser mucho mayor que la distancia entre centros de cables.

Por lo cual, para cables que tienen una formación plana:

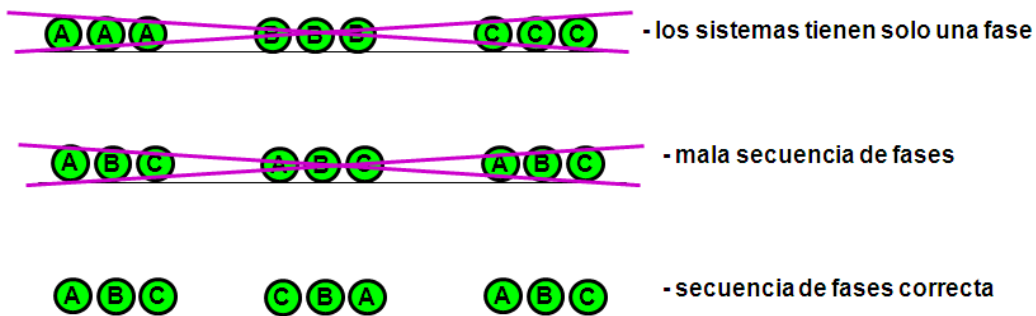


Figura 11. Cables en formación plana

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

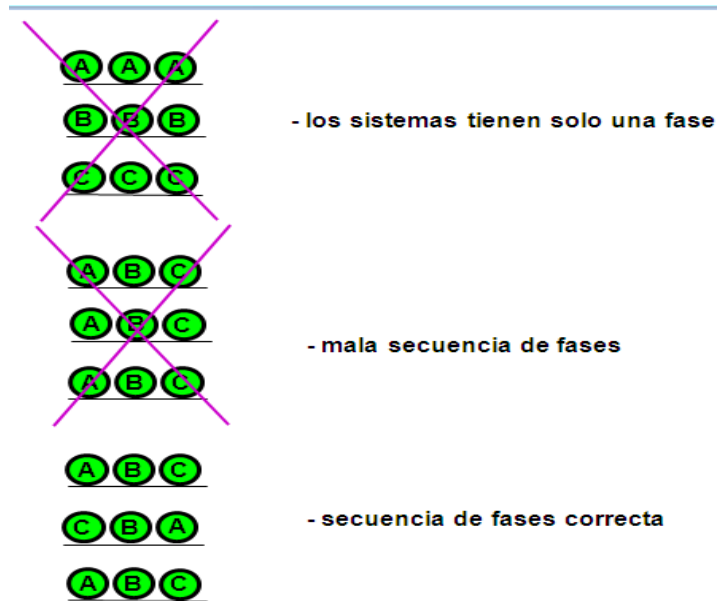


Figura 12. Circuitos de cables en formación plana

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

Para el caso de cables en formación trébol:

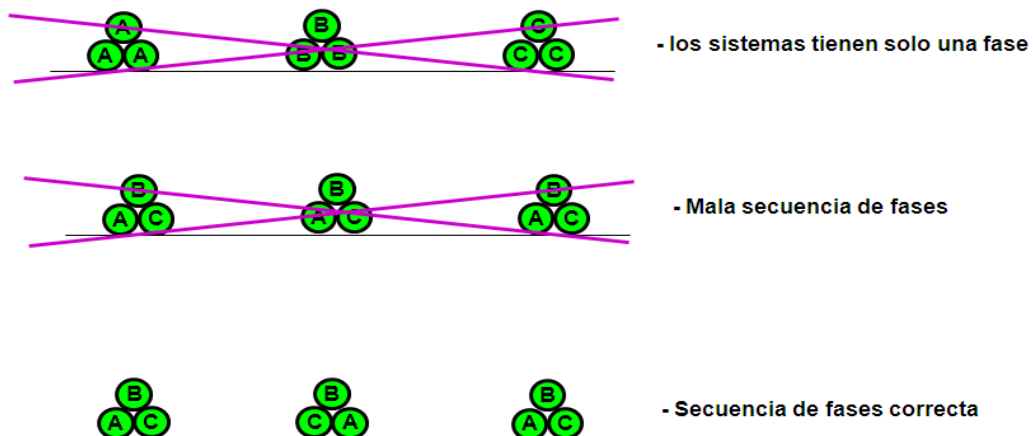


Figura 13. Cables en formación trébol

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

Cuando no sea posible respetar las distancias mínimas indicadas por la normatividad, se recomienda instalar los cables en ductos.

Cuando el cruzamiento sea entre cables de energía y de telecomunicaciones o de aplicaciones parecidas, deben de protegerse mecánicamente con tubos metálicos y con suficiente protección contra la corrosión.

### 3.4 Inductancia

Cuando circula corriente de magnitud variable en el tiempo a través de un conductor eléctrico, se origina un flujo magnético también variable que enlaza no solamente al conductor en el cual la corriente está circulando, sino que también afecta a los demás conductores del circuito, por los cuales también circulan corrientes de la misma naturaleza. Por lo tanto, se conoce como inductancia a la razón de la variación del flujo magnético con respecto a la variación de la corriente en el tiempo. En este caso, siendo  $L$  la inductancia, se tiene que:

$$L \propto \frac{\text{variación del flujo magnético en el tiempo}}{\text{variación de la corriente en el tiempo}}$$

Como ya se ha mencionado, el efecto de la inductancia se relaciona con lo que se produce como efecto del paso de la corriente variable a través de un conductor, y también con lo generado por los conductores del circuito a través de los cuales producen también un flujo magnético. Por lo cual, la inductancia se reduce a la suma de la inductancia propia del conductor y a la inductancia externa producida por los demás conductores sobre éste primero (también llamada inductancia mutua), por lo cual, la inductancia total se calcula mediante la suma de las inductancias propia y mutua:

$$L_T = L_P + L_M$$

Donde:

$$L_T = \text{Inductancia total} \left[ \frac{H}{km} \right]$$

$$L_P = \text{Inductancia propia o autoinductancia} \left[ \frac{H}{km} \right]$$

$$L_M = \text{Inductancia mutua o externa} \left[ \frac{H}{km} \right]$$

Para calcular la inductancia total de los cables de energía se tienen dos formas, dependiendo de cómo estén conectadas las pantallas metálicas a tierra, si es que permiten o no el paso de corriente. Las dos formas son las siguientes:

- a) Cuando se tienen cables sin pantalla o cubierta metálica, o bien, los cables tienen pantallas o cubiertas metálicas, pero éstas se conectan de tal forma que no permiten el flujo de corriente eléctrica a través del conductor de la pantalla o cubierta. Las fórmulas para calcular se encuentran en la siguiente tabla:



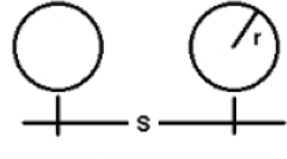
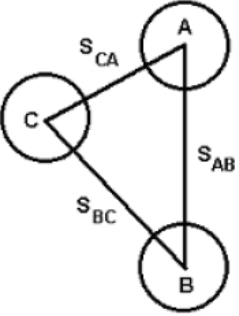
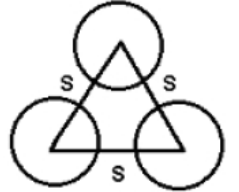
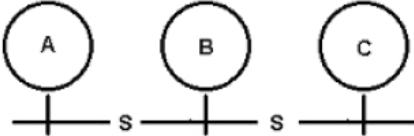
 $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{RMG} \quad (6.3)$	 <p>El valor medio de la inductancia total del sistema es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (6.5)$ <p>Donde DMG es la distancia media geométrica y queda definida como:</p> $DMG = \sqrt[3]{S_{AB} \times S_{BC} \times S_{CA}} \quad (6.5')$ <p><math>S_{AB} \neq S_{BC} \neq S_{CA}</math> Formación triangular</p>
<p>Formación triangular equidistante</p>  <p><math>L = L_A = L_B = L_C</math></p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{S}{RMG} \quad (6.4)$	 <p>El valor medio de la inductancia total es:</p> $L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (6.6)$ <p>donde <math>DMG = \sqrt[3]{2} \times S</math></p> <p>Formación plana</p>

Tabla 13. Fórmulas de cálculo de la inductancia total

Fuente: ConduMex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 6

- b) Cuando se tienen cables con pantalla o cubierta metálica, o bien, los cables tienen pantallas o cubiertas metálicas, pero éstas se conectan de tal forma que permiten el flujo de corriente eléctrica a través del conductor de la pantalla o cubierta. En éste caso se debe de considerar el flujo que se produce por el efecto de las corrientes.

### 3.4.1 Reactancia inductiva

La reactancia inductiva tiene dos elementos a considerar, cuando no existen corrientes inducidas en las pantallas y cuando existen corrientes inducidas en éstas. En cables de energía con pantalla de alambres de cobre y que tienen conexión a tierra en dos o más puntos se van a producir corrientes circulantes que se van a ver limitadas dado que la sección de la pantalla es pequeña y su resistencia eléctrica alta, lo cual se calcula de la siguiente manera, en donde se toma en cuenta la frecuencia del sistema y el valor de la inductancia total:

$$X_L = 2\pi f L_T \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Donde:

$$X_L = \text{Reactancia inductiva en } \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

$$f = \text{Frecuencia del sistema en } [Hz]$$

$$L_T = \text{Es la inductancia total en } \left[ \frac{H}{km} \right]$$

### 3.4.1.1 Inductancia propia

La inductancia propia de un conductor es constante, y depende solamente de que el cable sea sólido o cableado. Matemáticamente, se puede considerar un conductor imaginario que no es cortado por el flujo generado, es decir, que está fuera de su alcance, si se afecta la sección conductora por una constante, se obtiene el radio de un conductor imaginario para que todo el flujo pueda ser considerado externo o mutuo.

Construcción del conductor	RMG
Alambre sólido	0.779 r
Cable de un solo material	
7 hilos	0.726 r
19 hilos	0.758 r
37 hilos	0.768 r
61 hilos	0.772 r
91 hilos	0.774 r
127 hilos	0.776 r

r= radio del conductor

Tabla 14. Radio medio geométrico de conductores usuales

Fuente: Manual técnico de cables de energía. Capítulo 6

### 3.4.1.2 Inductancia mutua

Para el caso de la inductancia mutua o externa, depende de la separación y disposición de los cables, de la construcción del conductor del cable y si tiene pantallas o cubiertas metálicas y también si éstas están conectadas a tierra.

## 3.5 Capacitancia

El cable de energía tiene un comportamiento de un capacitor, ya que el conductor del cable está al potencial de la línea toma el papel de una de las placas del capacitor, mientras que la pantalla que está a tierra funciona como la otra placa, quedando el aislamiento del cable como dieléctrico del condensador:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde:

$C$  = Capacitancia [ $F$ ]

$Q$  = Carga entre los conductores  $\left[ \frac{C}{km} \right]$

$V$  = Diferencia de potencial [ $V$ ]

La expresión anterior, se utiliza de una forma general, sin embargo para cables de energía, la capacitancia se calcula dependiendo de su construcción geométrica, si es monopolar o tripolar, con o sin pantalla, así como del espesor del aislamiento y su material.

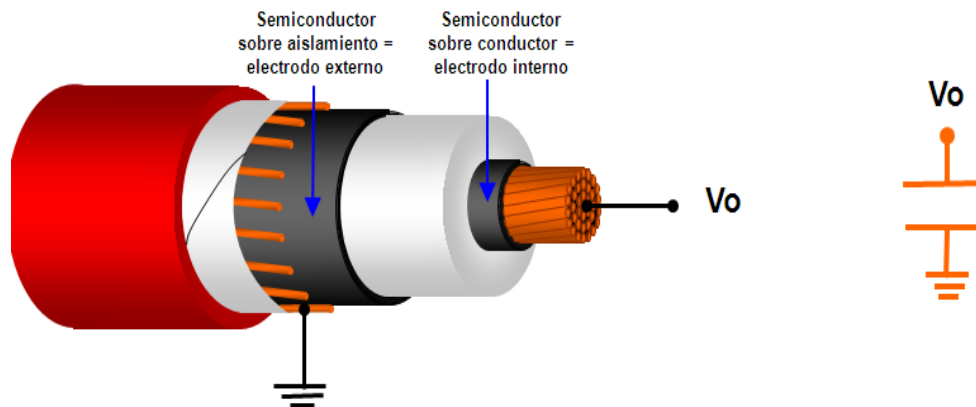


Figura 14. Capacitancia del cable

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

Para un cable monopolar y con pantalla o cubierta metálica, se tiene que el cable representa a un capacitor en el que el conductor se encuentra al potencial de la línea representa una de las paredes, y la pantalla o cubierta metálica que está conectada a tierra, representa la otra pared y el aislamiento es, por lo tanto, el dieléctrico. La fórmula para calcular la capacitancia de un cable con éstas características es:

$$C = \frac{0.0241 SIC}{\log_{10}\left(\frac{d_a}{d_e}\right)} \times 10^{-6} \left[ \frac{F}{km} \right]$$

Donde:

$SIC$  = Capacitancia inductiva específica del aislamiento

$d_a$  = Diámetro sobre el aislamiento [mm]

$d_e$  = Diámetro bajo el aislamiento [mm]

Una expresión íntimamente relacionada con la capacitancia, es la que se tiene a continuación:

$$I = 2\pi fCLV$$

Donde:

$I$  = Corriente capacitiva en el cable [A]

$f$  = Frecuencia del sistema [Hz]

$L$  = Longitud del cable [km]

$V_0$  = Voltaje de fase a tierra del sistema [V]

### 3.5.1 Reactancia capacitiva

La reactancia capacitiva es otro parámetro que se calcula de la siguiente manera:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Donde:

$X_c$  = Reactancia capacitiva  $[\Omega - km]$

$f$  = Frecuencia del sistema  $[Hz]$

$C$  = Capacitancia  $\left[\frac{F}{km}\right]$

### 3.5.2 Capacitancia inductiva específica (SIC)

Para el cálculo de la capacitancia, existen dos constantes que pueden ser utilizadas para su cálculo, en éste caso la capacitancia inductiva específica (SIC) es la razón entre la permitividad eléctrica del aislamiento que se utiliza y la permitividad eléctrica del aire, por lo que se tiene:

$$SIC = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

Donde:

$SIC$  = Capacitancia Inductiva Específica

$\varepsilon$  = Permitividad eléctrica del aislamiento que se utiliza  $\left[\frac{F}{m}\right]$

$\varepsilon_0$  = Permitividad eléctrica del aire  $\left[\frac{F}{m}\right]$

### 3.5.3 Constante dieléctrica

La constante dieléctrica es un parámetro característico de la capacidad de un material dieléctrico (en este caso aislamiento) en un capacitor para producir almacenamiento de energía, mientras más grande sea su valor, mayor será la capacidad.

Por lo que para cada uno de los aislamientos utilizados en los cables de energía se tiene un valor diferente de la constante dieléctrica, en la siguiente tabla se tienen los valores de la SIC de acuerdo a los diferentes aislamientos más usados en cables:

Se tiene la siguiente tabla en donde se presentan los valores de la capacitancia inductiva específica y  $\tan \delta$  para los aislamientos más comúnmente usados.

Aislamiento	$\tan \delta$ (por unidad)	SIC
EP	0.015	2.6
XLP	0.001	2.1
Papel impregnado	0.011	3.9

Tabla 15. Valores de la constante inductiva específica (SIC) y  $\tan \sigma$  para aislamientos empleados usualmente

*Fuente: Cables eléctricos aislados: Descripción y aplicaciones practicas*

### 3.6 Impedancia

La impedancia puede entenderse como una representación compleja de las funciones sinusoidales que permiten establecer una relación entre la amplitud y el ángulo de fase de la corriente y la tensión.

Cuando un circuito que es excitado por una fuente de tensión, que resulta ser una función sinusoidal del tiempo a una frecuencia establecida, va a circular por éste una corriente que depende del tiempo y de la misma frecuencia, además de que tendrá una amplitud y ángulo de fase que dependen de la tensión que sea aplicada, así como de la resistencia, inductancia y capacitancia del mismo circuito.

Para considerar el concepto de impedancia, se tienen que mencionar previamente algunos otros junto con las expresiones matemáticas que los definen. Cuando se alimenta un elemento resistivo  $R$  con una tensión  $E$  se genera el flujo de una corriente  $I$  de magnitud correspondiente con la ley de Ohm.

$$I = \frac{E}{R}$$

Ahora bien, si el elemento resistivo es sustituido por un elemento reactivo  $X$ , inductivo o capacitivo, el flujo de la corriente ahora sería:

$$I = \frac{E}{X}$$

En éste caso, el flujo de corriente estaría desfasado  $90^\circ$  con respecto al voltaje aplicado, ya sea atrasado o adelantado, según la reactancia sea inductiva o capacitiva.

De manera más precisa, considerando que en un circuito siempre están presentes la combinación de resistencias, capacitancias o inductancias, es imprescindible utilizar el concepto de impedancia junto con la ley de Ohm generalizada.

$$I = \frac{E}{Z}$$

Donde:

$I$  = Flujo de corriente

$E$  = Voltaje de aplicación

$Z$  = Impedancia

Si el circuito con el que se esté trabajando presenta una resistencia y una inductancia en serie, entonces la impedancia tiene que expresarse así:

$$Z = R + jX_L$$

Donde:

$R$  = Resistencia

$X_L$  = Reactancia inductiva

El operador  $j$  significa un giro de  $90^\circ$  a la parte imaginaria de la ecuación anterior, por lo que la ecuación para calcular el módulo o la magnitud de la impedancia se tiene:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Y para calcular el ángulo de fase o argumento de la impedancia se tiene:

$$\theta = \arctan\left(\frac{X_L}{R}\right)$$

### 3.7 Pérdidas eléctricas

Las pérdidas eléctricas están siempre presentes en un circuito formado por un cable de potencia, debido al efecto Joule, a través del cual se disipa energía eléctrica en forma de calor.

Es decir, cuando un cable se pone en servicio y comienza a transportar energía, éste se calienta a causa de las pérdidas que se originan en sus diferentes componentes, como el conductor, el aislamiento y las pantallas metálicas.

### 3.7.1 En el conductor

Se tiene que para un cable por efecto Joule, el calor generado en el conductor se calcula mediante la expresión:

$$w_c = I^2 R \times 10^{-3} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

Donde:

$w_c$  = Calor generado en el conductor (Pérdidas)  $\left[ \frac{kW}{km} \right]$

$I$  = Corriente eléctrica en el conductor [A]

$R$  = Resistencia del conductor en corriente alterna a la temperatura de operación  $\left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

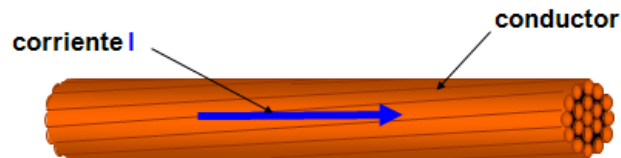


Figura 15. Paso de corriente eléctrica a través de un conductor

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

La expresión anterior muestra que cuando circula corriente eléctrica en un conductor, parte de esa energía se transforma en calor a causa del choque que se presenta entre las moléculas del conductor por el que circulan, aumentando de ésta manera la temperatura de éste. Con el objetivo de cuantificar las pérdidas en un periodo de tiempo, se evalúan las pérdidas en unidades de energía, en este caso [Kw-h], y de la ecuación anterior se obtiene

$$W_c = w_c L N H F_p \left[ \frac{kW-h}{año} \right]$$

Donde:

$w_c$  = Pérdidas evaluadas  $\left[ \frac{kW}{km} \right]$

$L$  = Longitud del circuito [km]

$N$  = Número de cables del sistema

$H$  = Horas efectivas de operación del sistema [h]

$F_p$  = Factor de pérdidas

A su vez, el factor de pérdidas viene determinado por:

$$F_p = 0.3F_c + 0.7F_c^2$$

Donde:

$F_c$  = Factor de pérdidas en por unidad

### 3.7.2 En el aislamiento

Está muy claro que aún los materiales aislantes están sujetos a una diferencia de potencial y por lo tanto a una circulación de corriente, la cual también produce calor. Las pérdidas en el aislamiento dependen del tipo de aislamiento, concretamente de la permitividad y el factor de potencia, por lo cual las pérdidas en el aislamiento se calculan:

$$w_d = (2\pi f C E_0^2 \tan \delta) \times 10^{-3} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

Donde:

$f$  = Frecuencia [Hz]

$E_0$  = Voltaje al neutro [V]

$\tan \delta$  = Factor de pérdidas de aislamiento y temperatura de operación

$C$  = Capacitancia del cable  $\left[ \frac{F}{km} \right]$

De la misma manera que en el caso anterior, las pérdidas en el aislamiento también se puede expresar en términos de energía, a través de la siguiente expresión:

$$W_d = w_d L N H \left[ \frac{kW-h}{año} \right]$$

Donde:

$w_d$  = Pérdidas calculadas  $\left[ \frac{kW}{km} \right]$

$L$  = Longitud del circuito [km]

$N$  = Número de cables del sistema

$H$  = Horas efectivas de operación del sistema [h]

En esta expresión se observa que las pérdidas en el aislamiento son constantes, y para que se hagan presentes es suficiente con energizar el cable, aún cuando no haya carga.



### 3.7.3 En la pantalla metálica

La corriente que circula por el conductor de un cable de potencia induce una corriente por las pantallas o cubiertas metálicas cuando se encuentran conectadas en sus extremos. Por lo tanto, también se tiene el cálculo de las pérdidas en la pantalla metálica:

$$w_p = I_p^2 R_p \times 10^{-3} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

Donde:

$$w_p = \text{Calor generado en la pantalla} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

$$I_p = \text{Corriente eléctrica en pantalla} [A]$$

$$R_p = \text{Resistencia de la pantalla a la temperatura de operación} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

También se tiene que:

$$\lambda = \frac{w_p}{w_c} = \frac{(I_p)^2 R_p}{I^2 R_c}$$

Donde:

$\lambda$  = Relación de pérdidas entre pantalla y conductor

$$w_c = \text{Calor generado en el conductor} \left[ \frac{W}{m} \right]$$

$R_c$  = Resistencia eléctrica del conductor a la corriente alterna a la temperatura de operación  $\left[ \frac{\Omega}{m} \right]$

$I$  = Corriente circulando en el conductor [A]

Para tener las pérdidas en términos de energía, se tiene la siguiente fórmula:

$$W_p = w_p L H F_p \left[ \frac{kW-h}{año} \right]$$

Donde:

$$w_p = \text{Pérdidas evaluadas} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

$L$  = Longitud del circuito [km]

$N$  = Número de cables del sistema

$H$  = Horas efectivas de operación del sistema [h]

### 3.7.4 Otras pérdidas

Adicionalmente a las pérdidas mencionadas en los puntos anteriores, existen otras menos perceptibles pero no por ellos insignificantes, como las pérdidas eléctricas debidas a las corrientes de Foucault, ya que cuando una capa de material magnético envuelve tres almas aisladas y con pantalla, como lo puede ser la armadura de acero de un cable tripolar, o también puede ser una armadura tubular de acero por el que circulan tres cables unipolares, la presencia de la cubierta aumenta las pérdidas en las pantallas, por lo cual es recomendable, que se evita en la medida de lo posible utilizar armaduras de materiales ferromagnéticos.

Existen otras pérdidas por efecto de proximidad, ya que debido a las tensiones que se inducen en las pantallas no son iguales en todo su perímetro se generan en dichas pantallas otras corrientes transversales que son distintas a las longitudinales de circulación, para los cables unipolares éstas corrientes por efecto de proximidad son más intensas cuanto más cercanos estén los cables entre sí.

### 3.7.5 Pérdidas totales

Las pérdidas totales, como es de suponerse no son otra cosa más que la suma de las pérdidas calculadas anteriormente, y en términos de energía se tiene que se calculan mediante:

$$W_T = [(w_c + w_p)F_p + w_d]LHN \left[ \frac{kW \cdot h}{\text{año}} \right]$$

Donde:

$$w_c = \text{Pérdidas evaluadas} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

$$w_p = \text{Calor generado en la pantalla} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

$$w_d = \text{Pérdidas calculadas} \left[ \frac{kW}{km} \right]$$

$F_p$  = Factor de pérdidas

$L$  = Longitud del circuito  $[km]$

$N$  = Número de cables del sistema

$H$  = Horas efectivas de operación del sistema  $[h]$

O bien, se pueden calcular:

$$W_T = W_c + W_d + W_p \left[ \frac{kW \cdot h}{\text{año}} \right]$$

En el caso de cables multiconductores con pantalla común, generalmente las corrientes inducidas son pequeñas, ya que la pantalla o cubierta circunda a todos los conductores, y los efectos inductivos de la corriente en un conductor son neutralizados casi por completo por los efectos de las corrientes en los demás conductores. Sin embargo, para conductores de secciones mayores y corrientes elevadas, la neutralización no es completa y existen pérdidas apreciables en la pantalla. Para cables tripolares con conductores redondos, la resistencia efectiva  $R_e$  se puede calcular con:

$$R_e = \left( \frac{4260S^2}{R_p r_0^2} \right) \times 10^{-6} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Donde S, a su vez, está dada por:

$$S = \frac{1}{\sqrt{3}}(d + 2t)$$

Donde:

$d$  = Diámetro del conductor en [cm]

$t$  = Espesor de aislamiento en [cm]

$R_p$  = Resistencia de la pantalla en  $\left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

$r_0$  = Radio medio de la pantalla o cubierta en [cm]



# CAPÍTULO IV. SELECCIÓN DE UN CABLE DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN

Existen varios criterios para la selección del cable que va a ser utilizado para la instalación, y en definitiva es lo más importante antes de realizar la instalación, por lo cual se debe tener la suficiente atención para elegir el o los criterios adecuados para seleccionar el cable que se requiere. A continuación se presentan dichos criterios de selección que dan los elementos suficientes para estar convencidos de que la selección ha sido la correcta.

## 4.1 Por nivel de aislamiento

Los niveles de aislamiento pueden ser del 100%, 133% ó 173%, cada nivel se utiliza dependiendo de la protección asociada al circuito para el cual el cable está prestando el servicio.

El nivel de aislamiento es un criterio de selección del cable poco considerado, sin embargo de vital importancia ya que tiene que ver con el espesor que tendrá el cable, y sobre todo el tiempo en el que una falla se liberará, tomando como referencia el voltaje de operación entre fases y las características del sistema. Los niveles de aislamiento se clasifican:

### 4.1.1 Categoría I. Nivel 100%

En ésta categoría se encuentran los cables que tienen un sistema de protección con relevadores que liberan una falla rápidamente, en un tiempo menor a un minuto. Se puede aplicar a la mayoría de los sistemas que tienen el neutro conectado a tierra.

Cuando el cable para Media Tensión está conectado a un circuito provisto de un relé de protección contra fallas a tierra que despeje el evento tan rápido como sea posible (pero que no supere un minuto de duración), se puede utilizar un cable para Media Tensión con nivel de aislamiento del 100%.

### 4.1.2 Categoría II. Nivel 133%

Se aplican éstos niveles de aislamiento en donde las condiciones de tiempo de operación de las protecciones liberan una falla que ocurra en un tiempo menor a una hora. Se puede utilizar éste nivel de aislamiento en las instalaciones en donde se desee un nivel de espesor mayor al 100%, como por ejemplo los cables submarinos o subacuáticos.

El nivel del 133% se utiliza para sistemas conocidos formalmente como sistemas no aterrizados, se utiliza cuando el tiempo para despeje de fallas no

encaja para un aislamiento del 100% y el tiempo de despeje de la falla no excede una hora de duración.

#### 4.1.3 Categoría III. Nivel 173%

Los cables con este nivel de aislamiento se utiliza en los sistemas en los que el tiempo para liberar una falla es mayor a una hora. Se recomienda usar éste nivel para los sistemas que tienen problemas de resonancia, en los que se pueden presentar niveles de sobretensiones de muy grande magnitud. Ésta categoría no está normalizada, por lo que se debe de evaluar cuidadosamente el diseño del sistema con un 173% de aislamiento.

#### 4.2 Por capacidad de conducción de corriente

El principal elemento que debe de considerarse para definir el cable que ha de ser seleccionado, es la corriente que va a circular por el conductor, y para ello hay que considerar las siguientes expresiones, la potencia de un sistema está definida por:

$$S = VI$$

Donde:

$S$  = Potencia del sistema [kVA]

$V$  = Voltaje del sistema [kV]

$I$  = Corriente del sistema [A]

Por lo que para saber la corriente que va a circular por un sistema trifásico se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{S[kVA]}{\sqrt{3}(V)[kV]} [A]$$

De ésta manera, el valor de la corriente  $I$  determinará el calibre del cable a utilizar, si es que solamente se va a tomar en cuenta éste parámetro para la selección del tipo de conductor y cable.

TamañoDesignación		Capacidad de conducción de corriente para 2 001 V - 5 000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5 001 V - 35 000 V	
Mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8,37	<b>8</b>	65	<b>74</b>		
13,3	<b>6</b>	90	99	100	110
<b>21,2</b>	<b>4</b>	120	130	130	140
33,6	<b>2</b>	160	175	170	195
<b>42,4</b>	<b>1</b>	185	205	195	225
53,5	1/0	215	<b>240</b>	225	255
<b>67,4</b>	<b>2/0</b>	250	275	260	295
85,0	3/0	290	320	300	340

107	<b>4/0</b>	335	375	345	390
127	250	375	415	380	430
177	350	465	515	470	525
253	500	580	645	580	650
380	750	750	835	730	820
507	1000	880	980	850	950

TamañoDesignación		Capacidad de conducción de corriente para 2 001 V - 5 000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5 001 V - 35 000 V	
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13,3	<b>6</b>	70	77	75	<b>84</b>
<b>21,2</b>	<b>4</b>	90	100	100	110
33,6	<b>2</b>	125	135	130	150
<b>42,4</b>	<b>1</b>	145	160	150	175
53,5	1/0	170	185	175	200
<b>67,4</b>	<b>2/0</b>	195	215	200	230
85,0	3/0	<b>225</b>	250	230	265
107	<b>4/0</b>	265	290	270	305
127	250	295	325	300	335
177	350	365	405	370	415
253	500	460	510	460	515
380	750	600	665	590	660
507	1000	715	800	700	780

Tablas 16 y 17- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de cables monoconductores de aluminio aislados MT (MV), en configuración tríplex al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura de aire ambiente de 40 °C.

*Fuente: Manual técnico de cables de energía, capítulo 10*

La capacidad de corriente de corto circuito del conductor de fase es un parámetro que se debe tener presente en la selección particular del cable para Media Tensión para una instalación determinada.

La corriente máxima de corto circuito en el conductor viene dada por el material y área del conductor, la temperatura máxima que se puede alcanzar y el tiempo de duración de la falla.

### 4.3 Por caída de tensión

Otro criterio que necesita considerarse para la selección del cable es la que tiene que ver con las pérdidas por causa del efecto Joule, ya que es bien sabido que cuando una corriente circula a través de un conductor, éste se calienta y dichas pérdidas se traducen en calor. Por lo tanto, en una caída en la diferencia de potencial que se va acumulando en toda la longitud del cable que finalmente se manifiesta en los extremos, a lo cual se le llama caída de tensión. De ésta manera, es muy importante considerar el calibre y tipo de cable adecuado para evitar que las pérdidas por efecto Joule sean muy altas y de ésta forma mantener una caída de tensión que sea aceptable de acuerdo a las necesidades para las cuales fue diseñado el circuito.

La caída de tensión se determina evaluando las pérdidas que se presentan en el conductor, aislamiento y protecciones metálicas.

La caída de tensión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = k(I)(l)(R \cos \theta + X \sin \theta) - \frac{1}{2} k(I_c)(X)(l)$$

Sin embargo, por lo general en la caída de tensión que se calcula para líneas cortas, se puede despreciar la reactancia capacitiva, por lo cual la expresión se reduce a:

$$V = k(I)(l)(R \cos \theta + X \sin \theta)$$

Donde:

$k = \sqrt{3}$  Para líneas trifásicas y 2 para líneas monofásicas o de corriente continua.

$I$  = Intensidad de corriente [A]

$l$  = Longitud de línea en [km]

$R$  y  $X$  = Resistencia y reactancia de la línea en  $\left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

$\cos \theta$  = Factor de potencia de la instalación.

Las aplicaciones generales de cables de energía aislados para media tensión rara vez implican distancias mayores a los 10 kilómetros, lo que nos permite calcular estos cables como una línea de transmisión corta. En este caso la impedancia está dada por la combinación en serie de la resistencia del conductor con la inductancia del cable, ya que la corriente capacitiva absorbida por el cable es despreciable para los efectos de cálculo.

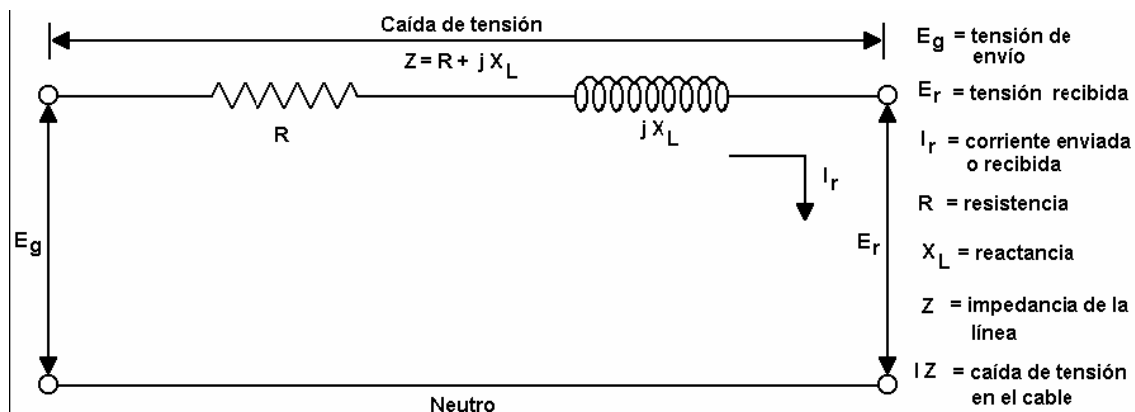


Figura 16. Caída de tensión



#### 4.4 Por regulación de voltaje

La regulación de tensión es un concepto tan importante que se considera como un criterio para seleccionar el calibre de un cable aislado, y dicha selección se basa en que se permita una caída de tensión inferior al 3% en el alimentador respecto a la tensión nominal y que no supere el 5% en la carga más alejada.

La manera de calcular la regulación de voltaje de una forma adecuada es expresada como el porcentaje del incremento de la tensión que se obtiene en el extremo de salida de un cable, cuando se retira una carga con un determinado factor de potencia, en tanto que la tensión del extremo de entrada permanece constante. Debido a que la tensión de entrada suele ser constante, es conveniente que el factor de potencia sea aproximado a 1 para asegurar una tensión de alimentación previsible en el extremo receptor. Por lo cual se calcula:

$$\% \text{regulación} = \frac{|V_{SC}| - |V_{PC}|}{|V_{PC}|} (100)$$

Donde:

$|V_{SC}|$  = Tensión sin carga

$|V_{PC}|$  = Tensión a plena carga

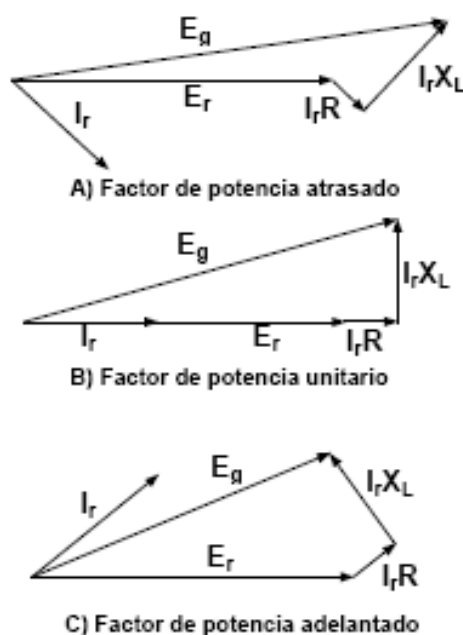


Figura 17. Factor de potencia

En los diagramas fasoriales de la figura se puede observar que se requiere una tensión de envío ( $E_g$ ) mayor (fig. A) para mantener constante la tensión

recibida ( $E_r$ ), cuando la corriente requerida por la carga está desfasada en atraso con respecto a la tensión, en comparación con la misma corriente en fase con  $E_r$  (fig. B). Se requiere una tensión de envío todavía menor para mantener la tensión recibida, cuando la corriente tomada por la carga está desfasada en adelanto. Se dice que, en el primer caso (factor de potencia atrasado) la regulación es mayor, mientras que es menor (factor de potencia unitario) o incluso negativa, cuando el factor de potencia está en adelanto.

#### 4.5 Por corriente de corto circuito

Bajo condiciones de cortocircuito se incrementa con rapidez la temperatura de los elementos metálicos de los cables de energía (conductor y pantalla o cubierta metálica), cuando están diseñados para soportar tal incremento; el límite dependerá de la temperatura máxima admisible para la cual no se deteriore el material de las capas vecinas, esto es, la que resulte menor entre la del conductor, que no dañe al aislamiento, o la de la pantalla, para no deteriorar el aislamiento, pantalla semiconductor o cubierta. En la tabla 18 aparecen los valores máximos aceptados por las normas ICEA.

Material de cable en contacto con el metal	Conductor	Pantalla
Termofijos (XLP o EP)	250	350*
Termoplásticos (PVC o PE)	150	200
Papel impregnado en aceite	200	200

\*Para cables con cubierta de plomo, esta temperatura deberá limitarse a 200° C

Tabla 18. Temperaturas máximas admisibles en condiciones de cortocircuito °C

*Fuente: Manual técnico de cables de energía, capítulo 11*

Si la sección del conductor o de la pantalla no es la adecuada para soportar las condiciones de cortocircuito, el intenso calor generado en tan poco tiempo produce un daño severo en forma permanente en el aislamiento, e incluso forma cavidades entre la pantalla semiconductor y el aislamiento, las cuales provocan serios problemas de ionización.

Por otra parte, para determinar la corriente permisible en el conductor o pantalla, es necesario conocer el tiempo que transcurre antes de que las protecciones operen para liberar la falla.

Asimismo, de acuerdo con el tipo de falla, se deberán verificar los distintos componentes de la siguiente manera:

a) Para el conductor:

- Cortocircuito trifásico balanceado.
- Cortocircuito trifásico desbalanceado, calculando la corriente de falla de secuencia cero.

b) Para la pantalla:

- Cortocircuito de fase a tierra.
- Cortocircuito trifásico desbalanceado, calculando la corriente de falla de secuencia cero.

<b>Interruptores de potencia coordinados por relevadores 2.4-13.8 [kV]</b>	<b>Disparo instantáneo</b>	<b>Relevador de inducción instantáneo</b>	<b>Relevador de inducción de tiempo inverso</b>
<b>Tiempos de relevador en ciclos</b>	0.25-1	0.5-2	6-6000
<b>Tiempo de interrupción del interruptor de potencia en ciclos</b>	3-8	3-8	3-8
<b>Tiempo total en ciclos</b>	3.25-9	3.5-10	9-6000
<b>Fusibles de medio y alto voltaje</b>			
<b>Alta corriente</b>	0.25 ciclos (para fusibles limitadores de corriente operando dentro de sus rangos de diseño)		
<b>Baja corriente</b>	600 segundos (para fusibles tipo E operando al doble de su capacidad nominal; otras capacidades están disponibles con diferentes tiempos considerando el doble de su capacidad nominal)		

Tabla 19. Tiempos estimados de liberación de falla de diversos dispositivos de protección.

*Fuente: Manual técnico de cables de energía, capítulo 11*

La siguiente ecuación permite verificar la sección del conductor, conocidos los amperes de falla y duración de la misma.

$$\left(\frac{I}{A}\right)^2 t = K \log\left(\frac{T_2 + T}{T_1 + T}\right)$$

Donde:

$I$  = Corriente máxima de cortocircuito permitida, amperes

$K$  = Constante que depende del material del conductor (tabla 20)

$A$  = Área de la sección transversal del conductor, circular mils

$t$  = Tiempo de duración del cortocircuito, segundos

$T$  = Temperatura en °C (bajo cero), en la cual el material del que se trate tiene resistencia eléctrica teóricamente nula (tabla 20)

$T_1$  = Temperatura de operación normal del conductor, °C

$T_2$  = Temperatura máxima de cortocircuito que soporta el aislamiento, °C

Los valores de  $K$  y  $T$  se encuentran en la siguiente tabla:

Material	K	T
Cobre	0.0297	234.5
Aluminio	0.0125	228.0
Plomo	0.00108	236.0
Acero	0.00355	180.0

Tabla 20. Valores de  $K$  y  $T$  para la ecuación anterior

*Fuente: Manual técnico de cables de energía, capítulo 11*

Esta ecuación está basada en la premisa de que, debido a la cantidad de metal concentrado y la duración tan corta de la falla, el calor permanece en el metal formando un sistema adiabático.

Esta consideración es muy cercana a la realidad, en el caso del conductor, pero objetable para las pantallas, ya que éstas tienen una mayor área de disipación de calor y una menor concentración de la masa metálica.

La ecuación anterior resultaría entonces conservadora para las pantallas y, en la mayoría de los casos, daría como resultado mayor área de la necesaria.

Modificando la ecuación podemos encontrar el área de la pantalla de un sistema en que se conozca magnitud y duración de la corriente de falla, o el tiempo de duración de la falla para una pantalla o cubierta de sección conocida.

Cuando se trate de analizar el comportamiento bajo condiciones de cortocircuito de nuestros cables comerciales, con parámetros perfectamente definidos, la fórmula se puede escribir:

$$I = C \left( \frac{A}{\sqrt{t}} \right)$$

A y t tienen el mismo significado anterior, la constante C depende de:

- a) Las unidades de A.
- b) El material del conductor.
- c) El tipo de aislamiento.

<b>Tipo de cable</b>	<b>Conductor*</b>	<b>Pantalla**</b>
<b>Vulcanel (EP o XLP) con cubierta de PVC</b>	141.90	128.28
<b>Sintenax</b>	110.32	138.14
<b>Vulcanel 23 TC</b>	141.90	128.28
<b>Vulcanel (EP o XLP) con cubierta de plomo</b>	141.90	23.68
<b>Vulcanel – DRS</b>	92.76	177.62
<b>Vulcanel – DS</b>	92.76	128.28
<b>6 PT</b>	77.16	23.68
<b>23 PT</b>	83.48	25.65

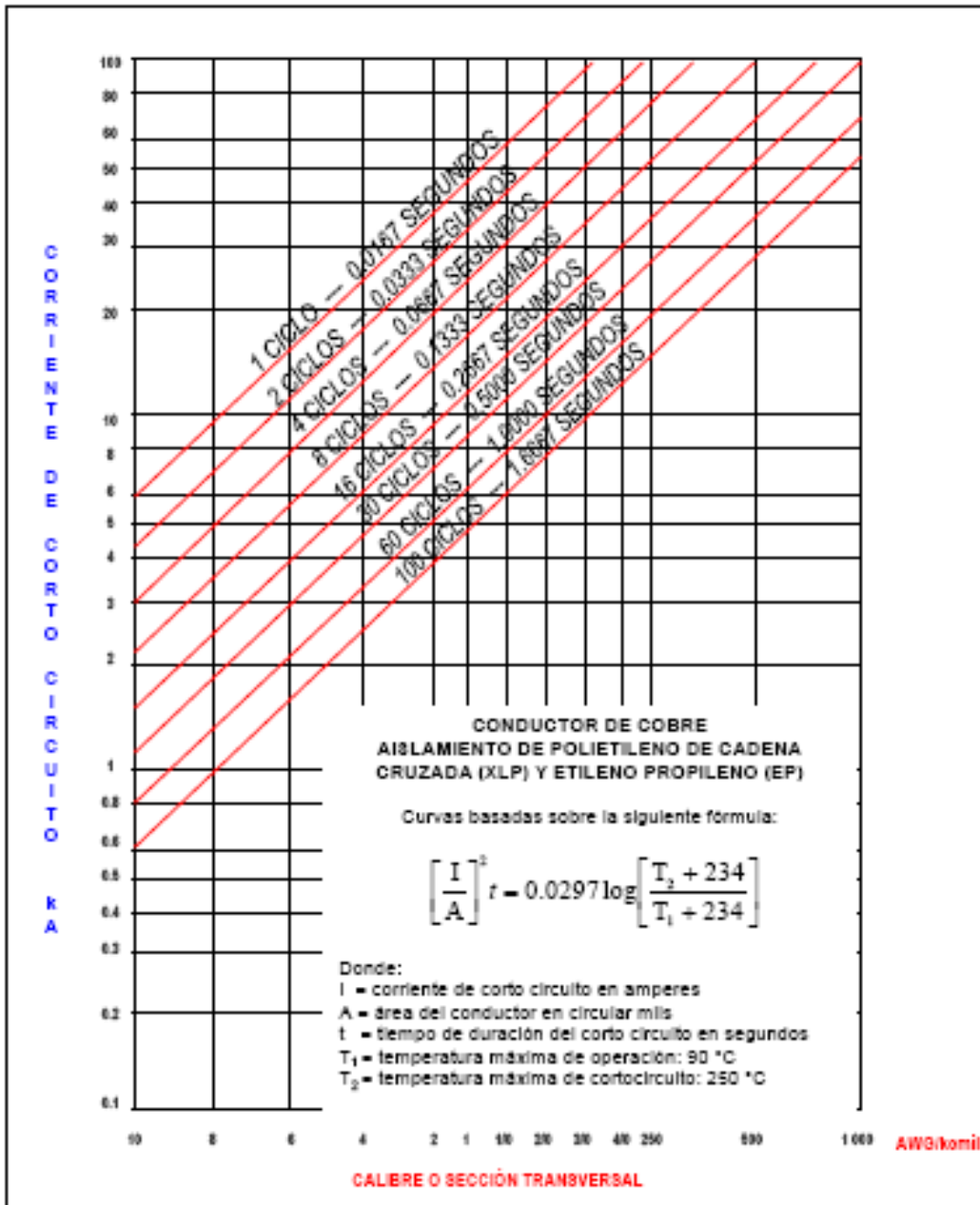
\*Se supone que la temperatura en el conductor es la máxima operación

\*\* La temperatura en la pantalla se considera, para cables de media tensión, 10°C debajo de la del conductor. Las cubiertas o pantallas son las usuales de construcción para los cables aislados.

Tabla 21. Valores de C para determinar la corriente de cortocircuito en el conductor y pantalla o cubierta

*Fuente: Manual técnico de cables de energía, capítulo 11*

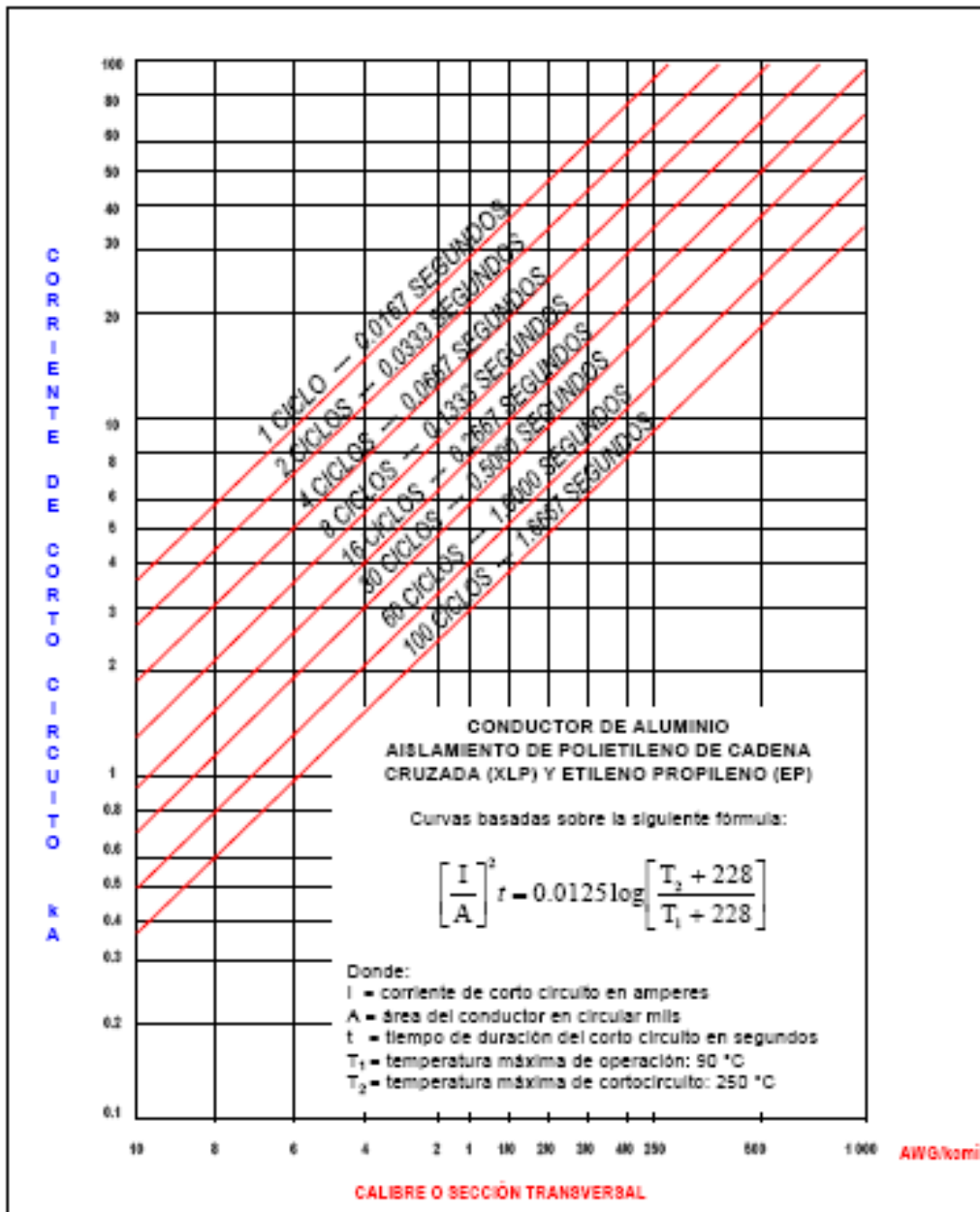
**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE COBRE**



Gráfica 3. Corrientes de corto circuito permitidas para cables aislados con conductor de cobre.

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía

**CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PERMISIBLES PARA CABLES AISLADOS CON CONDUCTOR DE ALUMINIO**



Gráfica 4. Corrientes de corto circuito permisibles para cables aislados con conductor de aluminio

*Fuente: Condux. Manual técnico de cables de energía, capítulo 11*

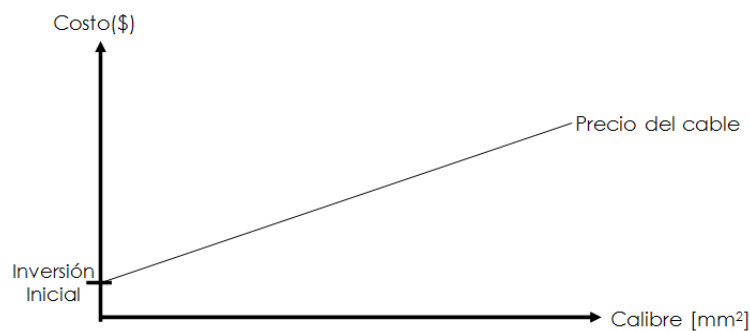
#### 4.6 Por calibre económico

Esta manera de seleccionar un cable de energía da oportunidades de ahorro, ya que mientras menos pérdidas existan en el cable, también existirán menos pérdidas económicas. Anteriormente ya se ha revisado la forma de calcular las pérdidas en los elementos de un cable de energía, las cuales si se evalúan económicamente, adicionadas a los costos por mantenimiento dan como resultado los costos totales de operación del sistema de cables.

Un sistema de cables demanda una carga determinada de acuerdo a lo que ha de alimentar, y a ésta carga corresponde un calibre mínimo aceptable y también un costo mínimo inicial. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que existen calibres mayores al mínimo si se consideran para la misma carga producirían menos pérdidas debido a la menor resistencia eléctrica tanto por el aumento del área conductora como por la temperatura de operación, pero por otro lado implica un mayor costo inicial.

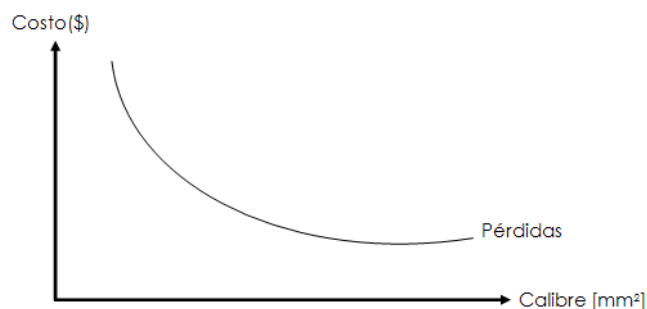
En resumen, para un calibre mínimo aceptable se requiere una menor inversión inicial pero un mayor costo de pérdidas, y para secciones mayores de conductor se tiene que hacer una mayor inversión inicial pero se tienen menos pérdidas eléctricas, estableciendo así una relación inversa de costos de acuerdo al calibre que se seleccione, esto proyectado a varios años permite determinar cuál es la mejor forma de elección del calibre de un cable.

La siguiente figura establece la relación costo-sección [ $\text{mm}^2$ ], que sigue una ecuación lineal, y la tendencia sigue para secciones mayores.



Gráfica 5. Precio del cable y su calibre

Por otro lado, en la misma relación costo-calibre [ $\text{mm}^2$ ], se tiene que mientras mayor sea el calibre, para una misma carga, menores serán las pérdidas.

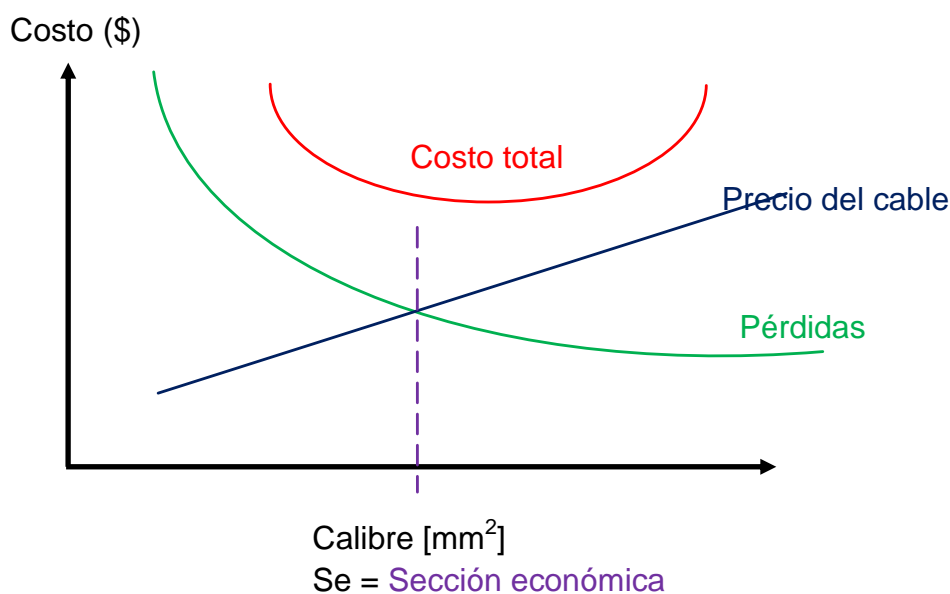


Gráfica 6. Costo de las pérdidas

La selección del calibre económico se logra mediante la comparación del costo inicial y las pérdidas, considerando diversos calibres.



Ahora bien, si se suman las pérdidas del cable y su costo, se obtiene una tercer curva que son los gastos totales, de la cual su función se deriva con un valor igual a cero y se obtiene finalmente el calibre económico recomendado.



Gráfica 7. Selección económica del cable

La siguiente ecuación permite calcular la sección económica del conductor, considerando solamente pérdidas en el conductor:

$$S_e = (I) \sqrt{\frac{(\rho)(N)(H)(P)(F_p)(A)10^{-3}}{G}} [mm^2]$$

Donde:

$I$  = Corriente que circula en el conductor [A]

$\rho$  = Resistividad del conductor a la temperatura de operación del cable

$$\left[ \frac{\Omega mm^2}{km} \right]$$

$N$  = Número de cables del sistema

$H$  = Número de horas de operación al año [h]

$P$  = Costo de la energía  $\left[ \frac{\$}{kWh} \right]$

Dado que es una proyección a futuro, se tiene que calcular el precio a un valor actual, por lo cual se tiene que:

$$P = (R) \left( \frac{(1-i)^n - 1}{(1-i)^n (i)} \right)$$

Donde:

R = Número de pagos futuros que se llevarán a valor presente

i = Tasa de interés admisible

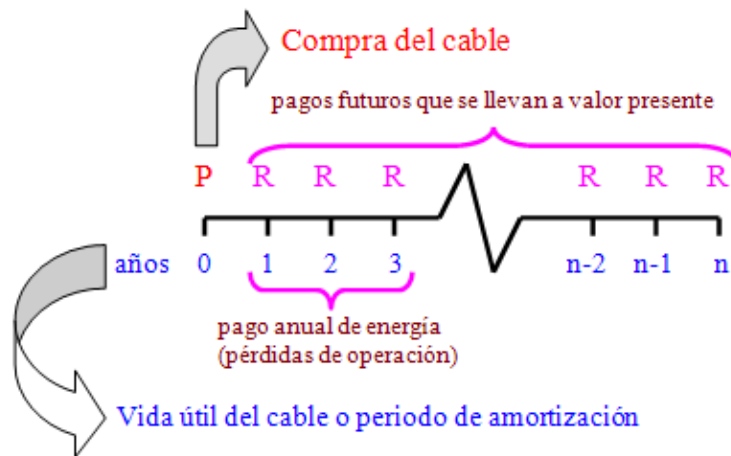


Figura 18. Periodo de amortización del cable

Fuente: Selección del calibre económico como una alternativa para el ahorro de energía

$F_p$  = Factor de pérdidas

A = Factor para convertir a valor presente los costos de las pérdidas de energía ocurridos durante N años a una tasa de interés i.

De donde se desprende que:

$$A = \frac{(1-i)^n - 1}{(1-i)^n (i)}$$

Donde:

i = Tasa de interés admisible

n = Vida útil del cable o periodo de amortización requerido

G = Pendiente de la recta, precio vs calibre de los cables. Esto se calcula de la siguiente manera:

$$G = \frac{(P_2 - P_1)}{(S_2 - S_1)}$$

Donde:

$P_2$  = Precio del cable inicial

$P_1$  = Precio del cable comparativo

$S_2$  = Sección transversal del cable inicial

$S_1$  = Sección transversal del cable comparativo

Con ésta forma de seleccionar el calibre de un cable, se ahorra energía y por lo tanto se tienen menores pérdidas, claro que la inversión inicial es mayor, pero al proyectarse a futuro, el ahorro puede ser considerable.

# **CAPÍTULO V. INSTALACIÓN DE CABLES DE ENERGÍA DE MEDIA TENSIÓN**

Este capítulo establece los mecanismos adecuados para la instalación de un sistema de cables, y es justamente en éste punto en donde se transfiere la responsabilidad de lo que pase con el cable de potencia de la empresa que fabrica el cable al instalador, salvo que los problemas que surjan después tengan que ver con la fabricación del mismo cable o los accesorios, todo lo demás tiene que ser asumido por el responsable de la instalación.

Los servicios que se brindan mediante los cables de potencia de media tensión son de gran responsabilidad y exigen una buena instalación para su óptimo funcionamiento, para ello se necesitan conocer los principios básicos de un cable de potencia, ya no en términos de parámetros eléctricos, sino su manejo mecánico. Una forma equivocada de manipular a un cable aislado que no ha sido instalado puede ocasionar daños graves que afecten su vida útil o que se manifestarán en el momento de ponerlos en servicio, por lo cual es de vital importancia realizar una instalación de calidad, que se traduce en el propósito principal de éste trabajo de tesis.

## **5.1 Inspección preliminar**

La inspección preliminar consiste principalmente en la supervisión del estado del cable en el momento en el que es proporcionado por la fábrica, una inspección visual puede ser importante pero no determinante para saber si el cable está en buenas condiciones o está dañado en alguna parte, este proceso se vuelve complicado sobre todo en los casos en los que la longitud del cable es muy grande, sin embargo es necesario corroborar que lo que está entregando la fábrica corresponda con lo solicitado.

## **5.2 Empaque**

El manejo de un cable de energía debe ser cuidadoso, por lo cual es fundamental el tipo de empaque que se use, que está determinado por el tamaño del cable, así como el medio de transporte que se va a utilizar para su traslado.

Por lo general, los cables se empaquetan en carretes de madera que deben atender de manera estricta el radio mínimo de curvatura del cable, de esta forma se seleccionan las bridas y el tambor del carrete, sin olvidar que también debe tomarse en cuenta la longitud y el paso del cable.

Además de esto, el carrete debe de contar con las indicaciones adecuadas en las bridas que indiquen la dirección en que debe rodarse el cable para que no se desenrolle. De la misma manera, debe verificarse que los tramos de cable cuenten con una protección o “capuchón” termocontráctil con material sellador que no permita la entrada de humedad al interior del cable. Otro punto que debe revisarse con detenimiento es que las puntas de cada tramo de cable estén sujetas al carrete para evitar que éste se desenrolle en el recorrido que hace y en el manejo que se le da.



Foto 1. Verificación del sello de capuchones termocontráctiles

Fuente: coemsa

### 5.3 Carga y descarga

Una vez que el o los carretes han sido llevados hasta el lugar en el cual van a almacenarse para de ahí ser trasladados nuevamente hacia el lugar de la obra, es importante usar las maniobras adecuadas para bajarlos del camión. La forma en como se carga será la misma manera en como se ha de descargar el material y por ningún motivo utilizar la forma habitual de hacer saltar los carretes del vehículo sin tomar ningún tipo de precaución. Por lo tanto, para cargar o descargar una bobina de cables debe de utilizarse un montacargas o bien buscar una plataforma que esté a la misma altura de los mismos carretes sobre el camión de carga, tal y como se muestra en las figuras.

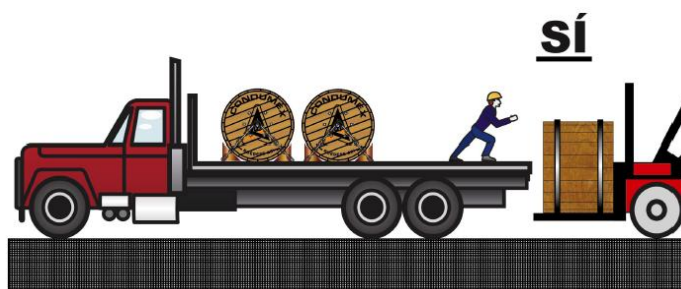


Figura 19. Forma adecuada de carga y descarga de carretes

Fuente: ConduMex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17

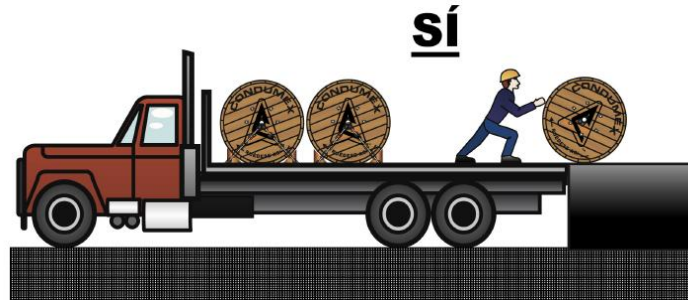


Figura 20. Maniobra de carga y descarga cuando la plataforma del transporte coincide con el nivel del piso.

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17

De ésta manera se garantizará la integridad física de los carretes, ya que es lamentable que por no darle el manejo adecuado sufran daños irreparables, un ejemplo de ellos es quienes recomiendan utilizar rampas de arena o tierra sobre las que se rueden las bobinas para descargarlas del camión, lo cual es sumamente riesgoso considerando que el peso de los carretes es de algunas toneladas, de acuerdo a las características del cable que se va a instalar.

#### 5.4 Transporte

Otro aspecto importante en el manejo de cables es su transporte, el medio más utilizado son los camiones de carga, aunque no es el único. Lo importante es la forma en cómo se acomodan los carretes en caso de ser más de uno, pues si se colocan de forma equivocada los cables pueden sufrir daños.

Los carretes deben de colocarse en posición vertical y tiene que tener alineadas las bridas, con algunas bases de madera y aseguradas con cadenas que impidan que se muevan durante el traslado en el medio de transporte.

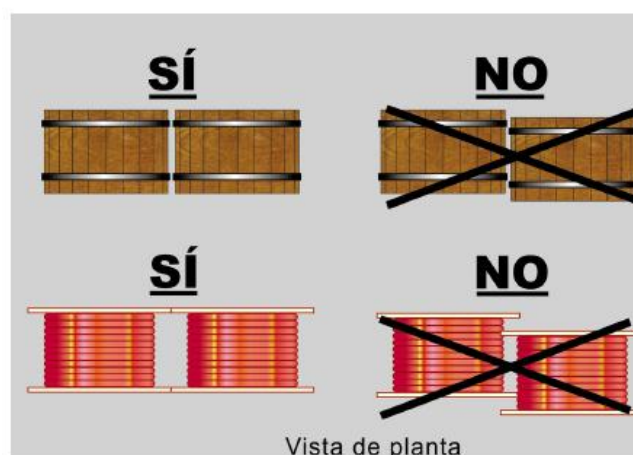


Figura 21. Formas de alinear las bridas del carrete correctamente para evitar daño en cables

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17



Foto 2. Posición y fijación correcta de los carretes en el medio de transporte  
*Fuente: coemsa*

### 5.5 Almacenamiento

Éste punto es uno de los más importantes para el cuidado de los cables de potencia, así como para sus accesorios, como empalmes, terminales, etcétera. Siempre debe evitarse la colocación de carretes de cable a la intemperie y mayormente si el tiempo de instalación es prolongado, puesto que el cable puede sufrir daños irreparables en las bridas de madera lo que ocasiona que las maniobras de transporte, elevación o rodamiento de los carretes sean sumamente complicadas. Se recomienda que el lugar de almacenamiento sea cubierto o techado para proteger al cable de lluvias y sol.

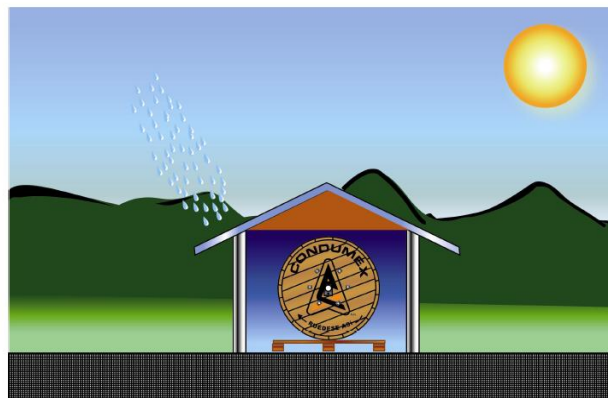


Figura 22. Almacenamiento adecuado de carretes con cable para protegerlos del sol y lluvia

*Fuente: Conduemex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17*

Por esto mismo se recomienda almacenarlos en lugares seguros, no húmedos, con presencia de agua o en lugares que puedan inundarse; asimismo los carretes deben ser colocados siempre en posición vertical para evitar que las



vueltas del cable se cuelguen y enreden, en caso de que parte del cable ya haya sido utilizado, los extremos deben de cubrirse con capuchones de goma o termocontráctiles fabricados para ese fin. En caso de que el lugar inevitablemente sea húmedo, los carretes deben de separarse del suelo con maderas, tarimas o alguna estructura adecuada para cuidar de la mejor manera su integridad.

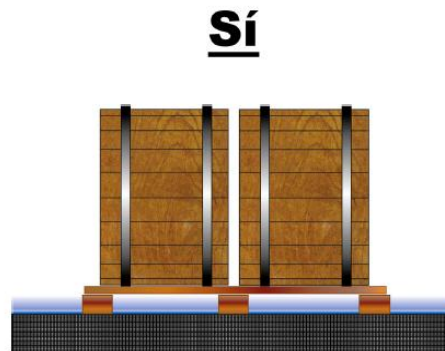


Figura 23. Almacenaje correcto de carretes con cables sobre tarimas en lugares húmedos

*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17*

Cuando los lugares en los que se hace la instalación son de alta humedad, y los extremos del cable se dejan a la intemperie existe el riesgo de que absorba humedad por los extremos, causando un daño severo al cable, que se reflejará en el momento de ponerlo en servicio.

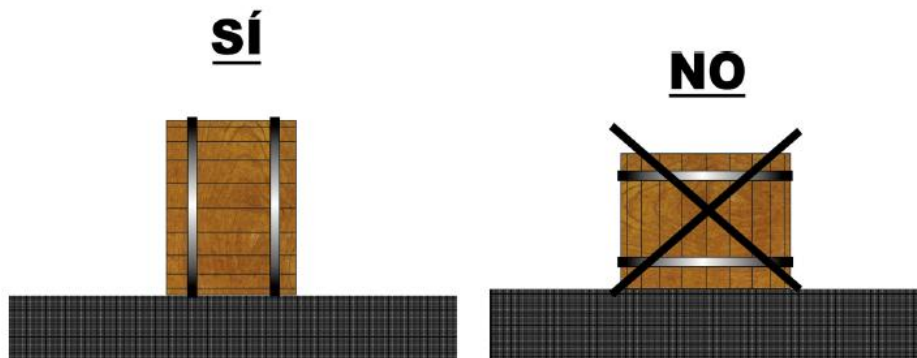


Figura 24. Posición correcta para almacenar carretes con cable

*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17*

Cuando sean varios carretes que necesiten ser almacenados deben de respetar la posición indicada, y en caso de que el espacio sea reducido se pueden colocar en dos capas, bloqueando los carretes con cuñas de madera para evitar que se desplacen, así como las bridas deben estar alineadas para evitar que una brida presione el cable del otro carrete, cuando se colocan en posición horizontal las espiras del cable tienden a aplastarse.



Figura 25. Almacenaje incorrecto de carretes con cables en capas y en posición horizontal

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17



Figura 26. Almacenaje correcto de carretes con cables en capas y en posición vertical

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17

## 5.6 Acarreo

Es claro que antes de realizar cualquier operación con el cable, primeramente tienen que realizarse maniobras con el carrete, es decir; que tenga que transportarse de la bodega en donde ha sido entregado por la fábrica al lugar mismo de la instalación, o en caso de ser indispensable que el carrete se ruede en una distancia corta.

Aspectos como éstos deben de tenerse muy en cuenta, pues debe recordarse que en éste momento cualquier daño que se produzca en el cable será totalmente responsabilidad del instalador.



Como se mencionó, para que un cable se pueda transportar de un lugar a otro sin que sufra algún daño es importante contar con un montacargas o grúa. En el caso de que se utilice una grúa, el carrete debe de trasladarse de la siguiente manera:



Foto 3. Manejo correcto de los carretes con grúa

*Fuente: coemsa*

Es claro que si se utiliza solamente como punto de apoyo el eje para cargar el carrete, hay un riesgo latente de que éstas se colapsen por la presión que se ejerce sobre los costados, sabiendo que su peso puede llegar a ser de varias toneladas. En caso contrario, si se utiliza el mismo eje, pero además de esto una barra espaciadora superior de suficiente capacidad para cargar el carrete, se convierte en un trabajo mucho más cómodo y seguro.

Para el caso del transporte utilizando montacargas, debe supervisarse que el eje del carrete sea paralelo a las uñas del montacargas.



Figura 27. Manejo correcto de los carretes usando montacargas

*Fuente: Conduemex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17*

Como se ya se mencionó, si el carrete necesita ser rodado debe de hacerse en el sentido que se indica en sus bridas, ya que no hacerlo significaría desenrollar el cable. Existen también casos en los que el carrete no es de muy buena calidad, por lo cual el instalador decide mudarlo a otro carrete que ya está vacío, en éste caso debe rebobinarse de acuerdo a la dirección que indican las flechas indicadas en las bridas del carrete, ambos casos se muestran en las siguientes figuras.



Figura 28. Forma correcta e incorrecta de rodar los carretes con cable  
Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17

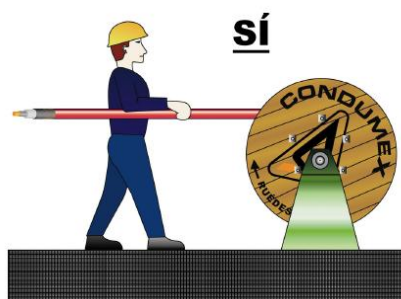


Figura 29. Rebobinado de un cable en un carrete  
Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 17

## 5.7 Tendido

El cable debe de trasladarse con las precauciones indicadas anteriormente hasta el lugar mismo de la instalación, y dependiendo de la distancia que exista desde el almacén hasta el lugar en donde ha de ser colocado el cable serán los recursos utilizados para situar el carrete en donde se requiere.

Es importante señalar que el carrete cuenta con duelas de protección que deben de retirarse con el cuidado adecuado para que el cable no sea dañado por los clavos con los que se aseguran dichas duelas.



Foto 4. Aspecto del carrete con duelas de madera

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

Una vez ya presente en el lugar de la instalación, la bobina de cable se debe colocar en el lugar adecuado de forma que la salida del cable se efectúe por la parte superior y ubicado de tal manera que el cable no sufra dificultades para tomar la alineación del tendido.

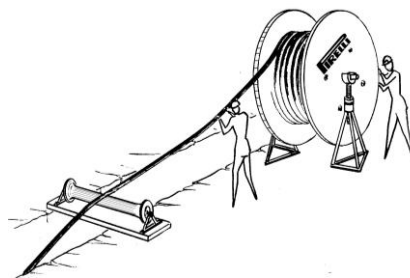


Figura 30. Tendido del cable

*Fuente: Pirelli. Consideraciones sobre el manejo de cables eléctricos subterráneos*

Tal y como se muestra en la figura anterior, debe de utilizarse un elemento para cargar el cable del eje y así permitir su libre giro para desenrollar el cable que está siendo tendido. Generalmente se utilizan gatos mecánicos y una estructura metálica con altura y capacidad adecuada para la carga que se está sosteniendo.

La base debe de ser amplia para garantizar la estabilidad de la bobina durante su instalación y rotación. Es suficiente una elevación del carrete sobre el piso de unos 10 a 20 [cm].



Foto 5. Durante el tendido

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

### 5.7.1 Ojo de Tracción

Una vez colocado el cable sobre la estructura que le permitirá girar libremente se procede a jalar el extremo del cable que ha quedado en la parte superior a través de la trayectoria preparada para que anide el cable se debe de preparar dicha punta para ser jalada, esto se logra mediante la colocación de un ojo o cabezal de tracción con la resistencia suficiente para soportar la fuerza de arrastre. En algunos casos la fábrica se encarga de enviar el cable con éste accesorio, sin embargo no es muy recomendable utilizarla y por cuestiones de seguridad es mejor instalar uno nuevo para evitar que en el trayecto de jalado éste no resista y se rompa.

Para tener una mayor eficiencia en el jalado del cable, en ocasiones se utiliza el ojo de tracción junto con una malla trenzada (calcetín), que distribuye de mejor manera la fuerza con la que se está jalando el cable.

### 5.7.2 Malacate

Para realizar el jalado de un cable de potencia a través de una trayectoria de instalación pueden utilizarse muchos mecanismos, sin embargo ninguno de ellos suele ser eficiente como lo es un malacate, que tiene como característica principal la de controlar la fuerza con la que se está realizando el jalado mediante la medición de un dinamómetro.

En éste caso, el instalador establece una tensión máxima de jalado que ha calculado y que se menciona en los siguientes puntos de éste capítulo, en el caso de que esa fuerza sea superada en la medición que se ha establecido en el dinamómetro, el mecanismo con el que cuenta el malacate se encarga de interrumpir el jalado. Cuando esto sucede, quiere decir que existe algún

problema riesgoso que tiene que ver con alguna obstrucción en la trayectoria del cable que no le permite avanzar, o bien alguna complicación de que se ha enredado el cable en el carrete.

El malacate es un instrumento importante para el tendido del cable, y existen de diversas capacidades dependiendo del cable que ha de instalarse.



Foto 6. Malacate

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



Foto 7. Tablero de control del malacate

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

### 5.7.2.1 Dinamómetro

El dinamómetro es un instrumento que juega un papel importante en el jalado del cable, generalmente incorporado en el malacate, cuenta con un mecanismo que se encarga de medir la fuerza que se está utilizando para el jalado del cable, incluso plasma en una gráfica la relación tiempo o distancia y fuerza. El dinamómetro instalado en el malacate se puede programar para establecer la tensión máxima de jalado, y en caso de que éste se supere, el proceso de jalado se interrumpa.



### 5.7.3 Destorcedor

En la punta del cable que se va a instalar, además del ojo de tracción, suele colocarse un destorcedor, que consiste en una engrane de de balines, ya que durante el jalado del cable éste tiende a girar sobre el eje de tracción y de ésta manera se logra que gire libremente sin que exista algún problema en el mismo cable.



Foto 8. Durante el jalado del cable

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

### 5.7.4 Grilletes

Los grilletes son las piezas de metal en forma de U, que es atravesada en sus extremos por un perno (gusano), y es de gran utilidad para la instalación de cables, ya que sirven para sujetarlos de manera fija generalmente a la pared, y de ésta manera el cable respeta la trayectoria planeada a pesar de su longitud y peso.

El uso de los grilletes es fundamental cuando el cable sigue una trayectoria vertical, en donde el cable tiene que permanecer fijo a la pared.



Figura 31. Grillete

### 5.7.5 Poleas

Las poleas son ruedas acanaladas que giran alrededor de un eje, por cuya superficie pasa una cuerda o cadena. El uso de las poleas es práctico en casos que se cuenta con libertad de espacio para la instalación de un cable de energía, y que sirve para variar la dirección de jalado de un cable de energía sin la fuerza que se necesita para dicho jalado sea demasiado grande, ya que un adecuado arreglo de poleas reduce considerablemente el esfuerzo que debe de realizarse, en este caso, para el jalado del cable que se va a instalar.

### 5.7.6 Rodillos

Un rodillo es un cilindro de metal o madera que gira sobre un eje que sirve para facilitar el desplazamiento de algún elemento a través de su superficie. Para la instalación de cables de energía, los rodillos se colocan para facilitar el desplazamiento del cable a través de éstos, y con esto facilitan el trabajo de jalado del cable. Es recomendable revisar que los rodillos de madera en caso de usarse, estén correctamente lijados y una superficie tersa que no implique ningún riesgo de que una astilla pueda introducirse en el cable.



Foto 9. Uso de rodillo para la instalación de cable en ducto

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

### 5.7.7 Radios de comunicación

La comunicación en el campo durante la instalación de cables de energía es indispensable y en muchos casos la distancia entre el instalador y sus trabajadores no es suficiente para entablar una comunicación que garantice la atención a cualquier imprevisto o detalle que sea necesario tener en cuenta.

Por ello que se recomienda el uso de los radios de comunicación, útiles en todo momento de la instalación, sobre todo cuando el cable está siendo jalado se

puede tener una supervisión constante y atender cualquier problema de manera inmediata en cualquier punto de la trayectoria en la que se está instalando el cable, para ello se requiere una organización adecuada y sobre todo el concepto de trabajo en equipo.

### 5.7.8 Soportes y flechas para carretes

Ya se ha mencionado que es de vital importancia el adecuado manejo de los cables de energía, lo cual implica por supuesto, un cuidadoso manejo de los carretes en donde se contienen los cables, para ello existen dos elementos muy importantes que se utilizan para su manejo.

El soporte se utiliza para colocar el carrete en la posición apropiada para que el cable comience a ser jalado por el malacate, por lo que debe de existir un mecanismo que además de que soporte el cable, debe de permitir un libre giro sobre su eje.

La estructura metálica que sirve como soporte bien puede ser construida en el campo mediante una base de metal que cargue el carrete su eje y un arreglo de gatos hidráulicos que permiten subir o bajar el eje de acuerdo al tamaño y peso del carrete.



Foto 10. Soporte de carrete

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

El eje, como se observa en la fotografía, se utiliza no solamente para que el carrete descansa sobre la base, sino también para que el carrete sea transportado adecuadamente, considerando que el eje que se utiliza para el carrete debe de tener la resistencia mecánica suficiente para no doblarse y servir de medio para que el carrete completo pueda ser cargado.



## 5.8 Parámetros mecánicos del cable de energía

Los parámetros mecánicos deben de considerarse para determinar las fuerzas a las que se le puede someter al cable, y son determinantes para conservar a dicho cable en buenas condiciones, por lo cual a continuación se menciona la forma y las expresiones que permiten saber las tensiones máximas a las cuales se le puede someter a un cable de energía antes y durante su instalación.

### 5.8.1 Radio mínimo de curvatura durante y después de la instalación

El radio mínimo de curvatura es el parámetro que indica el valor al que se puede doblar un cable, y están establecidos valores específicos que deben de respetarse para evitar daños en el cable. Por lo tanto, ese radio de curvatura mínimo debe de mantenerse presente en el momento de realizar la instalación del cable.

La curvatura de un cable es una medida del cambio que sufre la dirección del vector tangente a una curva cuando se desplaza a lo largo de ésta.

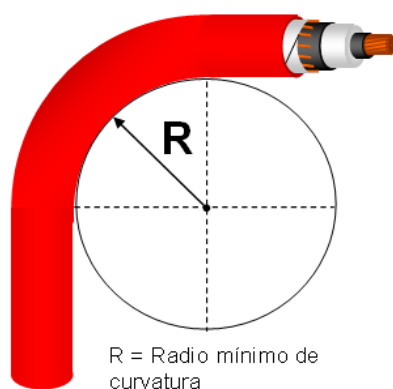


Figura 32. Radio mínimo de curvatura para cables

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

Para el caso de cables de más de 600 V y menores o iguales a 35 [kV], se tienen que respetar los siguientes valores:

Tipo de Cable	Radio Mínimo de curvatura
Monoconductor sin pantalla metálica	8 D
Mono conductor con pantalla metálica o con cubierta de plomo	12 D
Multiconductores o multiplexados con pantalla metálica individual	El mayor de 12d ó 7D

Tabla 22. Radio minimo de curvatura

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

Donde:

$D$  = Diámetro exterior del cable

$d$  = Diámetro exterior de una de las almas

Por seguridad, es recomendable tomar como valor fijo del radio mínimo de curvatura 15 veces el diámetro exterior del cable.

A continuación se presentan los valores de los radios mínimos de curvatura recomendados, en todas las trayectorias curvas a las que son sometidos durante su instalación los cables de energía aislados, con el fin de evitar esfuerzos excesivos que puedan producir cualquier daño a cualquiera de sus componentes.

Estos valores no aplican para las trayectorias curvas de los conduits, poleas u otras superficies curvas alrededor del cable, a través de las cuales el cable puede ser jalado mediante una tensión aplicada mientras está siendo instalado. Para el caso de cables de energía aislados Vulcanel XLP o EP:

- Cables monofásicos, multiconductores o multiplex (dúplex, tríplex, etc.) sin pantalla metálica, sin cubierta de plomo o sin armadura.
- Cables monofásicos, multiconductores o multiplex (dúplex, tríplex, etc.) sin pantalla metálica, con cubierta de plomo o armadura
- Cables monofásicos, multiconductores o multiplex (dúplex, tríplex, etc.) con pantalla metálica y con armadura.
- Cables monofásicos con cubierta de plomo y sin armadura
- Cables monofásicos, multiconductores o multiplex (dúplex, tríplex, etc.) con pantalla metálica y sin armadura.
- Cables monofásicos, multiconductores con armadura de flejes y alambres: 12D.
- Cables flexibles para uso industrial y minas (sólo aplica al Vulcanel EP):
- Para tensiones de 5 [kV] y menores: 6D.
- Para tensiones arriba de 5 [kV]: 8D.

Espesor del aislamiento (mm)	Diámetro total del cable (mm)		
	25.4 y menores mayores	25.41-50.8	50.81 y
4.31 y menores	4D	5D	6D
4.32 y mayores	5D	6D	7D

Tabla 23. Radios mínimos de curvatura

Fuente: ConduMex. Características de los cables de media y alta tensión

Tipo de Cable	Diámetro total del cable (mm)		
	19.0 y menores	19.01-38.1	38.11 y mayores
Cables con pantalla de cintas de cobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Multiconductores o con pantalla individual sobre cada conductor.</b></li> <li>• <b>Multiconductores con pantalla general sobre reunido de los conductores.</b></li> </ul>	12D 12d/7D*	12D 12d/7D*	12D 12d/7D*
Cables con cubierta de plomo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Monofásicos.</b></li> </ul>	12D	12D	12D

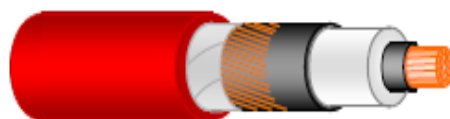
Tabla 24. Radios mínimos de curvatura para cables de energía con pantalla metálica: alambres o cintas, y con armadura, o con cubierta de plomo sin armadura

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

Tipo de Cable	Diámetro total del cable (mm)		
	19.0 y menores	19.01-38.1	38.11 y mayores
Cables con pantalla de cintas de cobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Monofásicos</b></li> <li>• <b>Multiconductores o multiplex con pantalla individual sobre cada conductor.</b></li> <li>• <b>Multiconductores con pantalla general sobre reunido de los conductores.</b></li> </ul>	12D 12d/7D*	12D 12d/7D*	12D 12d/7D*
Cables con pantalla de alambre de cobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Monofásicos</b></li> <li>• <b>Multiconductores o multiplex con pantalla individual sobre cada conductor.</b></li> <li>• <b>Multiconductores con pantalla general sobre reunido de los conductores.</b></li> </ul>	8D 8d/5D*	8D 8d/5D*	8D 8d/5D*

Tabla 25. Radios mínimos de curvatura para cables de energía con pantalla metálica: alambres o cintas, y sin armadura

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



Área mm <sup>2</sup>	Calibre AWG/kcmil	Diámetro exterior (mm)			
		5 [kV]	15 [kV]	25[kV]	35[kV]
8.37	8	14.9	.....	.....	.....
13.30	6	16.3	.....	.....	.....
21.15	4	17.4	.....	.....	.....
33.62	2	18.8	24.3	.....	.....
53.48	1/2	20.5	26.0	30.3	35.2
67.4	2/0	21.5	27.2	31.3	36.2

<b>85.01</b>	3/0	23.8	28.2	33.0	37.4
<b>107.20</b>	4/0	25.1	29.5	34.3	38.7
<b>127.20</b>	250	26.5	30.9	35.7	40.1
<b>177.30</b>	350	29.0	33.9	38.2	42.6
<b>253.4</b>	500	32.0	36.9	41.2	47.6
<b>304.0</b>	600	34.7	39.1	44.9	49.8
<b>380.0</b>	750	37.2	41.6	47.9	52.3
<b>506.7</b>	100	41.0	46.9	51.7	56.1

Tabla 26. Cable de energía Vulcanel 2000 M.R. EP o XLP

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 20



Área mm <sup>2</sup>	Calibre	Diámetro exterior (mm)	
	AWG/kcmil	5 [kV]	15 [kV]
<b>13.30</b>	6	18.49	.....
<b>21.15</b>	4	19.61	.....
<b>33.62</b>	2	21.01	27.91
<b>53.48</b>	1/2	23.50	29.64
<b>67.4</b>	2/0	25.30	30.66
<b>85.01</b>	3/0	26.49	31.85
<b>107.20</b>	4/0	27.81	33.17
<b>127.20</b>	250	29.21	35.84
<b>177.30</b>	350	31.69	38.32
<b>253.4</b>	500	35.97	42.09
<b>304.0</b>	600	38.18	44.30
<b>380.0</b>	750	40.69	47.35
<b>506.7</b>	100	45.21	51.61

Tabla 27. Cable de energía Vulcanel 2000 M.R. EP o XLP con plomo

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 20



Área mm <sup>2</sup>	Calibre	Diámetro exterior (mm)	
	AWG/kcmil	5 [kV]	15 [kV]
<b>8.37</b>	8	36.0	.....
<b>13.30</b>	6	37.3	.....
<b>21.15</b>	4	39.7	.....
<b>33.62</b>	2	43.2	52.7
<b>53.48</b>	1/2	47.0	56.04
<b>67.4</b>	2/0	49.1	58.6
<b>85.01</b>	3/0	51.7	62.0
<b>107.20</b>	4/0	54.6	65.1
<b>127.20</b>	250	57.6	68.1
<b>177.30</b>	350	64.0	74.5
<b>253.4</b>	500	70.5	81.5
<b>304.0</b>	600	76.3	86.3
<b>380.0</b>	750	82.2	91.7
<b>506.7</b>	100	90.3	100.0

Tabla 28. Cable de energía Armanel Vulcanel M.R. Trifásico EP o XLP

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 20

## 5.8.2 Tensión máxima jalando del conductor

Cuando se está realizando una instalación de un cable de potencia, es claro que éste es sujeto a una fuerza de jalado para que pueda desplazarse a través del medio en el que se está instalando, sin embargo, esa fuerza a la que es sometido en uno de sus extremos no puede descuidarse, sino más bien es el principal valor que debe de supervisarse cuando de está jalando el cable, pues el no hacerlo puede provocar un desacomodo en los componentes del cable.



Figura 33. Tensión de jalado

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

$$T_m = NAT$$

Donde:

$T_m$  = Tensión máxima permisible en kg

$N$  = Número de conductores (para jalados de 3 monoconductores en configuración paralela se considera que solo dos conductores comparten la carga).

$A$  = Área de la sección transversal de cada conductor en mm<sup>2</sup>

$T$  = Esfuerzo máximo permisible (kg/mm<sup>2</sup>) (Reporte EPRI EL-3333-CCM), según el material y construcción del conductor

Es también entendible que la tensión máxima de jalado depende del tipo de conductor que esté presente en el cable:

Conductor * Metal y Tipo	Esfuerzo máximo "T" (kgf/mm <sup>2</sup> )
<b>Cobre</b>	9.8
<b>Aluminio</b>	
<b>Sólido (de ½ duro a temple duro)</b>	5.6
<b>Cableado (3/4 duro a temple duro)</b>	7.0

Tabla 29. Tensión máxima de jalado

Fuente: Condumex. Instalación de cables en ductos

## 5.8.3 Tensión máxima de jalado de la cubierta con malla trenzada

Ya se mencionó cuando el jalado se realiza solamente del conductor, sin embargo se tiene otra opción de jalado y que se realiza con calcetín, que es otro accesorio muy útil en la instalación de los cables, sobre todo en el jalado, ya que abarca una mayor área para jalar el cable y que parte desde la cubierta externa, tal y como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 34. Jalado del cable con malla trenzada

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

Para ésta forma de jalado, también se tiene la siguiente tabla que indica los valores máximos permitidos:

Tipo de cable	Tensión máxima "Tm"	
	monoconductor	(kg) (1) multiconductor
600 V con aislamiento de XLP, EPR o Neopreno	907	907
Aislamiento de XLP ó PE, pantalla de alambres concéntricos, con o sin cubierta embebiendo alambres	4536	2268
Aislamiento de XLP ó PE, pantalla "LC", cubierta de LDPE		
- 15, 25 Y 35 [kV]	3629	1814
- 69 y 138 [kV]	1814	1134
Aislamiento de XLP ó PE, pantalla de alambres concéntricos o cintas, cubierta tubulada de LDPE o PVC	4536	2268
Aislamiento de EPR, pantalla de alambres concéntricos o cintas, cubierta tubulada de LDPE o PVC	4536	4536
Cable con cubierta de plomo, con o sin cubierta exterior polimétrica (2)		
- Aislamiento de XLPE	11.2	11.2
- Aislamiento de EPR	5.6	5.6
Aislamiento de XLP, pantalla de alambres o cintas, cubierta tubulada de MDPE	8165	4082

1.- Este valor de tensión no debe ser mayor que el calculado para el jalado del conductor.

2.- Los valores indicados son el esfuerzo máximo en kg/mm<sup>2</sup>, el valor de tensión máxima se calcula multiplicando este esfuerzo por el área transversal de la cubierta de plomo.

Tabla 30. Tensiones máximas de jalado

Fuente: Condumex. Instalación de cables en ductos

$$A = \frac{\pi}{4} (De^2 - Dt^2)$$

Donde:

$A$  = Área transversal de la cubierta de plomo, en mm<sup>2</sup>.

$D_e$  = Diámetro exterior de la cubierta de plomo, en mm.

$D_i$  = Diámetro interior de la cubierta de plomo, en mm.

## **5.9 Instalación de cables de energía de media tensión aislados**

Una vez atendidos los puntos anteriores, se tiene a continuación la forma en cómo deben de instalarse los cables en los medios mencionados en los siguientes puntos.

### **5.9.1 Directamente enterrados**

Ésta es una forma de instalar los cables que no se utiliza mucho en México, dadas las condiciones del terreno, sin embargo en otros países, principalmente en Europa ésta forma de instalar los cables aislados es muy socorrida.

La principal ventaja de instalar los cables directamente enterrados se debe a que de ésta manera se disipa más fácilmente el calor generado por la circulación de corriente en el conductor, otra de sus ventajas es la de que los cables están menos expuestos a daños por dobleces que exceden el radio de curvatura permitido, además de que la ampacidad es aproximadamente de 10% a 20% más que en instalaciones de otro tipo dado que existe una mayor disipación térmica, y su costo es menor.

Por otro lado, una gran desventaja de colocar un cable directamente enterrados es la de exponerlo a los peligros de una excavación realizada sin la debida precaución, o también a grados excesivos de humedad. Para esto, se han clasificado tres tipos de material de terreno y que corresponden a:

- Material Tipo A. Material suelto y seco no cementado (arena, cal, entre otros)
- Material Tipo B. Para excavarlo requiere de herramientas ligeras, ya sean manuales o mecánicas (tepetate, arcilla, entre otros).
- Material Tipo C. Para excavarlo se requiere el uso de herramienta pesada de Barrenación o explosivos (manto de roca, muros de mampostería, entre otros).

Éste tipo de instalaciones se hacen en lugares en los que es posible abrir una zanja sin producir problemas mayores, o bien en donde no se tengan construcciones, así como en donde se tenga planeado abrir zanjas para aumentar el número de circuitos como el caso de fraccionamientos o campos abiertos.

### **5.9.1.1 Trayectoria de instalación**

La trayectoria que debe procurarse en una instalación de cables directamente enterrados debe ser recta en la medida de lo posible para que el cable que se emplee sea el mínimo. De la misma manera debe tenerse presente que la trayectoria que va a seguir está en una gran parte determinada por la presencia de otro tipo de instalaciones como gaseoductos, tuberías de agua, alcantarillas, etcétera. Debe tomarse en cuenta esto para el caso de que el sistema instalado necesite de alguna reparación que sea relativamente fácil reconocer nuevamente a lo que ya fue instalado. En el caso de que la trayectoria sea paralela a otro tipo de instalación, por ninguna razón debe de colocarse arriba o debajo de ésta.

En el caso de que necesite seguirse una trayectoria con curvaturas, debe cuidarse el radio de curvatura del cable, que por ningún motivo debe pasarse por alto para evitar daños en el cable. Asimismo debe evitarse que la trayectoria programada para la instalación atraviese terrenos inestables o altamente corrosivos, en el caso de que no haya otra alternativa más que instalarlos en terrenos así, deben protegerse adecuadamente para evitar daños de cualquier tipo debido al terreno en el que se está instalando.

Por último, en la trayectoria de la instalación es importante colocar avisos de precaución como banderines autosoportados que indiquen que por el momento no se puede transitar libremente por esa zona, principalmente para evitar accidentes.

### **5.9.1.2 Excavación**

La zanja se realiza con equipo mecánico adecuado, y en zonas urbanas debe limitarse a una profundidad de 40 [cm] para evitar daños a cualquier otro tipo de instalación subterránea, la zanja se continuará a partir de la profundidad señalada con pala hasta tener la profundidad recomendada mínima de 1[m] y el ancho es variable dependiendo del número de cables y configuración que se va a utilizar para su instalación.

Cuando la ruta de excavación pasa a través de calles, deben colocarse ductos de asbesto-cemento o de PVC embebidos en concreto, y si estos cruces son de tráfico pesado, es necesario hacer una losa de concreto armada sobre los ductos para protegerlos, asimismo es importante proveer que pueda instalarse un cable más por lo que es recomendable hacer un ducto extra. Cuando se trabaja en terrenos en los cuales por causa de la profundidad de las zanjas o las condiciones propias del terreno puedan producir algún derrumbe, debe troquelarse con madera para la protección del personal y evitar algún accidente.





Foto 11. Troquelado para la protección del personal de instalación  
*Fuente: Instalación, montaje, conexiones y pruebas de cables de energía de alta tensión*

### **5.9.1.3 Instalación**

Una vez que ya se ha realizado la zanja y se ha alcanzado la profundidad requerida, debe realizarse una limpieza del fondo de la excavación y dejar libre la superficie sobre la que se van a colocar los cables de piedras, maderas, vidrios o cualquier otro agente que pueda dañar al cable, con esto, el terreno debe compactarse con un pisón o vibrador.

Existen casos en los que por el terreno en el que se está trabajando es difícil lograr retirar las imperfecciones mencionadas debe colocarse una capa de arena normal o de baja resistividad de unos 15 [cm] para protección del cable y para mejorar la disipación de calor.

### **5.9.1.4 Protección mecánica a los cables y relleno de la cepa**

Sobre la capa de arena o tierra libre de elementos extraños, se colocan los cables, después de esto deben colocarse avisos de que existe una instalación subterránea de alta tensión, asimismo se coloca una nueva capa del mismo material que cubra los cables unos 20 [cm] o 25 [cm], después de esto se rellena la zanja con el mismo material extraído, cuidando que no se filtren materiales que puedan dañar al cable.

Para darle un mayor cuidado a la curvatura que pueda presentarse en el cable, es necesario colocar rodillos que permitan que el tendido del cable siga una pendiente hasta que llegue a la superficie de arena en donde se va a colocar, con el propósito de que mientras el cable sea jalado por el malacate, éste se arrastre.



Foto 12. Forma de tendido del cable de energía

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

El tendido de los cables puede hacerse de forma manual y colocarse directamente sobre la zanja, sin embargo no es la forma más cómoda ya que para esto se necesitaría de una persona por cada 35 [kg] de cable.

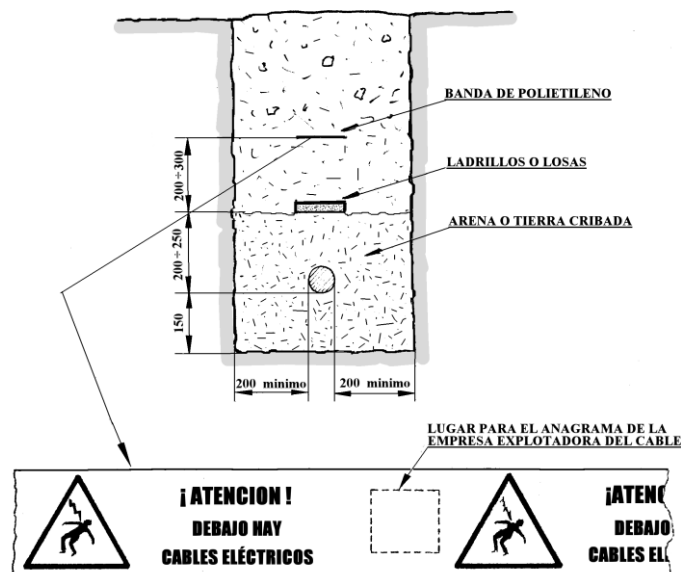


Figura 35. Capas de relleno de la zanja

Fuente: *Pirelli. Consideraciones sobre el manejo de cables eléctricos subterráneos*

### 5.9.1.5 Configuración de instalación

La forma en cómo se instalen los cables depende de lo definido por el instalador, ya sea un circuito o dos y que puede corresponder con algunas de las siguientes configuraciones:

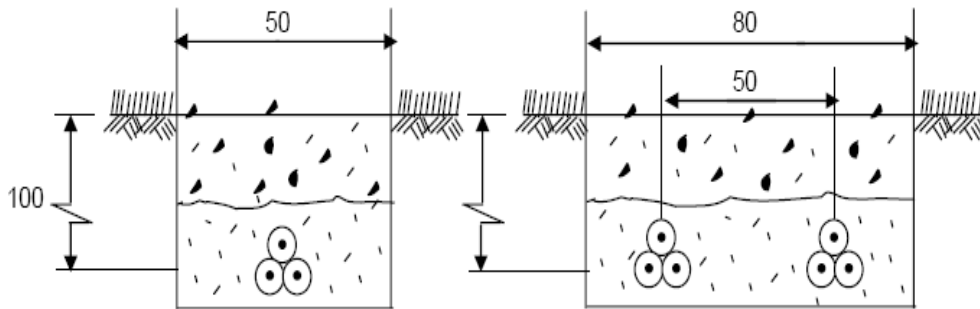


Figura 36. Configuración de cables con uno o dos circuitos monofásicos en forma de trébol en la misma zanja

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

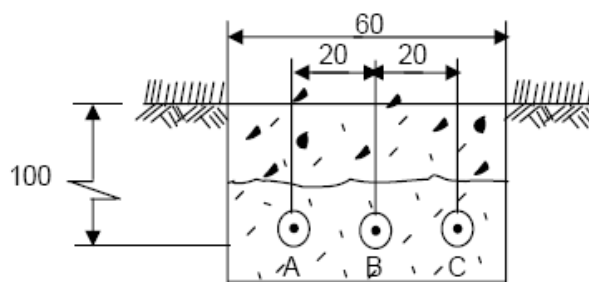


Figura 37. Un circuito con cables monofásicos espaciados horizontalmente

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

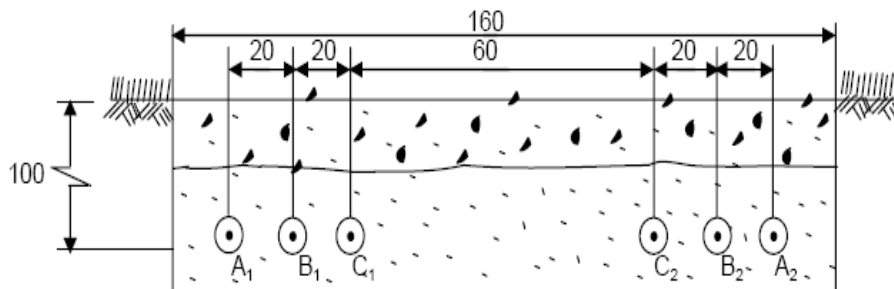


Figura 38. Dos circuitos con cables monofásicos espaciados horizontalmente

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

En la siguiente figura se sugiere una forma de colocar los cables, sin embargo no es recomendable ya que los dos circuitos están en paralelo y uno directamente arriba del otro, por lo cual pueden existir dificultades cuando se requiere hacer alguna reparación o cambio de la fase que se encuentra debajo.

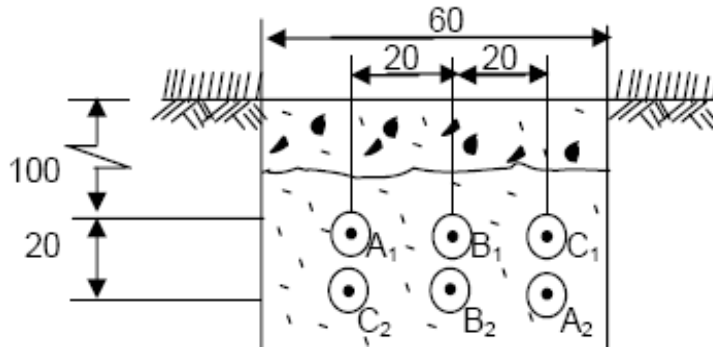


Figura 39. Dos circuitos con cables monofásicos espaciados horizontal y verticalmente

*Fuente: Conduflex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18*

Una vez colocados los cables se requiere que se identifiquen los cables por fase y por circuito en caso de que sea más de uno, así como avisos y protecciones, un cuidado preciso de los lugares en donde están los empalmes si existen y sobre todo los planos de la trayectoria que siguen el sistema completo.

### 5.9.2 En canalizaciones entubadas (ductos)

Este tipo de instalación es sin duda la más común, se usa en la gran mayoría de la industria y en los sistemas de distribución comercial y en aquellos casos donde se requiera una red flexible para efectuar los cambios con rapidez y facilidad (por reparación o ampliación).

La instalación de cables en ductos subterráneos es la alternativa a seleccionar cuando el sistema de cables que tenga que atravesar zonas construidas, caminos o cualquier otro sitio en donde no es posible abrir zanjas para cambio de cables o aumento de circuitos con determinada frecuencia, por las grandes pérdidas de materiales, mano de obra y tiempo.

El tipo, tamaño y ruta general del banco de ductos es algo que por lo general no está en manos del instalador; por el contrario, suele hacerse la obra civil por alguien que no es especialista en éste tipo de instalaciones.

#### 5.9.2.1 Trayectoria

La trayectoria que deben de seguir los ductos en los cuales se instala el cable, debe seguir en la medida de lo posible una trayectoria recta entre sus extremos, y de la misma manera que en los sistemas directamente enterrados, si la trayectoria del ducto sigue una ruta paralela a otro tipo de instalación, no debe de situarse directamente arriba o abajo.

Además de que debe evitar colocarse en terrenos inestables y altamente corrosivos, en el caso de que la trayectoria no sea recta, la desviación debe hacerse por medio de pozos de visita suficientemente grandes para realizar maniobras. Por otro lado, en caso de que sea más de un ducto, se recomienda que exista una distancia de 7 [cm] entre cada ducto instalado y se recomienda instalar un ducto extra para efectos de que más adelante se requiera instalar una fase más.

### 5.9.2.2 Excavación

Cuando ya está claramente definida la trayectoria del cable, se procede a realizar el trabajo de excavación de la zanja para después colocar el banco de ductos, en éste punto una señalización adecuada y medidas de seguridad evitan accidentes, en lugares de mucho tráfico se programa la excavación en horarios y días no hábiles. Las dimensiones de la zanja dependen como siempre, del número de circuitos que han de instalarse.

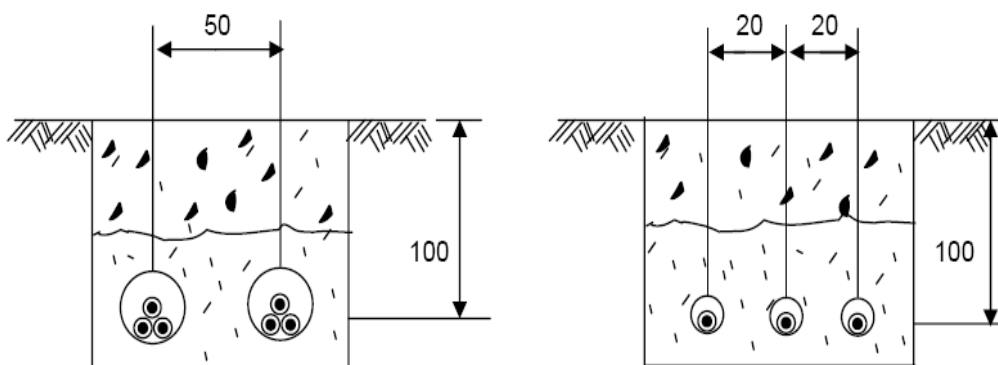


Figura 40. Cables en ductos, en configuración trébol y espaciados horizontalmente

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

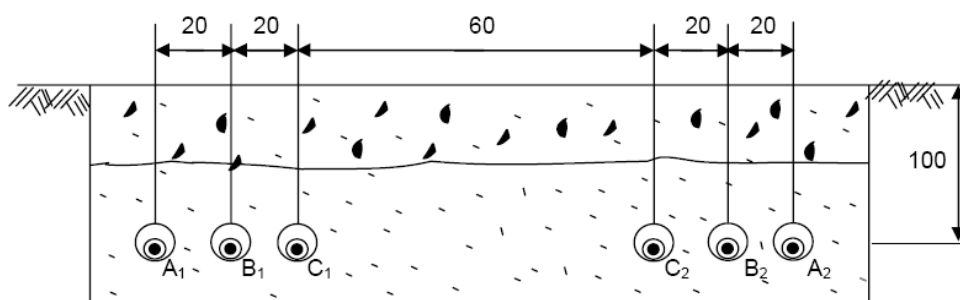


Figura 41. Circuitos de cables en ductos espaciados horizontalmente

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

En los casos en los cuales se tiene un terreno inestable, es indispensable colocar un troquelado que sirva como soporte para evitar derrumbes de la zanja excavada.

### 5.9.2.3 Registros

Como ya se mencionó, en un banco de ductos deben de existir pozos de visita en los cambios de dirección y en tramos rectos, cuando sean mayores de 100 [m]. Existen dos tipos de registros: los convencionales y los prefabricados.

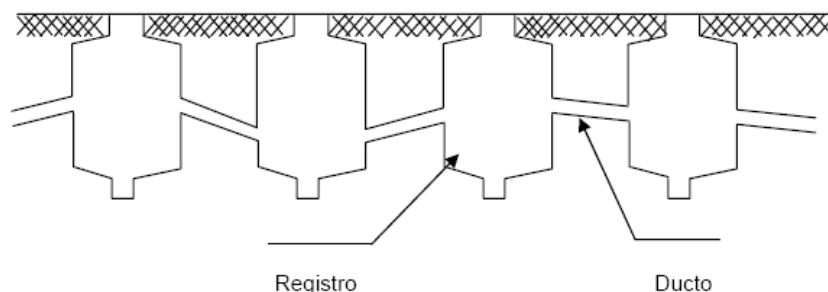


Figura 42. Disposición de la pendiente en un sistema de ductos

*Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18*

Los registros prefabricados se construyen en un lugar diferente a donde han de ser instalados. Existen diversas razones por las cuales se tiene que optar por realizarlos de ésta manera, puede ser debido a que el terreno sea de un nivel freático alto, además de que el tiempo normal en el que puede construirse el registro puede ser demasiado ya que el terreno se vuelve cada vez más inestable, otra razón es porque la zona es muy conflictiva en cuanto a autos o personas.

Una vez construidos y habiéndose tomado en cuenta aspectos como el espacio que ocupan los cables, los empalmes en caso existir, el número de conductores que entrarán y saldrán en el registro, se colocan en el lugar preciso, listos para ser usados.

#### 5.9.2.3.1 Dimensiones típicas

Las dimensiones de los registros deben de estar diseñadas tomando en cuenta que tipo de cables se van a instalar, y considerando que se trata de cables de media tensión, en la siguiente figura se muestran las dimensiones típicas de un registro, incluyendo las dimensiones de los ductos en donde han de colocarse los cables.



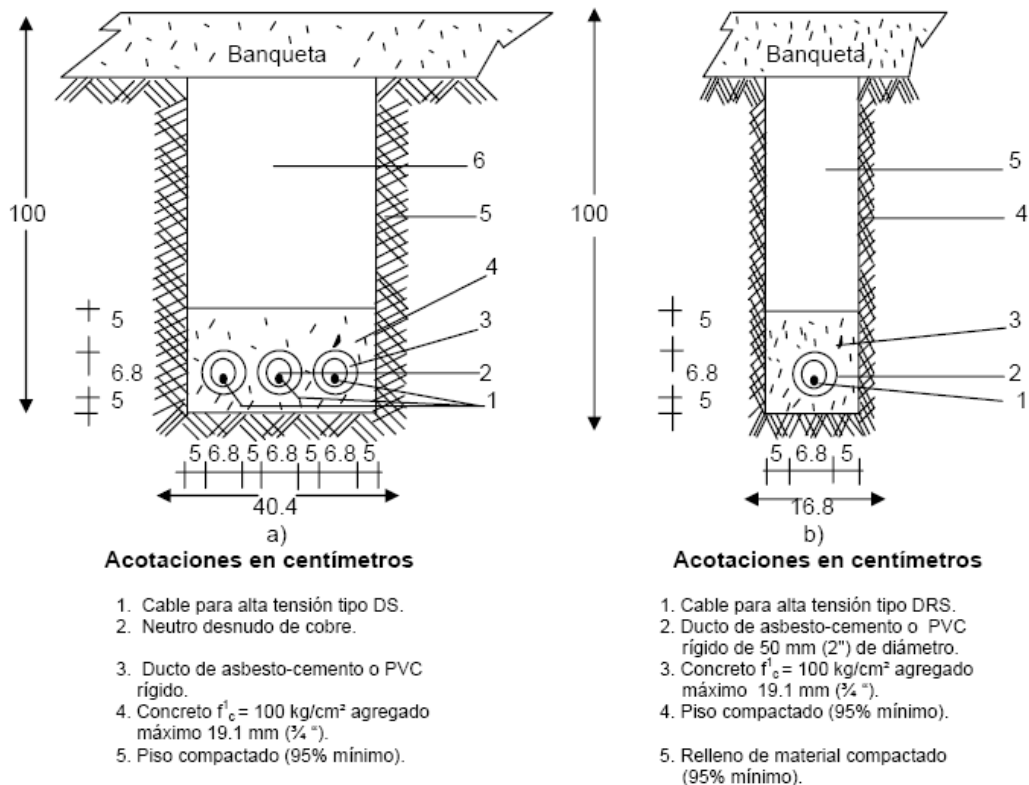


Figura 43. Dimensiones típicas de los registros

Fuente: *Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18*

### 5.9.2.3.2 Soportería

Los cables pueden quedar instalados directamente sobre el piso, autosoportados por medio de clemas aislantes, herrajes metálicos con correderas y ménsulas, o sobre charolas.

La decisión sobre el uso del tipo de soporte estará condicionada al medio donde se hará la instalación, ya que en algunos lugares se tiene contaminación por aguas tratadas, vapores corrosivos, humedad, etcétera, además de que la selección de los materiales debe considerar el medio ambiente.

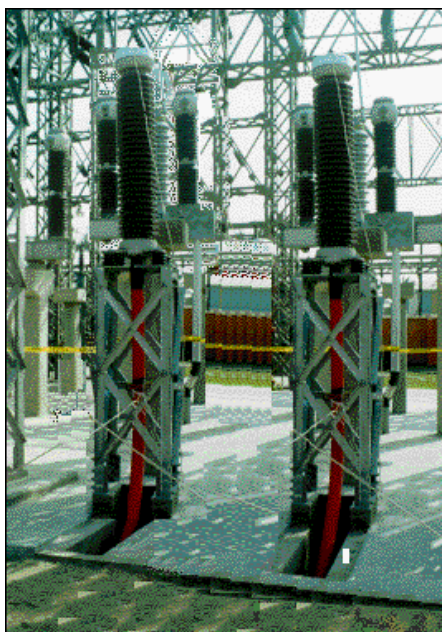


Foto 13. Soporte del cable en una salida a terminal

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

El radio de curvatura es algo que de vital importancia para evitar algún problema con el cable, y en instalaciones en donde los tramos entre registros son rectos, no existe problema alguno con el radio de curvatura sin embargo existen registros ya sea de empalmes o de paso que establecen un cambio de dirección. En éste caso el cable tiene que seguir una trayectoria curva que si no se cuida puede sobrepasar el radio mínimo de curvatura permitido por el fabricante, lo cual puede ser muy peligroso, por lo cual se decide diseñar un arreglo de rodillos circular que respeta el radio de curvatura, y que guía al cable de manera tal que a pesar de que éste tiene que modificar su trayectoria, no tiene ningún riesgo de exceder el radio de curvatura mínimo y así desplazarse libremente.



Foto 14. Ménsulas para el soporte de los cables

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



#### 5.9.2.4 Banco de ductos

El banco de ductos es utilizado para instalar todo el sistema de cables, además que establece de forma definitiva la trayectoria de instalación, ahí radica su importancia, ya que debe estar diseñada para el tipo de cable que se va a instalar, tomando en cuenta su radio mínimo de curvatura.

Una vez que se ha construido todo el montaje de ductos a través de toda la trayectoria programada, se procede a colar el banco. El tipo de concreto que se debe usar y su resistencia depende de la carga que es puesta sobre los éstos, y de la misma manera que en los cruces de calles de tráfico muy pesado en las instalaciones directamente enterradas, es necesario colocar una losa de concreto armado sobre el banco de ductos para distribuir la carga. La distancia entre los registros (ya sean de paso o por causa de la presencia de empalmes) en tramos rectos no debe de exceder los 100 [m]. Por lo demás, los ductos deben de tener una pendiente mínima del 1% para facilitar que el agua que llegue a filtrarse se drene hacia los registros.

##### 5.9.2.4.1 Tipos de ductos

El montaje un banco de ductos se hace mediante separadores prediseñados, ya sea de fábrica o elaborados en campo.

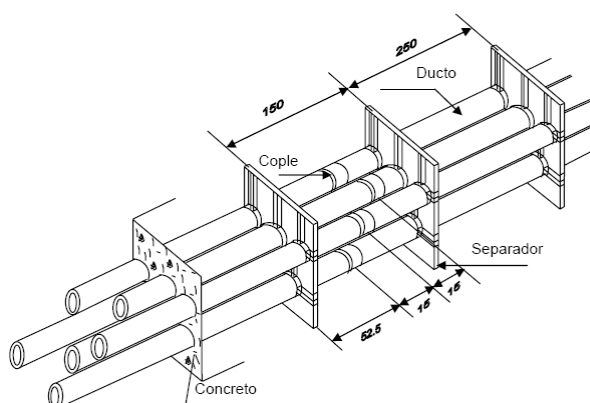


Figura 44. Montaje de un banco de ductos

Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

Éste montaje de ductos después es rellenado con concreto, las estructuras que se observan en la figura son solamente para mantener la posición de los ductos durante el vertido del concreto.



Foto 15. Montaje de ductos antes de ser rellenados con concreto

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

La unión de ductos debe ser por medio de coples de tal manera que no queden escalones entre uno y otro tramo, en el caso de que dichos ductos atraviesen por alguna fuente de calor, es indispensable colocar entre ellos una barrera térmica adecuada.

#### **5.9.2.4.2 Separadores**

Las estructuras que sirven como separadores pueden ser elaboradas en campo o de fábrica, destinadas exclusivamente para éste propósito. El material de los ductos debe resistir esfuerzos mecánicos, humedad y agentes químicos que se puedan diluir en el lugar en donde quede instalado. Asimismo, la construcción debe seleccionarse y diseñarse de tal forma que en el caso de que exista una falla de un cable en un ducto, el daño no se extienda a los cables de ductos adyacentes. Para éste tipo de instalaciones, los ductos más usados son de asbesto-cemento y de PVC, ya que el uso de cualquier otro tipo de material puede causar daño al cable durante el jalado a través de éste.



Foto 16. Separadores de los cables

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

### 5.9.2.5 Limpieza, verificación y guiado de ductos

Una vez que ya están instalados los ductos para el tendido de los cables, es importante comprobar que las condiciones en el interior de los ductos sea la óptima, de la misma manera como es necesario hacer una limpieza de éstos para asegurar que los cables entrarán sin sufrir ningún daño o avanzar sin ningún problema, para verificarlo se utiliza un dispositivo cilíndrico, el cual se hace pasar por el interior así como para limpiar los ductos de lodo, tierra o algún otro material extraño se utilizan dispositivos metálicos.

Como prueba final de que los ductos están adecuadamente dispuestos para recibir al cable de potencia sin problema, se recomienda hacer pasar una guía de un grosor adecuado para verificarlo, sin embargo y como mejor recomendación, no existe mejor material que sirva para verificar las condiciones del ducto que una muestra del mismo cable o por lo menos del mismo calibre que el que se va a instalar.



Foto 17. Limpieza de los ductos

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



Foto 18. Guiado de ductos

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

Después de realizar ésta tarea, se procede a dejar una guía de acero o nylon para facilitar la instalación posterior del cable, además de que los ductos se sellan para evitar que nuevamente tengan que limpiarse el día de la instalación.

### 5.9.2.6 Porcentaje de llenado de ductos

Existen diferentes formas en la disposición de los cables, ya sea que sea un conductor por ducto o más, lo cual depende del diseño efectuado.

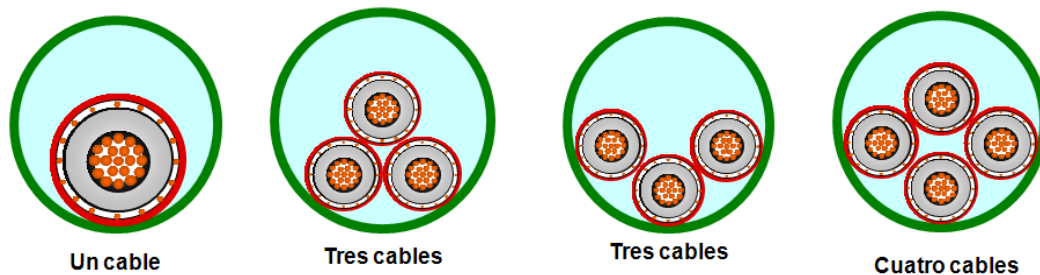


Figura 45. Acomodo de los cables en ducto  
Fuente: ConduMex. Instalación de cables en ductos

Las formas que adoptan las distintas maneras de acomodo de los cables, corresponden a la triangular, acunada y diamante, según se observa, y que toman esa forma de acuerdo a una relación que existe entre el diámetro interior del ducto y el de los cables, por lo cual se tiene lo siguiente:

- Para tres cables en ducto:
  - o Si  $D < 2.4d$  se tiene una formación triangular
  - o Si  $D > 3.0d$  se tiene una formación acunada
- Para tramos rectos:
  - o Si  $2.4d < D < 3.0d$  se tiene una formación triangular acunada
- En curvas:
  - o Si  $D > 2.4d$  se tiene una formación acunada
- Para cuatro cables en ducto:
  - o Si  $D < 3.0d$  se tiene una formación diamante

Donde:

$D$  = Diámetro interno del ducto, en [mm]

$d$  = Diámetro del cable, en [mm]

El porcentaje máximo de llenado de cables en ductos es un parámetro que establece la proporción máxima de espacio que puede ocupar uno o más cables para evitar atascamientos durante el jalado de éstos.

Basándose en la relación anterior entre los diámetros, se presenta en la siguiente tabla el porcentaje máximo de llenado de acuerdo al número de conductores:

Número de cables dentro del ducto	1	2	3 ó mas
Porcentaje máximo de llenado (%)	53	31	40

Tabla 31. Porcentaje de llenado de ductos

Fuente: *Instalación de cables en ductos*

La expresión para calcular el porcentaje máximo de llenado es la siguiente:

$$P = \frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} 100$$

Donde:

$P$  = Porcentaje de llenado del ducto, en %

$N$  = Número de cables dentro del ducto

$d$  = Diámetro exterior del cable

$D$  = Diámetro interno del ducto

Es de suma importancia calcular adecuadamente para que el porcentaje de llenado no exceda al permitido, ya que pueden producirse atascamientos, sobre todo en los tramos del ducto en donde se tienen curvas y en instalaciones en donde se colocan tres o cuatro conductores en un solo ducto.

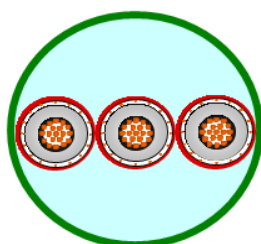


Figura 46. Atascamiento de cables en ducto

Fuente: *Conдумex. Instalación de cables en ductos*

Por lo tanto, el atascamiento se produce cuando el diámetro interior del ducto es aproximadamente tres veces el diámetro exterior del cable, de acuerdo a lo siguiente:

$$2.76d < D < 3.19d$$

Donde:

$d$  = Diámetro exterior del cable

$D$  = Diámetro interno del ducto

### 5.9.2.7 Principios básicos de jalado de cables en ductos

Un cable de potencia al ser desplazado a través de un ducto, está sujeto a varias fuerzas, no solamente a la de jalado, y mediante un diagrama de cuerpo libre se observa que se expone a las siguientes fuerzas que deben considerarse para definir apropiadamente cuál será la fuerza total a la que será expuesto.

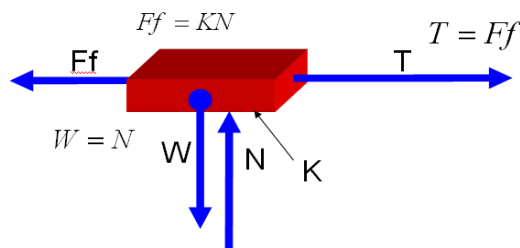


Figura 47. Fuerzas presentes durante el jalado de cables en ductos

Fuente: *Características de los cables de energía de media y alta tensión*

$$T = KW$$

Donde:

$T$  = Tensión de jalado

$W$  = Peso del objeto

$N$  = Fuerza Normal

$Ff$  = Fuerza de fricción

$K$  = Coeficiente de fricción que depende de las dos superficies en contacto.

#### 5.9.2.7.1 En Tramo Recto Horizontal

La trayectoria más común de un banco de ductos es la horizontal, en donde las fuerzas que necesitan vencerse para el jalado del cable son las del peso, la fricción y la tensión inicial para que el cable comience a ser arrastrado.

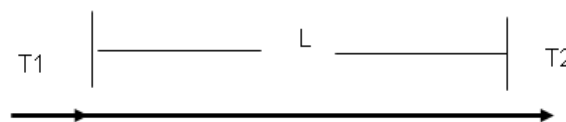


Figura 48. Trayectoria en tramo recto horizontal

Fuente: *Condumex. Instalación de cables en ductos*

$$T_2 = T_1 + WKL$$



Donde:

$T_2$  = Tensión a la salida del tramo recto, en kg.

$T_1$  = Tensión a la entrada del tramo recto, en kg.

$W$  = Peso del cable por unidad de longitud, en kg/m.

$L$  = Longitud del tramo recto, en m.

$K$  = Coeficiente de fricción.

### 5.9.2.7.2 En curva horizontal

Otra trayectoria menos común pero que puede estar presente en la instalación de cables es la curva horizontal, y para ello el cálculo para obtener la tensión de jalado es un tanto más compleja.

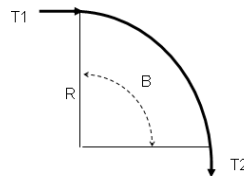


Figura 49. Trayectoria en curva horizontal

Fuente: *Condumex. Instalación de cables en ductos*

$$T_2 = T_1 \cosh(KB) + \sqrt{T_1^2 + (WR)^2} \sinh(KB)$$

Donde:

$T_2$  = Tensión a la salida de la curva, en kg.

$T_1$  = Tensión a la entrada de la curva, en kg.

$W$  = Peso del cable por unidad de longitud, en kg/m.

$K$  = Coeficiente de fricción

$R$  = Radio de la curva, en m

$B$  = Ángulo de la curva, en radianes

### 5.9.2.7.3 En tramo recto inclinado

El hecho de que el tramo en el que se realiza el jalado del cable sea inclinado ayuda a disminuir la fuerza de jalado debido a que el peso del cable colabora con la tarea.

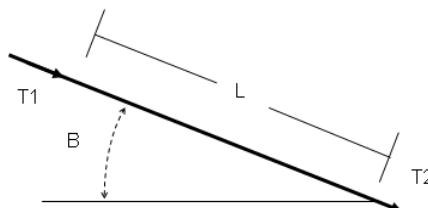


Figura 50. Trayectoria vertical inclinada

Fuente: *Condumex. Instalación de cables en ductos*

$$T_2 = T_1 - WL(\text{sen}(B) - K \cos(B))$$

Donde:

$T_2$  = Tensión a la salida del tramo recto, en kg.

$T_1$  = Tensión a la entrada del tramo recto, en kg.

$W$  = Peso del cable por unidad de longitud, en kg/m.

$L$  = Longitud del tramo recto, en m.

$K$  = Coeficiente de fricción.

$B$  = Ángulo del plano con la horizontal, en radianes.

#### 5.9.2.7.4 Presión Lateral

Cuando se estudia con detenimiento la tensión de jalado del cable a través de un ducto, se tiene otro efecto que aumenta la tensión que se necesita para mover el cable ya que al pasar por las curvas la fuerza que debe de aplicarse es mayor.

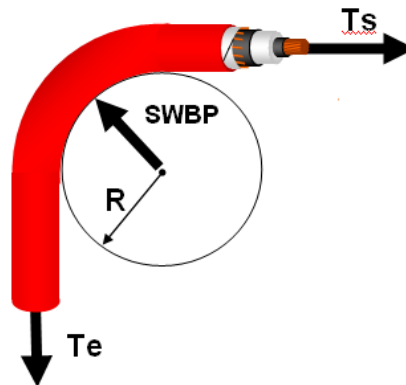


Figura 51. Presión lateral

Fuente: Condux. Instalación de cables en ductos

$SWBP$  = Presión lateral (kg/m)

La presión aumenta cuando se debe de instalar más de un conductor en el ducto, por lo cual también debe realizarse una corrección del peso del cable de acuerdo a las siguientes expresiones:



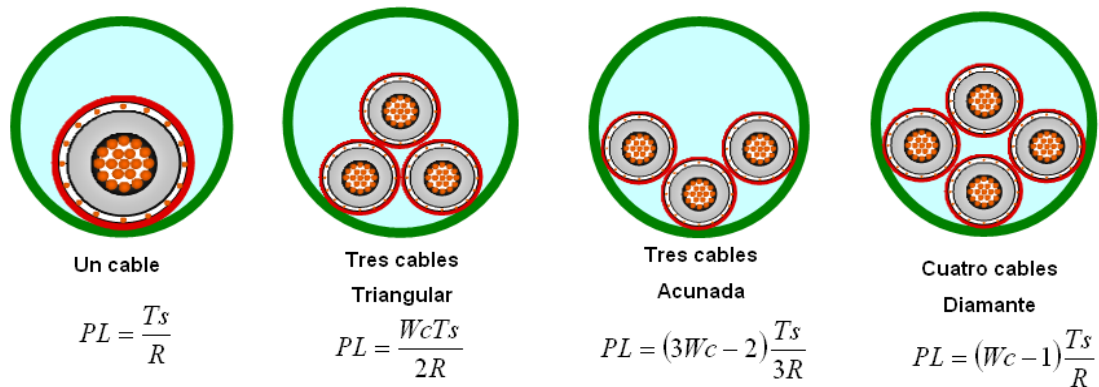


Figura 52. Presión lateral de cables en ductos

Fuente: *Conдумex. Instalación de cables en ductos*

Donde:

$T_s$  = Tensión de jalado a la salida de la curva

$T_e$  = Tensión a la entrada de la curva (kg)

$R$  = Radio de la curva (m)

$W_c$  = Factor de corrección del peso o de la fuerza normal debido al acomodo de los cables en el ducto.

De la misma manera en cómo sucede con el radio de curvatura, existe también una presión lateral máxima permitida que se definen por el tipo de cable con el que se está trabajando, para lo cual se tiene la siguiente tabla:

Tipo de cable	Presión lateral Máxima (kg/m) (1)
600 V con aislamiento de XLPE	1786
600 V con aislamiento de EPR ó Neopreno	1488
<b>Aislamiento de XLPE ó PE, pantalla de alambres concéntricos:</b>	
- Sin cubierta (2)	1786
- Con cubierta embebiendo alambres	2976
Aislamiento de XLPE ó PE, pantalla "LC", cubierta de LDPE	2232
Aislamiento de XLPE, EPR ó PE, pantalla de alambres concéntricos o cintas, cubierta tubulada de LDPE ó PVC (3)	2976
<b>Cable con cubierta de plomo, con o sin cubierta exterior polimétrica:</b>	2976
- Aislamiento de XLPE	2976
- Aislamiento de EPR	2976
<b>Aislamiento de XLPE, pantalla de alambres o cintas, cubierta tubulada de MDPE</b>	2946

- 1.- Para considerar el uso de estos valores, el valor de tensión de jalado no debe ser mayor que el calculado para cuando los cables se jalen del conductor.
- 2.- Para el jalado de tres cables en un ducto, una presión lateral máxima de 1116 kg/m debe considerarse.
- 3.- El límite de presión lateral máxima debe ser reducido a 2232 kg/m cuando la cubierta no se aplica apretadamente sobre el núcleo del cable.

Tabla 32. Presión lateral máxima

Fuente: *Conдумex. Instalación de cables en ductos*

Por otro lado, se tienen valores de coeficientes de fricción dinámicos recomendados por reporte EPRI EL-3333-CCM para tramos rectos y curvas con presiones laterales menores a 223 kg/m para lubricantes a base de agua y jabón.

Material del ducto	Material de la cubierta exterior del cable	Un cable por ducto		Tres cables por ducto*
		24 oC	-7 oC	24 oC
PVC	XLPE	0.40	0.40	0.60
	PE	0.40	0.35	0.45
	PVC	0.50	0.25	0.60
	N	0.90	0.55	1.50
	CN	0.40	0.40	.....
	Pb	0.25	0.25	.....
PE	XLPE	0.45	0.35	0.55
	PE	0.25	0.20	0.85
	PVC	0.30	0.20	0.45
	N	0.65	0.45	.....
	CN	0.20	0.20	.....
	Pb	0.20	0.25	.....
FIBRA	XLPE	0.30	0.20	0.65
	PE	0.25	0.35	0.60
	PVC	0.40	0.20	0.45
	N	0.40	0.30	0.55
	CN	0.40	0.35	.....
	Pb	.....	.....	.....
CONCRETO	XLPE	0.30	.....	.....
	PE	0.35	.....	.....
	PVC	0.55	.....	.....
	N	0.50	.....	.....
	CN	.....	.....	.....
	Pb	0.55	.....	.....
TRANSITE	XLPE	0.70	.....	0.70
	PE	0.70	0.35	.....
	PVC	0.70	0.35	0.70
	N	1.00	0.95	1.80
	CN	.....	.....	.....
	Pb	.....	.....	.....
ACERO	XLPE	0.60	0.45	0.65
	PE	0.50	0.50	.....
	PVC	0.65	0.40	.....
	N	1.05	0.70	1.75
	CN	0.50	0.50	.....
	Pb	.....	.....	.....

-Los coeficientes de fricción para lubricantes de base de arcilla están basados en datos de prueba limitados y son de un 20% a un 250% mayores que de los base de jabón y agua.\*Estos factores de fricción también pueden ser usados para jalado de cuatro cables en un ducto.

Tabla 33. Llenado de ductos

Para el caso del coeficiente de fricción se tienen valores del coeficiente de fricción dinámicos recomendados por reporte EPRI EL-3333-CCM para curvas con presiones laterales mayores a 223 kg/m para jalados de uno y tres cables por ducto y para todos los lubricantes:

Material del ducto	Material de la cubierta exterior del cable	Coeficiente de fricción
PVC, PE, CONCRETO	XLPE, PE, N	0.15
PVC, PE, CONCRETO	PVC	0.30
ACERO	XLPE, PE, N	0.25
ACERO	PVC	0.30
ACERO	Pb	0.20

Tabla 34. Coeficiente de fricción

Fuente: *Condumex. Instalación de cables en ductos*

Un valor generalmente usado para el coeficiente de fricción en muchas instalaciones independientemente de si es tramo recto o curva es 0.5

Asimismo, es importante mencionar que la tensión de jalado es el parámetro que más debe de tenerse controlado para evitar daños en el cable y sobre todo, cuando el valor de la tensión calculada sea de una magnitud mucho más grande a la calculada, es muy probable que exista un problema de atascamiento en el ducto, lo cual es sumamente delicado y no tiene otra forma de solución más que excavando y descubriendo el cable, cosa que se traduce en un costo mayor en la instalación y un retraso en el trabajo que se está realizando.

#### 5.9.2.7.5 Factor de corrección del peso o de la fuerza normal

Cuando se realiza el jalado de los cables a través de los ductos, en el momento de introducir más de un conductor se tiene que hacer una corrección de peso del cable, ya que al estar en contacto con otros se tiene una mayor fricción y por lo tanto una mayor dificultad para jalarlos, por lo cual se tiene que debe de corregirse dependiendo del número de conductores que han de instalarse en el mismo ducto, es claro que en el caso de un solo conductor por ducto no se realizará ningún ajuste de peso, ya que la fuerza normal entre la superficie interior del ducto y la superficie exterior del cable será mínima por lo que el factor de corrección de peso se considera en el valor de 1.

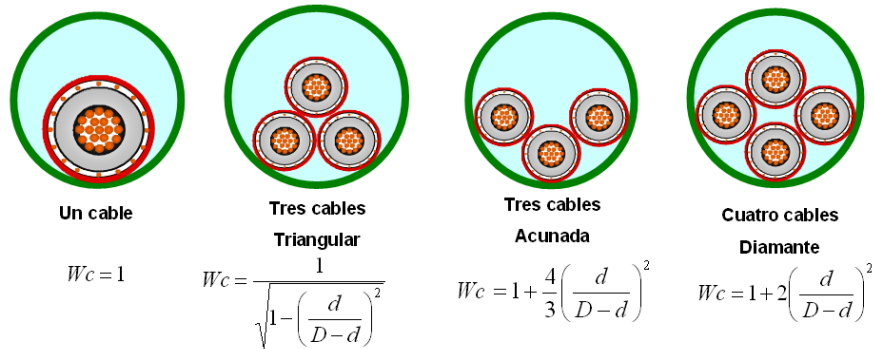


Figura 53. Presión lateral para cables en ductos

Fuente: *Condumex. Instalación de cables en ductos*

Donde:

$W_c$  = Factor de corrección del peso o de la fuerza normal debido al acomodo de los cables en el ducto.

$D$  = Diámetro interno del ducto, en mm

$d$  = Diámetro de cada cable, en mm

#### 5.9.2.7.6 Ejemplo de cálculo

Ejemplo:

Se instalará un alimentador de una subestación a un control de motores con cable de energía Vulcanel 2000 XLP 25 [kV] 100% N.A. conductor de Cu calibre 1/0 AWG, en un banco de ductos. Calcular la sección del ducto, longitud máxima de jalado y la máxima tensión permisible de jalado para cable por ducto.

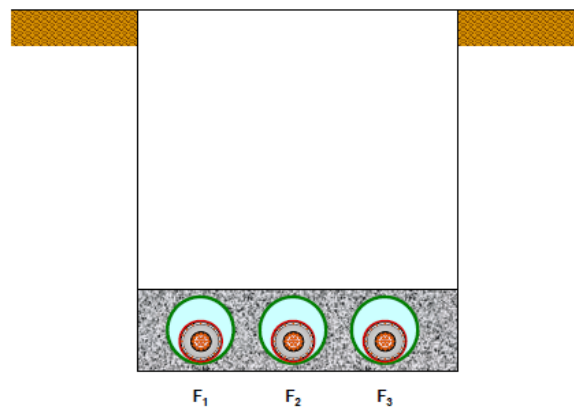


Figura 54. Banco de ductos.

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía*

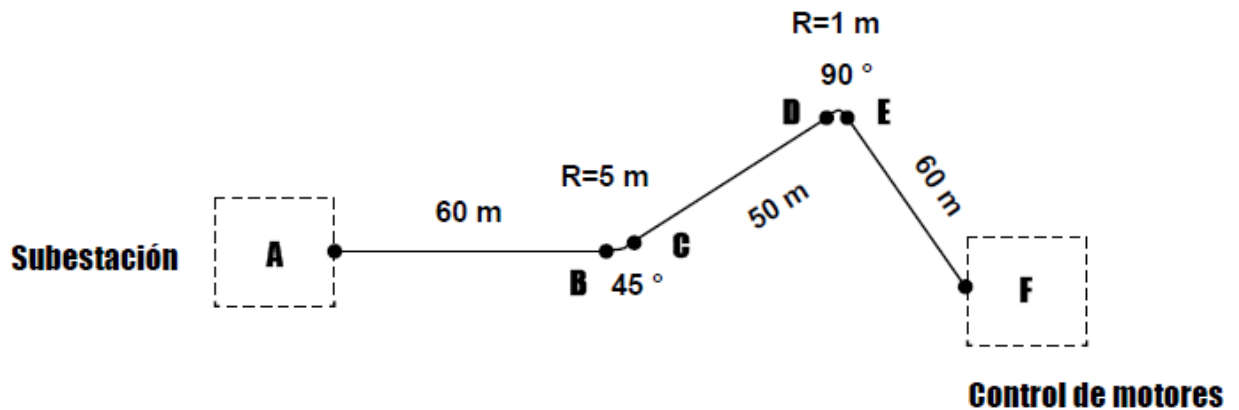


Figura 55. Trayectoria del alimentador

Datos:

$$\text{Peso del cable: } 1.28 \left[ \frac{kg}{km} \right]$$

$$\text{Área del conductor: } 53.5 \left[ mm^2 \right]$$

$$\text{Diámetro exterior: } 30.3 \left[ mm \right].$$

Selección del ducto:

Área del cable:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (30.3)^2}{4} = 721.07 \text{ mm}^2$$

El relleno del ducto es de 40 % máximo.

Diámetro del ducto: 50.8 mm.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (50.8)^2}{4} = 2026.82 \text{ mm}^2$$

$$\% \text{relleno} = \frac{\text{Área del cable}}{\text{Área del ducto}} = \frac{721.07}{2026.82} = 36 \%$$

Longitud máxima de jalado:

$$L_m = \frac{T_m}{WK_b \omega}$$

$$T_m = 7 \times 1 \times 53.5 = 374.5 \text{ kg}$$

$$L_m = \frac{374.5}{1.28 \times 0.5 \times 1} = \frac{374.5}{0.64} = 585.15 \text{ m}$$

Tensión permisible de jalado:

Si la unto "A" al "F", tenemos:

Tensión en el punto "B":

$$T_B = WK_b \omega L = 1.28 \times 0.5 \times 1 \times 100 = 64 \text{ kg}$$

Tensión en el punto "C":

$$T_C = T_B e^{K_b \omega \theta} = 64 e^{(0.5)(1)(0.79)} = 94.78 \text{ kg}$$

Tensión en el punto "D":

$$T_D = T_C + T_{C-D} = 94.78 + (1.28 \times 0.5 \times 1 \times 50) = 126.78 \text{ kg}$$

Tensión en el punto "E":

$$T_E = T_D e^{K_b \omega \theta} = 126.78 e^{(0.5)(1)(1.57)} = 278.07 \text{ kg}$$

Presión lateral:

$$P_L = \frac{T_E}{R} = \frac{278.07}{10} = 27.807 \text{ kg} \quad (\text{acceptable})$$

Tensión en el punto "F":

$$T_F = T_E + T_{E-F} = 278.07 + (1.28 \times 0.5 \times 1 \times 60) = 316.47 \text{ kg}$$

Cálculos de la tensión del punto "F" al "A":

$$T_E = WK_b \omega L = 1.28 \times 0.5 \times 1 \times 60 = 38.4 \text{ kg}$$

$$T_D = T_E e^{K_b \omega \theta} = 38.4 e^{(0.5)(1)(1.57)} = 84.22 \text{ kg}$$

$$P_{LD} = \frac{T_D}{R} = \frac{84.22}{10} = 8.42 \text{ kg/m}$$

$$T_C = T_D + T_{D-C} = 84.22 + (1.28 \times 0.5 \times 1 \times 50) = 116.22 \text{ kg}$$

$$T_B = T_C e^{K_b \omega \theta} = 116.22 e^{(0.5)(1)(0.79)} = 172.12 \text{ kg}$$

$$P_{LB} = \frac{T_B}{R} = \frac{172.12}{5} = 34.42 \text{ kg/m} \quad (\text{acceptable})$$

$$T_A = T_B + T_{B-A} = 172.12 + (1.28 \times 0.5 \times 1 \times 100) = 236.12 \text{ kg}$$

De los resultados obtenidos se observa que instalado del punto "F" al "A", resulta una tensión más baja que si se instalará del punto "A" al "F".

#### 5.9.2.7.7 Paquete de cálculo para tensiones de jalado

Existen diversos paquetes de cómputo que permiten el cálculo de los parámetros necesarios para la instalación de un cable de energía, uno de esos paquetes es Pull-Planner™ 3000 para Windows™, que calcula la tensión de jalado del cable de energía y la presión de las paredes circundantes a través

del uso de ecuaciones de jalado. El calculo de tensiones es útil en sistemas de tuberías y en la planeación del jalado de cable a través de una instalación nueva o existente Este calculo y planeación puede ahorrar dinero al momento de la instalación y jalado del cable de energía mientras que se asegura que las tensiones de instalación no dañarán el cable.

Es importante señalar que cada empresa que se encarga del diseño de cables de energía tienen la preocupación de ofrecer a sus clientes un servicio completo, por lo cual adquieren o ellos mismo diseñan su propio software para el cálculo de los parámetros mecánicos y eléctricos de un cable de energía.

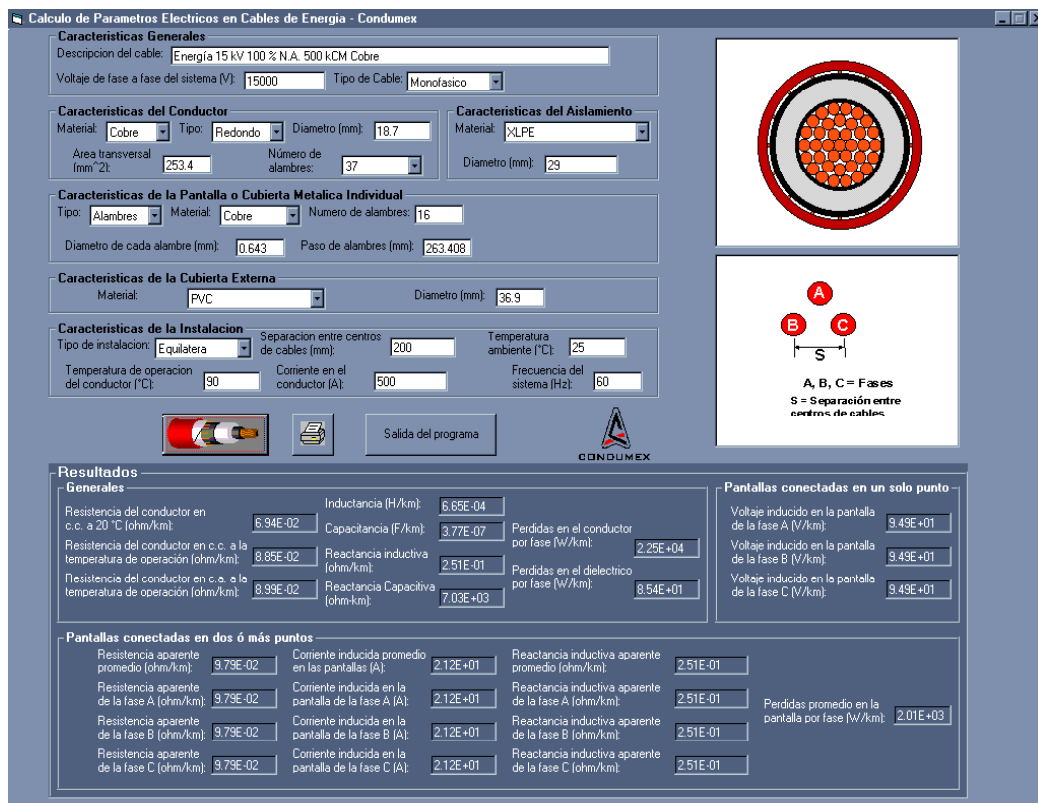


Figura 56. Software para el cálculo de parámetros de cables de energía  
 Fuente: Conдумex. Programa de cálculo de tensiones inducidas

### 5.9.2.8 Tendido del cable en el ducto

Una vez que ya se han atendido todos los puntos anteriores, es entonces cuando el cable está listo para ser instalado. En primer lugar, el carrete es llevado hasta el lugar de la instalación, específicamente hasta el lugar en donde está el primer registro de entrada y con la posición adecuada para un fácil desplazamiento del cable y del carrete. Una vez ajustado el dinamómetro del malacate a lo previamente calculado así como la punta del cable sujeto a la guía que pasa a través del ducto, es entonces cuando se procede a hacer el jalado del cable a través del ducto, a una velocidad constante.

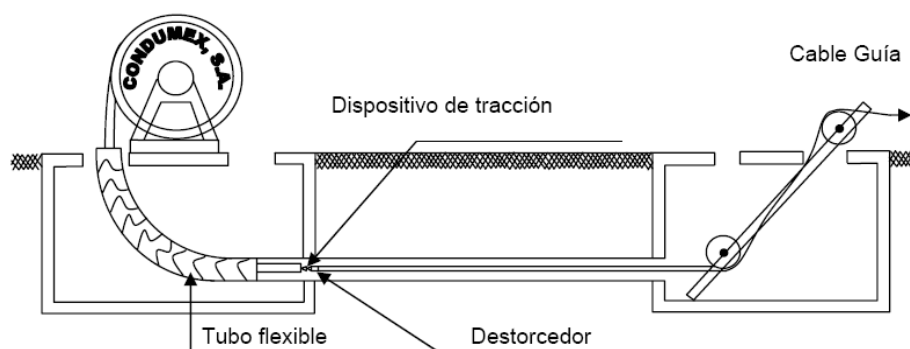


Figura 57. Disposición del carrete y el equipo para la instalación de cables de energía en ductos

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

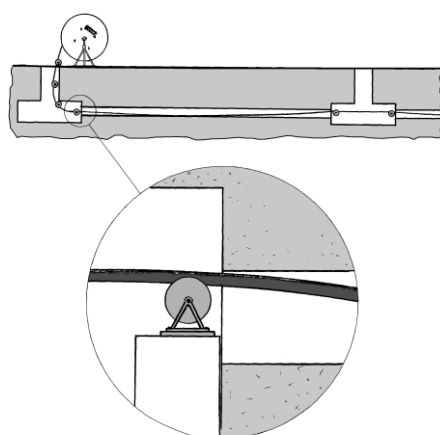


Figura 58. Instalación de cables en ductos

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

Existen ciertos bordes en la entrada del registro en los que puede rozar el cable y ser dañado, para lo cual se utilizan rodillos o alguna otra protección que impida el contacto del cable con superficies filosas propias de la misma construcción utilizada para la instalación del cable.

En la siguiente fotografía se observa la forma en como se coloca el rodillo para evitar que el cable entre en contacto directo con el borde del registro.

En las siguientes fotografías se muestra que si bien no son rodillos, se busca la mejor manera de proteger al cable contra todo tipo de filos, no solamente en la entrada del primer registro, sino en cualquier otro.





Foto 19. Modo de proteger el cable

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

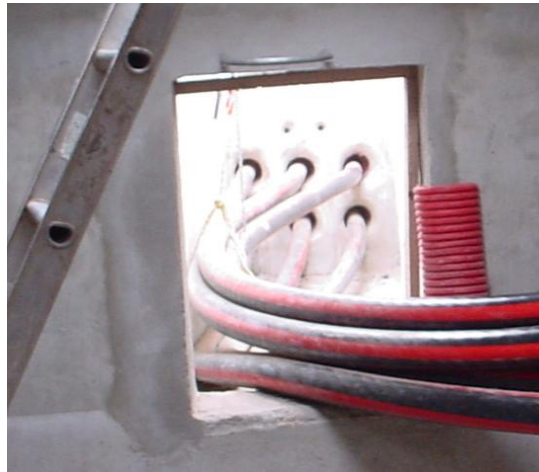


Foto 20. Cables instalados en los ductos

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

Otro elemento que permite disminuir la fricción entre la superficie del ducto y del cable es el lubricante, que se aplica sobre el cable mientras éste va entrando en el registro, debe quedar claro que a pesar de tener componentes químicos, éstos no son corrosivos ni tóxicos, por lo tanto no causarán ningún tipo de daño al cable en tiempo futuro.



Foto 21. Lubricación del cable

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

### 5.9.3 Barrenación direccional

La barrenación o perforación direccional es la única alternativa para la instalación de cables en ductos en cruces de ríos, aunque en los últimos años es muy utilizada para otro tipo de instalaciones para suministro de gas o agua, principalmente.

La perforación direccional permite instalar un ducto por debajo de un obstáculo, como un río o carretera, sin perturbar el entorno.

Al contrario de la técnica de perforación horizontal, la trayectoria curva de una perforación horizontal dirigida permite hacer pasar el ducto por debajo de obstáculos desde la superficie, de manera que no se requiere efectuar ninguna excavación importante, reduciendo así su tiempo de construcción de hasta un 70%.



Figura 59. Crece de carreteras

Fuente: Perforación direccional, tomado de <http://www.underterra.com/framesp/frgaleria.htm>

Cuando en un proyecto se contempla la colocación de ductos de tuberías que han de cruzar zonas urbanas de alto tránsito, pistas de aterrizaje con alto tráfico, ríos con caudal permanente, sin perturbar las operaciones normales puede ser de gran ayuda el uso de la perforación horizontal dirigida.

Es necesario señalar que la perforación direccional no solamente se utiliza para la instalación de ductos en cruce de ríos, sino que dadas las necesidades de la industria, en la actualidad se utiliza también para colocar ductos en cruces de carreteras importantes o centros de ciudades en donde no es posible cerrar el paso peatonal y vehicular, por ejemplo.



Foto 22. Barrenación direccional

La perforación direccional es ideal en suelos no pedregosos y bloques (arcilla, limo y arena), puede ejecutarse asimismo con casi todo tipo de rocas, permite instalar ductos que pueden alcanzar 1.200 milímetros de diámetro, ofrece la posibilidad de efectuar perforaciones que alcancen hasta 1.800 metros de longitud (lo que varía según las condiciones del suelo y el diámetro requeridos). Antes de nada, deberán llevarse a cabo sondeos al igual que un estudio geotécnico completo, con el propósito de que podamos evaluar todas las dificultades posibles y determinar la trayectoria de la perforación.

Es digno de destacar, que la técnica de barrenación o perforación direccional ha ido evolucionando, desde el uso de la deflexión de la barrena utilizando cuñas de desviación, hasta el sistema rotativo direccional. A continuación se menciona cómo ha evolucionado.

- Deflexión de la barrena utilizando cuñas de desviación
  - o Control limitado
  - o Pérdida de objetos

Una cuña de desviación es una cuña inclinada que se coloca en el pozo para colocar a la barrena a comenzar la perforación, alejándose del eje del pozo.

- Motor de desplazamiento positivo
  - o Control direccional mejorado
  - o Ineficaz
- Motor para perforación direccional
  - o Modo de rotación y modo de deslizamiento controlados desde la superficie
  - o Control direccional mejorado
  - o La tortuosidad ocasionada por la perforación en el modo de deslizamiento limita el alcance

- Sistema rotativo direccional
  - o Rotación continua
  - o Excelente control direccional
  - o Mejoramiento de calidad del pozo
  - o Mayor velocidad de penetración
  - o Altamente eficaz.

Luego del estudio geológico, y definidas la dirección y profundidades de la perforación se inicia con la colocación de tuberías flexibles de una aleación especial de acero que permiten ir sorteando los obstáculos o interferencias. Luego de finalizado el tramo de perforación, se procede a retirar la tubería y colocar la definitiva en la cavidad dejada por la anterior.

Un sistema de cables que se instalan por debajo de un río implica que la importancia del circuito es muy grande, por lo cual, es necesario considerar si es rentable instalar un cable extra, para que en caso de falla de alguno de los instalados, el sistema pueda seguir funcionando con normalidad y así dar tiempo a reemplazar el defectuoso.

La metodología para instalar los cables a través del ducto es el ya mencionado en los puntos anteriores, sólo que en éste caso no hay la posibilidad de algún registro de paso, por lo cual es fundamental supervisar a detalle el comportamiento del dinamómetro, ya que los únicos dos medios visuales para revisar el estado del cable es en los extremos del río, de manera que cualquier problema que se pueda evitar en la trayectoria instalada determina el éxito o fracaso del tendido del cable.

### **5.9.3.1 Cruce de ríos**

Existen un tipo de instalaciones de cables de energía en ductos subterráneos muy especiales, y en los cuales es necesaria la intervención de otro tipo de tecnología. Cuando se necesita instalar un sistema de cables que siguen una trayectoria en la cual se interponen elementos naturales como ríos, no queda otra opción más que instalar los cables siguiendo una trayectoria que pase por debajo de los ríos. Éste tipo de instalación es subacuática por las condiciones de humedad del terreno en el que se instala, y para lo cual es necesario un trabajo de ingeniería mucho más completo y exhaustivo.

El hecho de instalar cables debajo de un río, más que un asunto de exploración de los alcances de un trabajo de ingeniería y de tecnología, es por necesidad, ya que en el caso de que se requiera alimentar una ciudad que está limitada por un río en la trayectoria en la que se desea instalar, no se tiene otra opción más que instalar ya sea por vía aérea o subterránea.



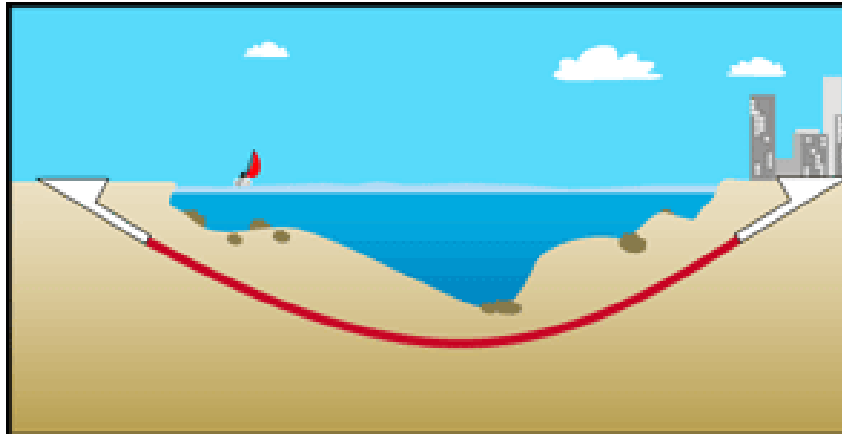


Figura 60. Ducto en un cruce de río

#### 5.9.4 En galerías y canaletas

Desde el punto de vista de la disipación térmica del calor generado por los cables y de la influencia térmica ambiental, se necesita de un estudio al respecto para poder determinar dimensiones y particularidades de las galerías y canales, situación relativa de los cables y número de éstos.

Foto 23. Trayectoria de cables sobre canaletas

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



Foto 24. Guiado de cable en curva

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

##### 5.9.4.1 Materiales y dimensiones

La construcción de las trincheras de mampostería o de concreto de vaciado, tienen un elevado costo, por lo que existe la tendencia hacia el uso de placas prefabricadas de concreto armado, cuya colocación en el campo es sencilla y económica.

Para el caso de los materiales utilizados para las tapas, pueden ser concreto, fierro o fibra de vidrio, que se define de acuerdo al tipo de trinchera que se use y de las cargas mecánicas que sean exigidas por el peso de los cables que han de ser tendidos.

Las dimensiones que deben de tener las galerías dependen exclusivamente del número de cables y de circuitos que han de instalarse, tomando en cuenta que debe tenerse el espacio suficiente para las maniobras que se requieran hacer.

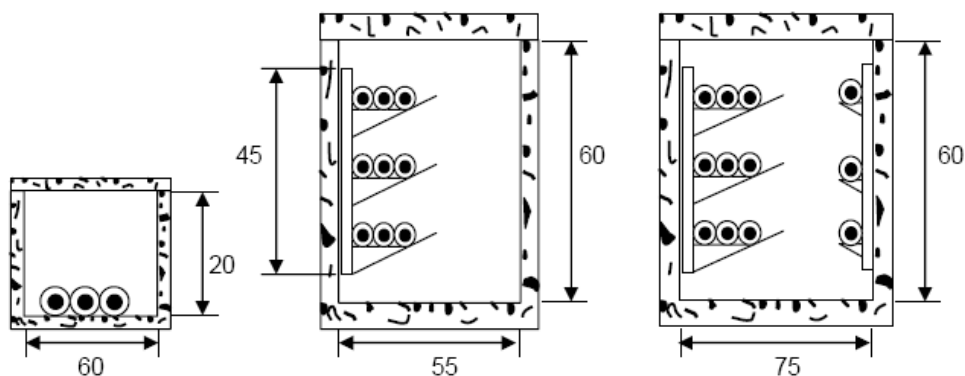


Figura 61. Formas de colocar las trincheras en galerías

Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

Es siempre aconsejable disponer por separado los circuitos de tensiones distintas, tanto más cuanto mayor sea esa diferencia. En las galerías pueden situarse todos los cables de A. T. en uno de los laterales, reservando el otro para B. T., control, señalización, etc. En los canales se trabaja de manera similar, pero, si es posible, es preferible destinar canales distintos, dado sus reducidas dimensiones respecto a las galerías.

En las galerías que se instalan en lugares con alto nivel de humedad, debe utilizarse un impermeabilizante para las paredes, asimismo todo el sistema de galerías instalado debe de tener una pendiente del 1% hacia un sistema de alcantarillado para drenar el agua que pueda filtrarse.

De la misma manera, debe de tenerse una adecuada ventilación para tener una buena disipación de calor que se genera en los cables, y es tan indispensable, que la ventilación interviene de una manera importante en la selección del calibre de los cables que se van a instalar. Por seguridad, en los puntos de entradas a edificios por ejemplo, las galerías deben de aislarse con tabiques o algún otro material no combustible para evitar la propagación del fuego en caso de una falla.



Foto 25. Montaje de cables en galerías

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

Cuando los cables se instalan en un canalillo de obra, no conviene rellenarlo con tierra o arena, ya que con el calor generado por los cables se va evaporando la humedad contenida en la misma, que no puede recuperarse a través de las paredes de obra del canalillo.

La tierra seca tiene una resistividad térmica que puede alcanzar un valor cuatro o cinco veces superior al inicial, por lo que, al empeorar las condiciones de disipación del calor generado, los cables se calentarían más de lo normal y sobrepasarían la temperatura de servicio admisible, reduciendo así su vida útil.

Por lo tanto, es mejor dejarlos a la interperie pues aunque se requiera un cierto coeficiente de reducción en la intensidad de carga permitida por los cables debido al incremento de temperatura que pueda tener el aire en el interior del canalillo, nunca se alcanza una situación tan desfavorable y peligrosa como si se rellenase de arena. Esta condición quedaría favorecida si el aire pudiera renovarse en el interior del canalillo.

Los cables instalados en galerías y canales deben estar sujetos mediante bridas para evitar los movimientos que pueden presentarse debido a los ciclos térmicos por el servicio, esfuerzos electrodinámicos, etcétera.

Estos fenómenos pueden llegar a ser tan importantes que en cables unipolares de grandes secciones, para el transporte de elevadas potencias, es necesario estudiar previamente la distancia a la que deben ser colocadas esas bridas, presentándose algunas ocasiones en las que la distancia no debe ser superior a 40 cm. Generalmente se acepta, en instalaciones normales, una separación entre bridas de unos 80 a 150 cm.

Todos los elementos metálicos para la sujeción de los cables (bandejas, soporte, bridas, etc.) deben conectarse eléctricamente a tierra, siendo conveniente que se independicen estos circuitos de tierra cuando existan cables de diversos niveles de tensión. Con ello se evita que sobretensiones en las envolturas metálicas de los cables, cuyo valor puede ser considerable en ciertas circunstancias, y tenga influencia en circuitos que no están afectados previamente por el fenómeno.

#### **5.9.4.2 Tendido del cable**

Por lo general, las galerías tienen pequeñas longitudes, por lo que se facilita la instalación de los cables, sin embargo no todos los cables que se instalan son ligeros o cortos, por lo que deben de seguirse diversas recomendaciones.

En éste tipo de instalación, también se utiliza un desenrollador con el carrete en el lugar más adecuado para jalar el cable, en caso de que exista el espacio suficiente en el interior de la galería, se deben de colocar rodillos paralelos. El equipo de tracción, o malacate debe colocarse en el extremo opuesto al desenrollador con el carrete.

Es posible que en éste tipo de instalación, existan cambios de dirección, que además de respetar el radio de curvatura del cable, deben contar con la instalación de rodillos o poleas para proteger al cable durante el jalado.

Los cables deben colocarse sobre clemas o alguna otra estructura de soporte deben de colocarse a una distancia mínima de 15[cm] entre éstas. Para el caso de que la estructura de soporte sean ménsulas, el espacio horizontal que deben de existir depende del peso de los cables.

Los cables deben estar separados por lo menos la distancia de un diámetro y medio de uno de ellos y deben distribuirse de tal manera que no coincidan en el mismo plano vertical para facilitar la disipación de calor, dicho espacio puede fijarse por medio de amarres, los cuales evitan que los cables se muevan del lugar en el que han sido colocados.

Un aspecto más que debe considerarse es la identificación de los cables por circuito y por fase, mediante el uso de etiquetas, placas u otro medio que deben ser resistentes a la corrosión y a las condiciones propias del medio ambiente.

##### **5.9.4.2.1 Tendido vertical del cable**

Para el caso de minas o edificios de gran altura es posible que se requiera de cables de larga longitud dispuestos de forma horizontal de longitud considerable, y en donde el paso del cable puede llegar a producir grandes esfuerzos por el peso debido a la forma en cómo está instalado, por lo cual es importante tomar medidas especiales para evitar este tipo de problemas.



La mejor manera de tender los cables es colocando el carrete en la parte superior y por lo tanto hacer descender el cable con cuidado, sujetándolo de una base capaz de soportar el peso del cable que ha de bajar a través de la trayectoria vertical. El tratamiento que se le debe dar al cable cuando se está desenrollando es delicado, ya que debe tenerse un buen mecanismo de frenado para controlar el peso del cable que está siendo bajado y que cada vez tiene un mayor peso.

Una vez que el cable ha sido totalmente desenrollado, se procede a sujetarlo de la pared con elementos de fijación adecuados como las abrazaderas no magnéticas, cuidando de que no sea dañada la cubierta del cable. Cabe señalar, que el cable en el tiempo de operación, suele presentar elongaciones debido a la dilatación por causa del calor generado en su conductor, por lo que las abrazaderas deben permitir un ligero desplazamiento del cable, pues si está firmemente apretado, se corre el peligro de que se presenten deslizamientos entre las interfaces internas del cable y deformaciones en los puntos en donde está sujeto.

Además, la instalación de un cable en tiro vertical está presente en el caso de cualquier tipo de instalación eléctrica, cuando los cables tienen que llevarse hasta las terminales de un poste, en este caso el tiro vertical es aplicable y no es posible llevar el carrete a la parte superior.

Por lo cual, el cable que ha sido instalado en cualquier forma, debe salir una distancia en su último registro que ha de conectarse con terminal es poste que corresponda con la altura de dicho poste. De aquí se utiliza un sistema de poleas para que desde la parte inferior se utilice el equipo de tracción y de ésta manera subir el cable hasta donde ha de ser conectado.



Foto 26. Instalación de cable en poste

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

### 5.9.5 En bandejas o charolas

Una bandeja o charola es una estructura rígida construida ya sea de metal o de materiales no combustibles para soportar cables eléctricos, la justificación para utilizar charolas en lugar de cualquier otro tipo de estructura es que en los lugares en los que se desea instalar cables eléctricos es imposible abrir zanjas y en donde se dispone de espacio suficiente para colocarlas.

Las charolas son muy utilizadas en la industria ya que es relativamente sencillo montar las estructuras, así como la instalación de los cables, su mantenimiento, reparación y localización de fallas, incluso aumento de cables. Comparado con otro tipo de instalación como la subterránea, en cuestión de gastos, la instalación en charolas o bandejas es más económica.

Las charolas brindan una mayor flexibilidad en la instalación del cable, ya que existe una mayor libertad para hacer modificaciones en el diseño y corregir o cambiar una instalación que ya ha sido colocada.

Los materiales más comúnmente usados para la construcción de charolas son dos: el acero galvanizado y aluminio, en el caso de que el medio en el cual se instale sea corrosivo, húmedo o expuesto a químicos, se recomienda recubrir las charolas con resina epóxica o materiales plásticos.

El número de cables que se instalen en la charola determina sus dimensiones y de su peso, además de que debe estar diseñada para colocar cubiertas de ser posible y evitar la acumulación de polvo, agua o algún otro agente externo. De la misma manera, el soporte de las charolas debe permitir no solamente cargar el peso de los cables, sino también el de las personas que han de trabajar para colocar los cables adecuadamente.



Foto 27. Montaje de cable en charolas

Fuente: Coemsa

### 5.9.5.1 Tipos de montaje

Existen básicamente dos tipos de montaje de charolas:

- Montaje colgante. Puede ser sujetado en la losa o a la estructura por medio de varillas o canales complementarios con travesaños, formando trapecios o columpios donde descansará la charola.
- Montaje empotrado sobre los muros, En éste se utilizan canales de lámina de acero troquelada en su parte central en forma de cremallera, y se complementa con ménsulas de patas “uñas para sujetar”.

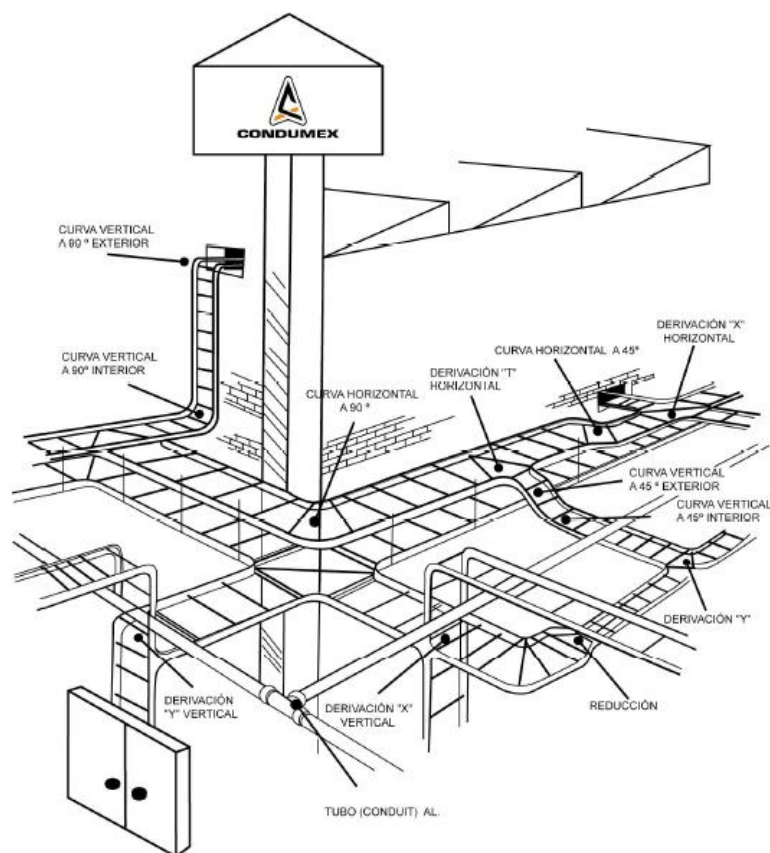


Figura 62. Sistema de soporte tipo charola para cables  
Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 18

La separación vertical entre cada una de las charolas en caso de que se instale más de una debe ser una distancia mínima de 30[cm] y la distancia entre la charola más alta y el techo o alguna otra estructura como vigas, tubos, etcétera, debe de ser de 25 [cm]. Las distancias acotadas sirven para que se facilite la instalación del cable. Ahora bien, en el caso de que existan en el sistema de cables que se instale diferentes niveles de tensión deben colocarse en orden descendente, es decir; en la parte superior los de mayor tensión y en las charolas inferiores los de menor tensión.

En éste sentido, considerando el lugar en el cual se instalan las bandejas o charolas para la colocación de los cables de energía, es evidentemente claro que también existirán curvas, las cuales deben ajustarse al radio mínimo de curvatura del cable, que para efectos prácticos y de seguridad debe considerarse 15 veces el diámetro exterior.

Por otro lado, los soportes que mantengan en equilibrio a las charolas deben colocarse de preferencia en los extremos de cada tramo, y deben estar diseñadas para drenar el agua para evitar daños en los lugares en donde las charolas tienen conexiones con equipo eléctrico.

Algo fundamental y que por ningún motivo debe pasarse por alto es que todo el sistema de charolas instalado debe tener continuidad eléctrica y estar sólidamente conectado a tierra, aunque debe decirse que no por esta razón las bandejas se consideran como una trayectoria de retorno para la corriente de falla.

Como ya se mencionó, es necesario procurarse la instalación de cubiertas sobre las charolas instaladas que servirán de protección física al cable que ha de colocarse, éstas deben tener una ventilación adecuada, ya sea que las bandejas estén instalas en exteriores, interiores o tramos verticales.

#### **5.9.5.2 Tipos de tendido de cable**

Existen tres formas de instalar un cable en charola: colocar el carrete sobre una base desenrolladora desplazando el carrete a lo largo de toda la trayectoria, utilizando rodillos y poleas o instalarlo manualmente. Esto depende de la facilidad o dificultad que exista en la trayectoria de las bandejas instaladas.

##### **5.9.5.2.1 Desenrollar directamente sobre la charola**

Si la trayectoria que va a seguir el cable a través de la charola está totalmente libre de obstáculos y con el espacio suficiente para hacer maniobras, entonces el carrete en su base desenrolladora simplemente se desplaza a lo largo de toda la trayectoria, de manera que en ese mismo instante el cable va quedando tendido sobre la charola.



Foto 28. Montaje del carrete en el desenrollador  
*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía*

#### 5.9.5.2 Utilizando rodillos y poleas

En el caso de que el espacio no sea suficiente para desenrollar directamente, se puede utilizar ésta otra manera, en donde se coloca el desenrollador con el carrete en un lugar que permita el jalado del cable.

Además, deben colocarse rodillos y poleas en toda la trayectoria de la bandeja, separados a una distancia razonable para permitir que el cable se desplace sin problemas.



Foto 29. Colocación de rodillos para la instalación de cables en charolas  
*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía*



Una vez que el carrete esta en el lugar correcto y las poleas y rodillos a una distancia razonable, se coloca el equipo de tracción en el extremo opuesto y debe tenderse en las bandejas el cable que se utilizará para servir como guía, en este caso para jalar el cable de energía. No debe pasarse por alto que debe contarse con un destorcedor entre el perno de tracción y el cable guía para no permitir que sufra alguna torsión el cable.

Una vez preparado lo anterior, se procede a jalar el cable con el malacate, debiendo estar al pendiente todo el tiempo en los puntos críticos, como los cambios de dirección, la fuerza de jalado, etcétera, y estar al pendiente todo el tiempo del dinamómetro que indica la fuerza de tensión de jalado y compararla con la calculada para evitar daño en algún punto del cable.

En el caso de que existan cambios de dirección, debe de utilizarse un troquelado con los rodillos para dar una referencia precisa del lugar por el cual debe de ser instalado el cable.



Foto 30. Troquelado con rodillos en un cambio de dirección  
*Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía*

### 5.9.5.2.3 Método manual

El procedimiento utilizado para la instalación manual de un cable de potencia, se utiliza en el caso de tramos cortos de cable y se tienen obstáculos en la trayectoria que impiden la colocación de un equipo de tracción. Las precauciones y la forma en como se instala es similar a la anterior, sólo que se sustituye el equipo de tracción por personal, el cual garantiza una mayor seguridad en la instalación, además de que los integrantes del grupo de trabajo deben colocarse en los puntos estratégicos o puntos críticos para jalar manualmente al cable, y una vez terminado el jalado, se coloca en su posición definitiva respetando la configuración seleccionada.



Foto 31. Tendido del cable con el método manual

*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía*

Los cables también pueden instalarse en charolas que están dispuestas en forma vertical, y en éste caso es necesario buscar soporte para que el cable quede fijo a la charola mediante el uso de clemas o cinchos a distancias convenientes, las cuales son determinadas por el peso del cable para evitar que éste quede directamente colgando, en el caso de los empalmes y derivaciones, quedarán directamente colocados sobre la charola.

Una recomendación muy importante, es que en todo el tiempo de la instalación, los cables estén identificados por fase y circuito, ya sea mediante placas, etiquetas u otro elemento.

### **5.10 Condiciones ambientales durante la instalación**

Existen tres elementos importantes a considerar de las condiciones ambientales durante la instalación: temperatura, condición atmosférica y campos eléctricos externos.

En el caso de la temperatura, se tiene que **TOMAR EN CUENTA** que el esfuerzo dieléctrico de algunos aislamientos se reduce a temperaturas elevadas, por lo que si la temperatura del lugar es alta, se tiene que reducir la tensión de prueba.

Las condiciones atmosféricas también son importantes, ya que si la humedad es muy alta, el agua en forma de vapor se puede introducir en los intersticios del conductor del cable, lo cual es sumamente delicado y el cable fallará en un tiempo muy corto debido al ingreso de agua, por lo cual es recomendable usar sellos o tapones para las puntas del cable y que éstas no sean expuestas a periodos largos de tiempo a la humedad. De la misma manera, la contaminación de la superficie de las terminales ayuda a que la corriente de conducción sea muy grande y por lo tanto se pueda tener un arqueo externo.

En el caso de los campos eléctricos externos se tiene que al realizar las pruebas de campo, es posible que existan equipos funcionando en ese momento que están generando campos eléctricos que influyen en los resultados de las pruebas, incluso puede darse un arqueo si es que se tienen otros circuitos energizados a una distancia corta, por lo cual deben tomarse las precauciones necesarias para evitarlo.

## **5.11 Transición aéreo-subterránea**

Tiene como objetivo realizar la interconexión del sistema eléctrico aéreo con el subterráneo y consiste en un conjunto de estructuras y dispositivos, que deben ser adecuadamente seleccionados, así como de las terminales y las protecciones, lo cual asegura una mayor seguridad, confiabilidad y continuidad del servicio.

Las estructuras se utilizan para dar soporte de fijación a los cables, y deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar el peso de éstos y sus accesorios, además de las condiciones del medio ambiente y la corrosión. El diseño de la estructura puede ser de concreto, acero o madera y depende del número, tipo y tensión de los cables.

Para la protección adecuada del sistema de transición deben considerarse las siguientes recomendaciones:

### **5.11.1 Medidas de protección eléctrica**

- Para evitar daños en el cable, se recomienda poner apartarrayos y cortafusibles adecuados para el sistema, así como la conexión a tierra de todas las partes metálicas.
- Cuando la protección utilizada sea de un tubo o cubierta metálica, debe conectarse sólidamente a tierra.

#### **5.11.1.1 Protección contra sobretensiones**

Un sistema eléctrico siempre debe contar con sus protecciones respectivas para evitar que se dañe el sistema ante un comportamiento de sobre voltajes, ya que es un problema grave que un sistema de cables esté expuesto a sobre voltajes sin estar protegido. En éste caso, hay dos tipos de sobretensiones a las que un sistema de cables está expuesto: sobre voltaje de origen interno y de origen externo.

Las de origen interno se deben principalmente a operación de dispositivos de desconexión (2 a 3 ciclos) (2 veces la tensión de operación) y a fenómenos de resonancia en el sistema.



Las de origen externo se deben a contacto directo con líneas de mayor tensión y a descargas atmosféricas. Las sobretensiones por fenómenos de resonancia se presentan principalmente en sistemas trifásicos de tres hilos con transformadores conectados con neutro aislado (AI ~ delta-estrella conectado a tierra): este problema se eliminará empleando sistemas trifásicos de cuatro hilos o bien utilizando elementos de protección y seccionamiento de operación tripolar simultánea.

Las sobretensiones por contacto directo con líneas de mayor tensión propician la operación de los equipos de protección y la eliminación de la falla. Las sobretensiones por descargas atmosféricas son las de menor duración, pero las más severas; para proteger los cables y equipos contra estas sobretensiones se deben instalar pararrayos adecuados.

#### **5.11.1.2 Protección contra cortocircuito**

En un sistema de distribución se encuentra instalada una diversidad de equipo costoso, al cual se le tiene que proteger de sobre corrientes, y todos aquellos elementos externos o internos que puedan afectar su vida útil, y sobre todo una falla.

Para la protección de un sistema eléctrico es necesario tener en cuenta que los dispositivos de protección contra cortocircuito deben tener las siguientes características:

- Capacidad interruptiva.

Esta característica determina la máxima capacidad de interrupción cuando se presenta una falla de cortocircuito y la tensión de restablecimiento que aparece en los extremos del fusible, después de que éste interrumpe la corriente.

- Elevación de temperatura.

El objetivo es comprobar que el fusible y su base portafusible no excedan los límites de temperatura establecidos por las normas y además que no se dañen, cuando están conduciendo su corriente nominal.

- Corriente-tiempo.

Esencialmente, con esta característica se verifica que las tolerancias dadas por el fabricante sean válidas. Las pruebas son de:

- Corriente-tiempo de fusión
- Corriente-tiempo de interrupción total

Los resultados se presentan como curvas corriente-tiempo en hojas de papel log-log: en la escala horizontal se registra la corriente y en la vertical se registra el tiempo.

- Dieléctricas.

Esta característica determina la respuesta de los fusibles cuando se les aplican sobretensiones transitorias a 60 Hz. En forma de impulsos y sobrecorrientes en forma de impulso como las originadas por las descargas atmosféricas.

A continuación se presentan dos ramas de clasificación de fusibles; su aplicación depende de sus características de operación y tipos de materiales.

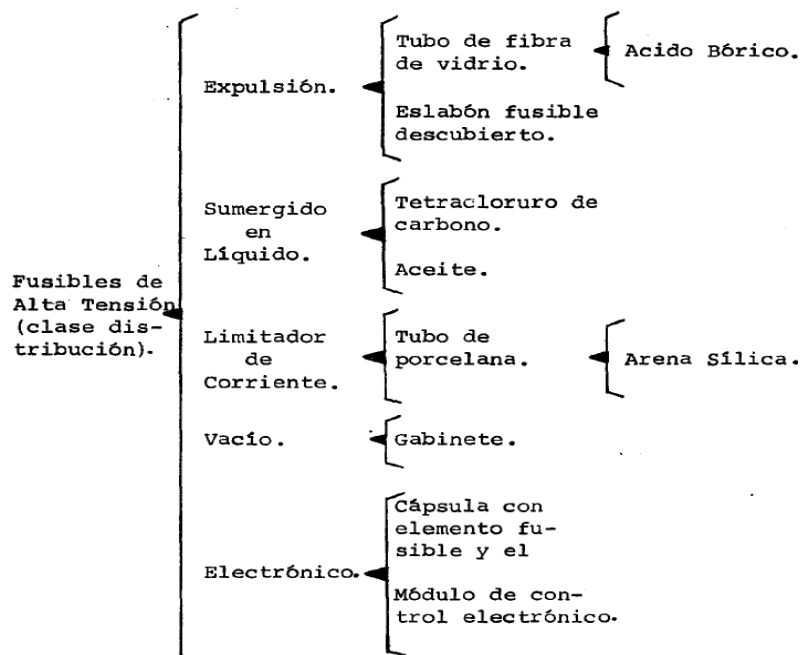


Figura 63. Clasificación de fusibles

### 5.11.2 Medidas de protección mecánica

- Se recomienda proteger mecánicamente los cables, por lo que deben cubrirse completamente hasta una altura mínima de 2.50 [m] sobre el nivel del suelo y por lo menos a una profundidad de 30[cm] dentro del propio suelo.
- Debe vigilarse que los cables suban verticalmente desde el suelo y sólo con la desviación indispensable para que se fijen a la estructura, sin que se supere el radio de curvatura permitido para dichos cables.

- c) Las transiciones deben localizarse en lugares seguros, considerando el espacio para maniobras y el posible riesgo de daño por vehículos.

### 5.11.3 Instalación del cable de la transición

De la misma manera, deben considerarse los siguientes aspectos cuando la transición está siendo instalada:

- a) Colocar un sello en el tubo o protección metálica para evitar la entrada de agua y daño en los cables.
- b) Colocar una clema entre la terminal y la protección mecánica para soportar el paso del cable.
- c) Las partes que están energizadas de las terminales no deben permanecer a alturas menores que las indicadas en la siguiente tabla.

Lugar de instalación	Tensión entre conductores	
	Hasta 15 [kV]	De 15 a 50 [kV]
Expuesto a tránsito de vehículos	5.50	6.00
No expuesto a tránsito de vehículos	4.00	4.50

Tabla 35. Altura mínima de partes energizadas de terminales [m]

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 21*

- d) Los cables o terminales en las transiciones deben estar permanentemente identificados por medio de placas, etiquetas o algún otro medio de identificación que sea resistente al medio ambiente.
- e) Mantener los radios de curvatura dentro de los valores permitidos.

#### 5.11.3.1 Transiciones

Las transiciones son el conjunto de estructuras y dispositivos cuya finalidad primordial es realizar la interconexión del sistema eléctrico aéreo con el sistema subterráneo. La selección adecuada de la estructura, terminales y protecciones permitirá mayor confiabilidad, seguridad y continuidad del servicio.

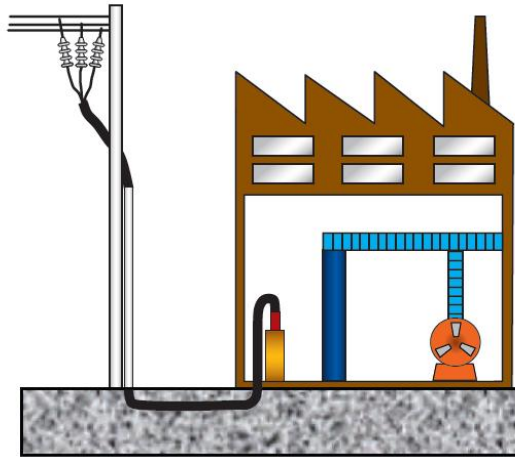


Figura 64. Distribución aérea con entrada subterránea  
*Fuente: CENTELSA, Boletín cables para media tensión*

### 5.11.3.2 Estructuras

Las estructuras que servirán de soporte de fijación a los cables deberán tener resistencia mecánica suficiente para soportar el peso de los cables y accesorios, además de las condiciones del medio ambiente y la corrosión.

El diseño de la estructura dependerá del número, tipo y tensión de los cables, además de los dispositivos de protección.

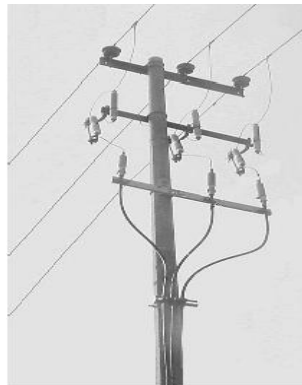


Foto 32. Estructura armada de acero o madera  
*Fuente: Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 21*

En el siguiente diagrama, se presentan los elementos principales para la instalación de una transición aéreo-subterránea:

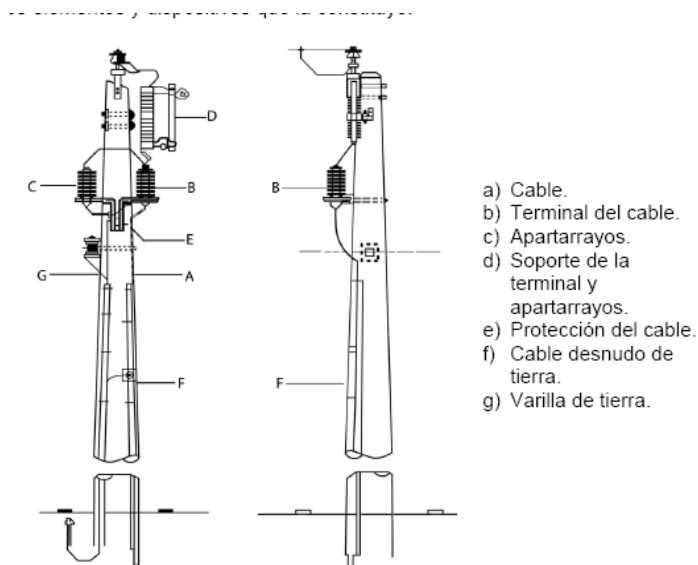


Figura 65. Poste de acero o concreto. Transición típica de un sistema subterráneo de distribución a una línea aérea.

Fuente: *Condumex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 21*



# 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.

- d) 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 ( $E_o$ ).
- e) 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.
- f) 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.
- g) En cables de media tensión, cuando se van a elaborar codos premoldeados, procurar utilizar el doblado 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 despegue 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.
- Alinie 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 ( $\Omega\text{m}$ )
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  $\Omega\text{m}$ . El hormigón, a su vez está inmerso en el terreno, cuya resistividad puede variar desde 1 hasta 1000  $\Omega\text{m}$ . 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.

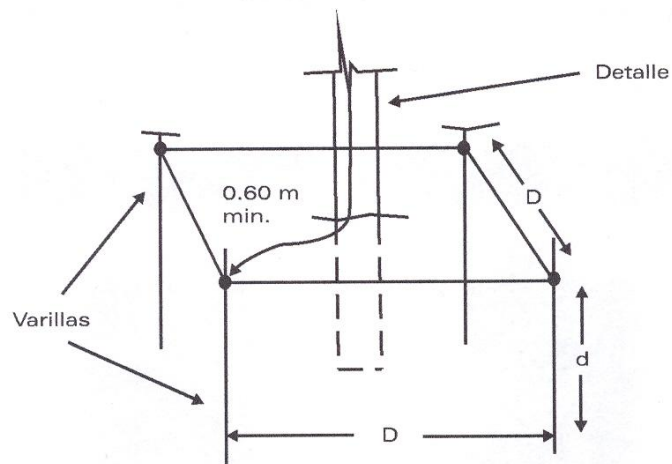


Figura 66. Conexión a tierra

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.

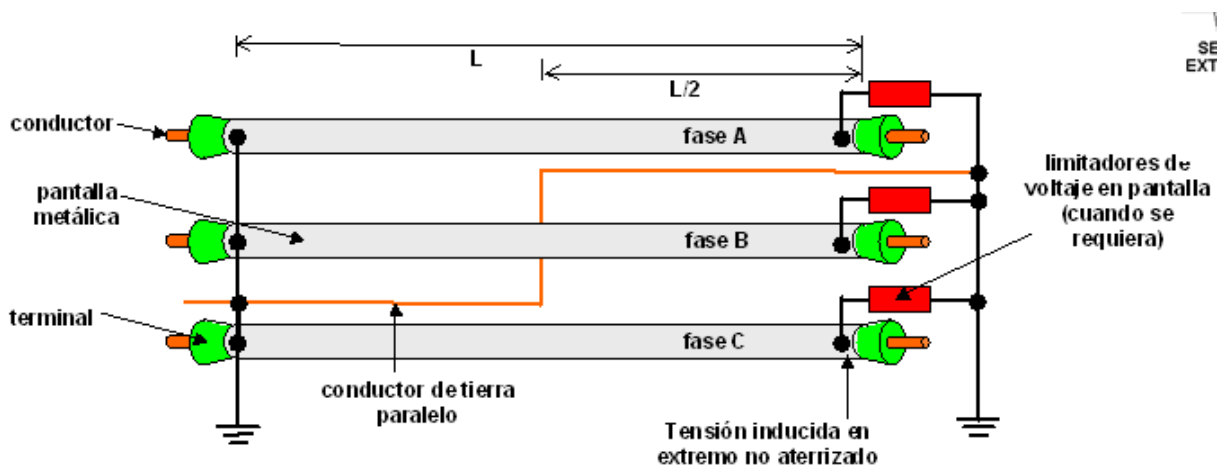


Figura 67. Aterrizaje de pantallas en un solo punto  
Fuente: Condumex. Programa de cálculo de tensiones inducidas

- **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  $120^\circ$ , 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.

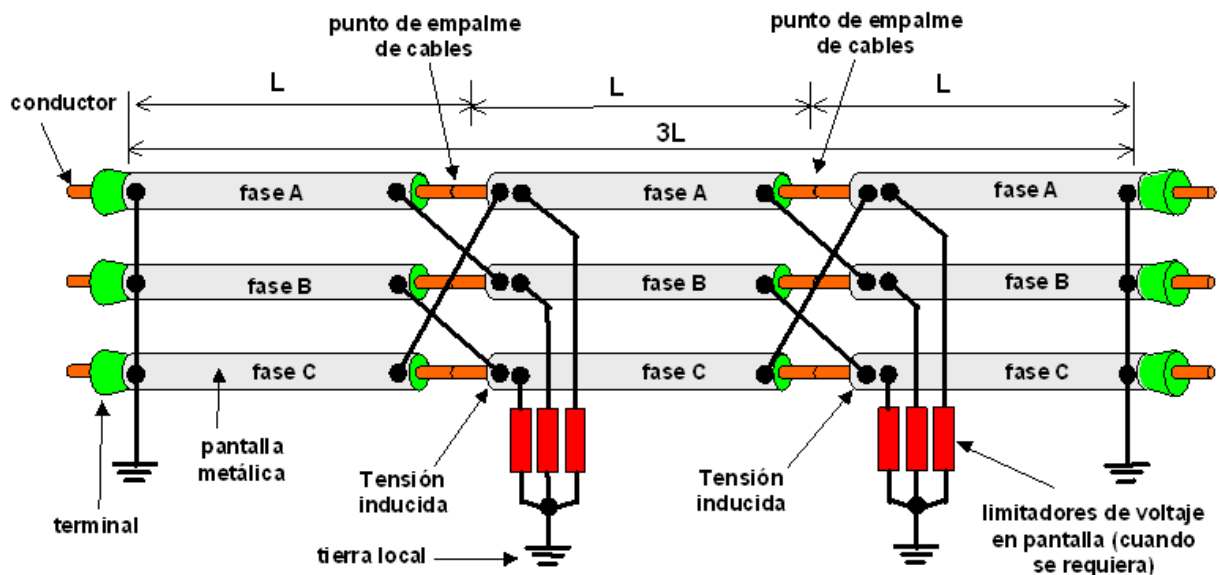


Figura 68. Conexión *Cross-Bonding*

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: Conдумex. 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.

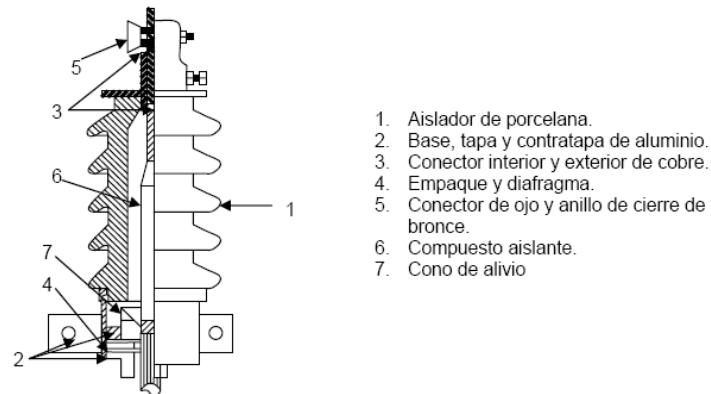


Figura 69. Detalle constructivo de la terminal tipo bayoneta instalada en cable con aislamiento extruído

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.

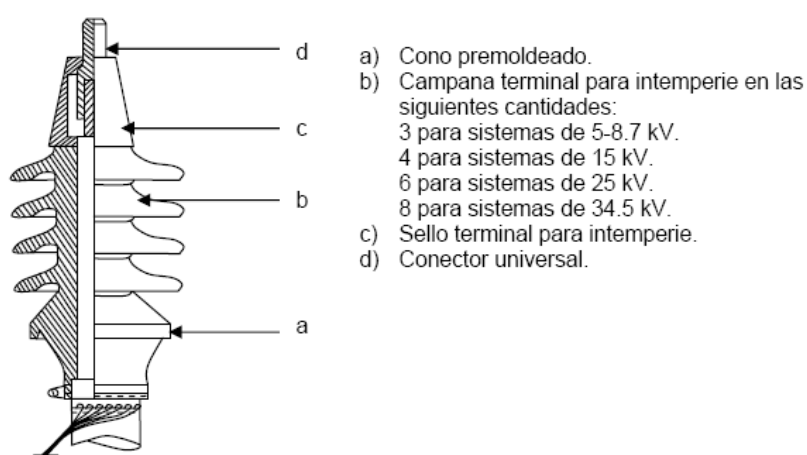


Figura 70. Arreglo descriptivo de la terminal modular para interperie

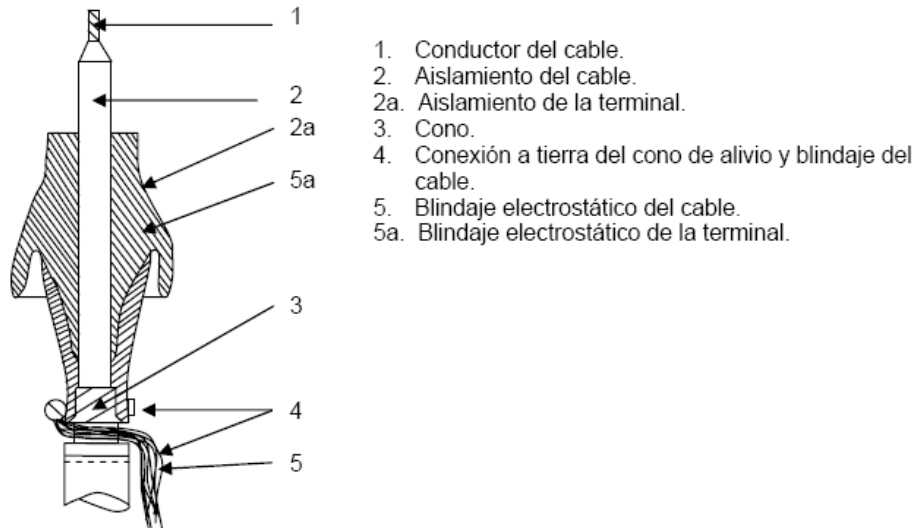
Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13

### 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.





1. Conductor del cable.
2. Aislamiento del cable.
- 2a. Aislamiento de la terminal.
3. Cono.
4. Conexión a tierra del cono de alivio y blindaje del cable.
5. Blindaje electrostático del cable.
- 5a. Blindaje electrostático de la terminal.

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

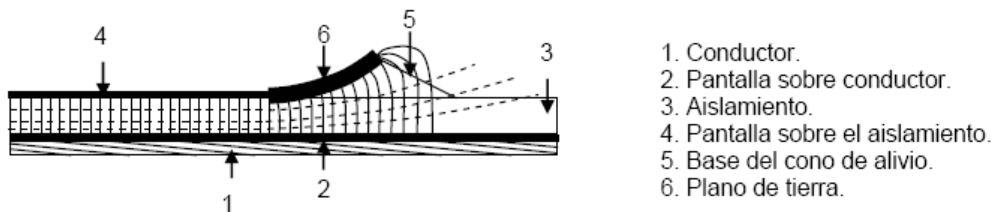
Fuente: Conдумex. Manual técnico de cables de energía, capítulo 13

### 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.



1. Conductor.
2. Pantalla sobre conductor.
3. Aislamiento.
4. Pantalla sobre el aislamiento.
5. Base del cono de alivio.
6. Plano de tierra.

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.

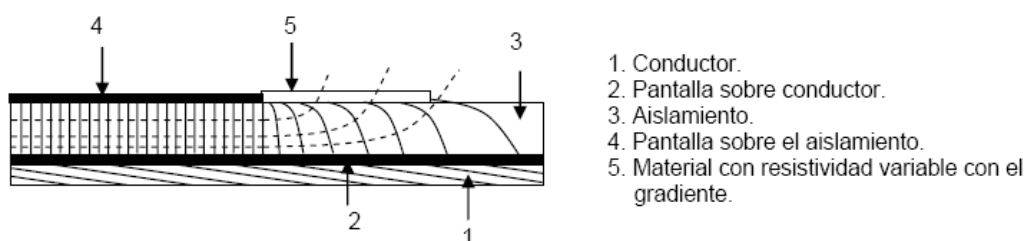


Figura 73. Control de esfuerzos eléctricos por los métodos de resistividad variable y capacitivo

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 <sup>2</sup>	(2 AWG)	2717	3583	
50mm <sup>2</sup>	(1/0 AWG)	2520	3268	3898
	(4/0 AWG)	2283	2992	3425
240mm <sup>2</sup>	(500 MCM)	2087	2638	2874
500mm <sup>2</sup>	(1000 MCM)	1969	2441	2795
		(2)		
		15 [kV] (t=4.45mm)	25 [kV] (t=6.60mm)	35 [kV] (t=8.76mm)
35mm <sup>2</sup>	(2 AWG)	1142	1220	
50mm <sup>2</sup>	(1/0 AWG)	1181	1299	1299
	(4/0 AWG)	1299	1417	1471
240mm <sup>2</sup>	(500 MCM)	1417	1535	1437
500mm <sup>2</sup>	(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.

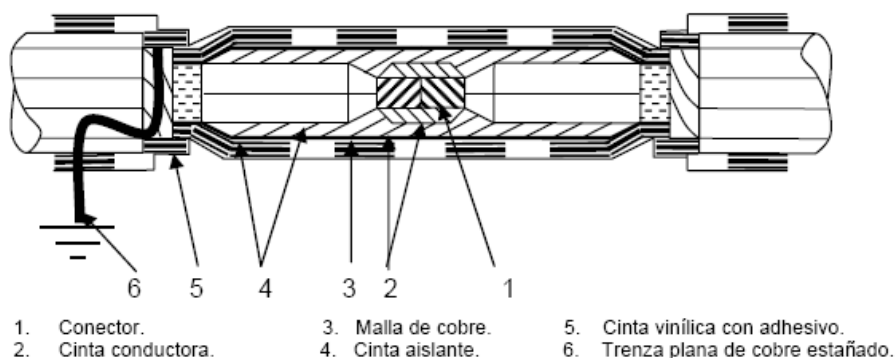


Figura 74. Detalles constructivos de empalmes encintados en cable monofásico con aislamiento extruido

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.

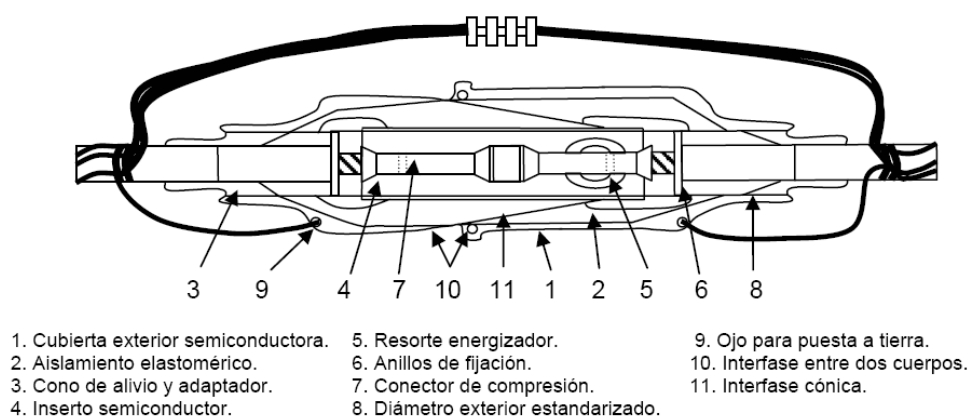


Figura 75. Empalme premoldeado

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.

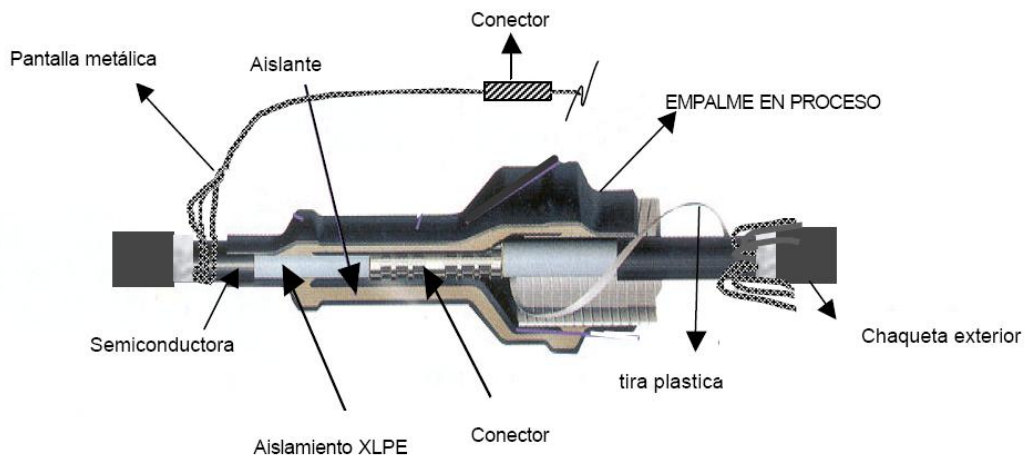


Figura 76. Empalme contráctil en frío

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.

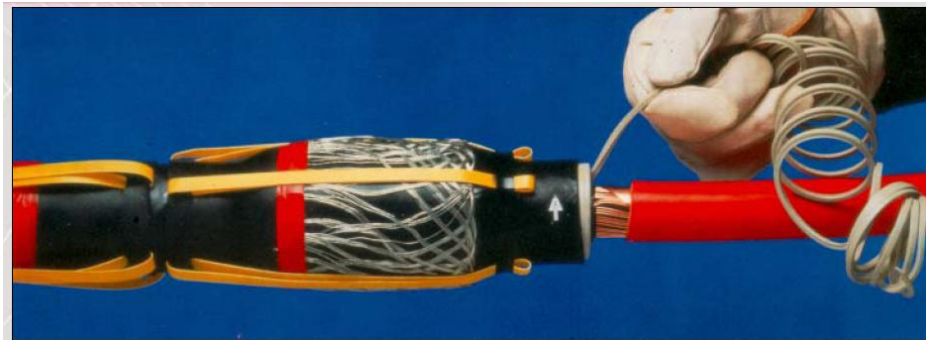


Foto 34. Instalación del empalme contráctil en frío

## 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.

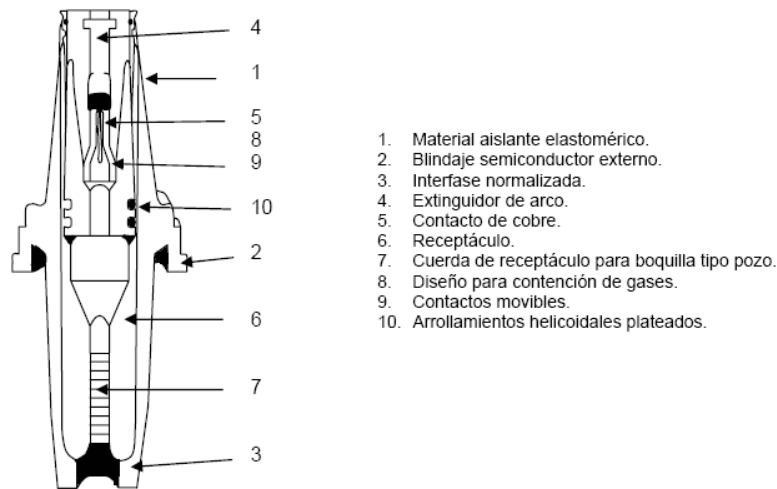


Figura 77. Corte de inserto para operación con carga

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.

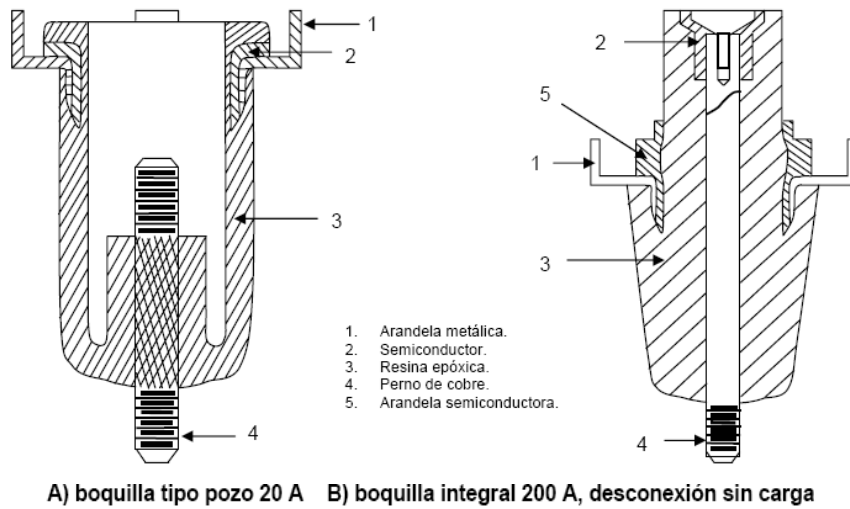


Figura 78. Ejemplos de boquillas para equipo

Fuente: *Conдумex. 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.

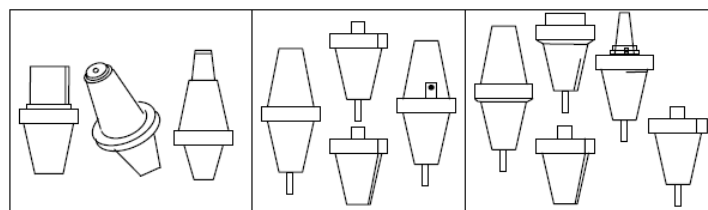


Fig. 15.3 Diferentes construcciones de insertos. En la parte superior se ilustran algunos para 600 A y, en la inferior, para 200 A

600 A y, en la inferior, para 200 A

Figura 79. Diferentes construcciones de insertos

Fuente: *Conдумex. 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.

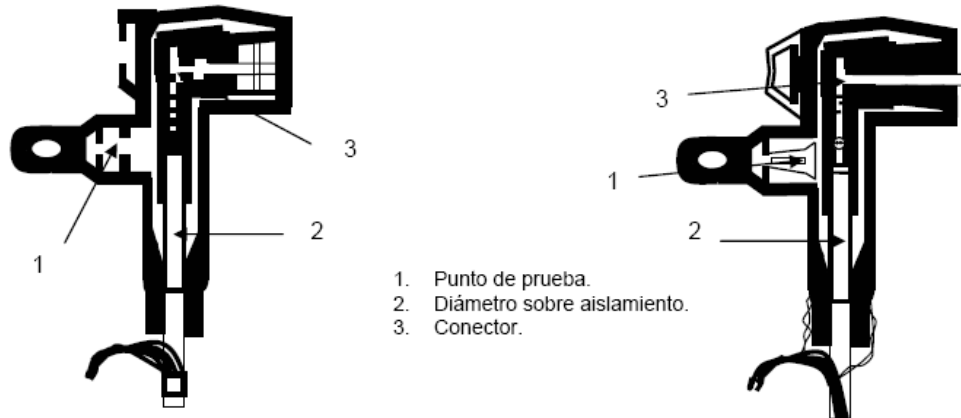


Fig. 15.4 CAS tipo codo, 200 A; a la izquierda, uno para operación sin voltaje, y a la derecha, para operación con carga

#### 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.

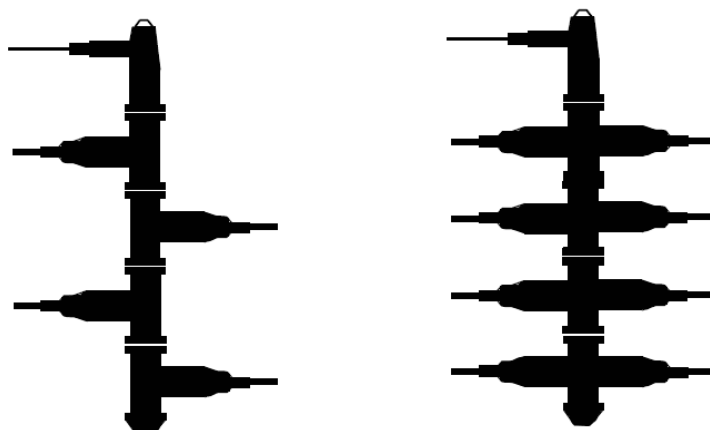


Figura 81. Conectores de uniones múltiples

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.

## CAPÍTULO VII. PRUEBAS A LOS CABLES DE ENERGÍA

Todo sistema de cables debe ser sometido a pruebas eléctricas que permitan conocer el estado general de éstos, lo cual garantiza un apropiado funcionamiento y sobre todo permite brindar mantenimiento adecuadamente, no es posible instalar un sistema sin hacer ningún tipo de pruebas, pues entonces no se tiene ninguna seguridad de que brinde el servicio apropiadamente. Existen dos tipos de pruebas, las de recepción que sirven para conocer las condiciones del cable y las de mantenimiento que se realizan cuando el sistema ya ha sido puesto en marcha. Algunas de las pruebas son destructivas y otras no destructivas, lo cual se especificará en los siguientes puntos.

### 7.1 Pruebas de recepción

Son las pruebas que se hacen después de que un cable ha sido instalado, pero antes de ponerlo en servicio normal, con el fin de detectar daños en el embarque o instalación, o errores en la mano de obra de los empalmes y terminales.

#### 7.1.1 Normatividad

Para la instalación de cable subterráneo se debe considerar el uso de las siguientes normas y reglamentos:

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE, Instalaciones Eléctricas (Utilización)
- Normas de Distribución Construcción de Líneas Subterráneas
- Normas de Distribución Construcción de Líneas Aéreas
- Manual de Ingeniería de Distribución de Líneas Subterráneas
- Tarifas Generales y Disposiciones Complementarias para la Venta de Energía Eléctrica.
- Manual de servicios al Público en Materia de Energía Eléctrica
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en
- Materia de Impacto Ambiental
- Sistema General de Unidades de Medida (Norma NOM-008-SCFI).
- Procedimiento para la construcción de obras por terceros “PROTER”
- Lineamientos técnicos para la instalación de redes públicas de telecomunicaciones en postería, registros y ductos de la red de distribución de energía eléctrica, RCP4405
- Pruebas a equipo primario de Distribución.
- Pruebas de recepción - Normas CFE-E000016; NOM-J-142; IEEE (serie 400); AEIC CS5 y AEIC CS6.

No basta con mencionar las normas vigentes que existen, sino también aquellas que se rigen bajo parámetros diferentes, en éste caso existen dos instituciones que se encargan de evaluar las normas internacionales y que están integradas por expertos en la materia. De acuerdo a su experiencia, se toman como referencia diferentes filosofías que se adoptan para la creación o modificación de las normas, dichas instituciones son IEEE e IEC.

La IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) es una asociación que se encarga de la estandarización, entre otras cosas. Está formada por especialistas en ingeniería eléctrica, electrónica, computación, informática y telecomunicaciones. Además de que produce más del 30% de la literatura sobre los temas de ingeniería antes mencionados.

La comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es una organización del nivel mundial que se encarga de preparar y publicar normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines.

### **7.1.2 Inspección visual**

La inspección visual consiste simplemente en revisar el cable recorriendo su trayectoria minuciosamente buscando la presencia de algún posible daño que haya sufrido durante la instalación, lo cual sería indeseable, o algún otro elemento externo que pueda dañarlo a largo plazo como piedras, vidrios, etcétera. Asimismo se revisa visualmente que los accesorios hayan sido adecuadamente instalados y se encuentren en óptimas condiciones para ser puestos en servicio. La principal revisión que debe de hacerse en una inspección visual tiene que ver con los siguientes puntos:

- a) Identificación de la ruta del cable
- b) Placas de identificación de los cables
- c) Identificación de las terminales del circuito
- d) Identificación de los registros de paso
- e) Identificación de los registros de empalme
- f) Verificación de las conexiones de tierra
- g) Verificación de los soportes en los registros

Si se ha revisado que las condiciones de cada uno de los puntos anteriores son aceptables, entonces se procede con las siguientes pruebas.

- La inspección visual consiste en revisar si un conductor eléctrico presenta alguna desviación en su construcción o bien, causada por algún otro agente, y si ocurriera, tratar de determinar la causa.

- La inspección dimensional de un cable consiste en la verificación del tamaño y forma de los elementos que componen un conductor eléctrico, cada elemento debe tener las dimensiones adecuadas en su construcción, los cuales deberán estar dentro de las especificadas por las normas correspondientes.
  - Inspección física de la red bajo prueba, desde los equipos eléctricos, como son los interruptores, hasta los centros de distribución, pasando por las canalizaciones, las cuales pueden ser aéreas, subterráneas, submarinas, en charolas, en conductos o combinaciones de éstas.
- d) Inspección de las conexiones a tierra, soportes del cable, empalmes y/o terminales.
- e) Preparación de los cables para realizar pruebas eléctricas, lo cual consiste en aislar o individualizar los cables o circuitos bajo prueba, para poder aplicar alguna o algunas pruebas previas a la puesta en servicio, con la finalidad de anticiparse a la aparición de una posible falla durante la operación de los cables.

De la misma manera, se realizan pruebas que tienen como objetivo el cuantificar los espesores, diámetros y dimensiones de los diferentes componentes de los cables para Media Tensión. Las pruebas verifican que los materiales metálicos (conductor, blindajes, etc.) y los plásticos (aislamientos, cubiertas, etc.) estén dentro de los valores permitidos por las especificaciones de la norma correspondiente.

### **7.1.3 Pruebas eléctricas**

La manera más eficaz de conocer las condiciones de un cable de energía es mediante las pruebas eléctricas, que permiten comprender el estado general del sistema que se ha instalado, en éste caso es para comprobar que el cable y sus accesorios se encuentran en condiciones para ponerse en servicio.

#### **7.1.3.1 Faseo**

La prueba de faseo se realiza cuando un circuito de cables ha sido instalado es importante identificar perfectamente las fases A, B y C del circuito a lo largo de toda su trayectoria y evitar el cruzamiento de fases en los puntos de conexión a los demás equipos como lo son transformadores, interruptores, etcétera.

### 7.1.3.2 Continuidad

Otra de las pruebas principales que deben realizarse a un circuito de cables recién instalado que aún no ha sido puesto en servicio es la continuidad, por lo cual ésta prueba permite confirmar que tanto el conductor como la pantalla electrostática no están interrumpidos a lo largo del circuito bajo prueba, en el caso de que existiera alguna discontinuidad en cualquiera de estos elementos existe entonces una posibilidad potencial de falla.

Esta prueba permitirá asegurar que el conductor y la pantalla electrostática (para el caso de cables con pantalla), son continuos a lo largo de la línea bajo pruebas (faseo).

La razón para realizar la prueba en el conductor, es la de comprobar que el cable es capaz de conducir la energía eléctrica entre sus dos puntos de conexión. Y en la pantalla electrostática, es la de asegurar que la pantalla sea continua a lo largo del cable, y en caso que estuviese interrumpida, nos indicará que tenemos un punto donde existe la posibilidad de tener una gran concentración de energía. La determinación de continuidad se realiza con un megger de características adecuadas.

### 7.1.3.3 Resistencia de aislamiento

En cables de media tensión (5-35 [kV]), es recomendable realizar la prueba a 5 [kV] como mínimo. Sirve para determinar el estado que guarda el aislamiento en general. Es útil para evidenciar fallas graves de instalación y/o de obra de mano defectuosa. Para la medición de la resistencia de aislamiento se utiliza un megger que puede ser manual, eléctrico o con motor, conectando el borne positivo al conductor por medir y el borne negativo a la pantalla del cable, y al sistema de tierras.



Foto 35. Megger para medir la resistencia de aislamiento

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



Debido a que un cable actúa como un capacitor cilíndrico, antes de tomarse las lecturas se debe esperar determinado tiempo para que se cargue. En el caso de que el cable no cuente con pantalla metálica sobre el aislamiento, no se puede realizar una medición confiable a menos que el cable esté enterrado en suelo húmedo.

Esta prueba nos proporciona información acerca del estado operativo del aislamiento, es decir del grado de deterioro que pudiera tener el aislamiento, por efecto de la humedad o por otro agente que afecte al aislamiento del cable, inclusive por algún daño mecánico, con sus variantes en cuanto al tiempo aplicado, el cual puede ser a 1 minuto, a 5 minutos o inclusive hasta 10 minutos, cuando se desea determinar el índice de polarización.

La determinación de la resistencia del aislamiento del cable, como la de cualquier aislamiento eléctrico, se efectúa con un megger de voltaje y características adecuadas.

#### **7.1.3.4 Alta tensión**

Para los cables de potencia de tensiones grandes existen dos tipos de pruebas que determinan las condiciones en las que el sistema de cables se encuentra, ya sea en corriente continua o en corriente alterna, cada una de las cuales tiene sus ventajas y desventajas.

##### **7.1.3.4.1 Corriente directa**

Se hace para verificar la integridad del aislamiento del sistema de cables. Es una prueba destructiva del tipo “pasa-no pasa”, y muestra dónde están los puntos débiles del sistema. Se usa principalmente en cables nuevos con aislamiento seco (que nunca han sido energizados). Se puede usar también en todo tipo de cables con aislamiento laminado, de cualquier edad.

La prueba consiste en aplicar alta tensión a corriente directa y efectuar mediciones de las corrientes de fuga en el cable. Se traza una curva “Voltaje de prueba-Corriente de fuga” y se analizan los resultados contra una curva patrón de un cable con buen aislamiento.

Esta prueba está normalizada para cables de energía, que van desde 5 hasta 115 [KV]. Si bien es cierto que es considerada como prueba dieléctrica severa, también es cierto que los niveles de pruebas para aceptación y mantenimiento, están determinados por las normas aplicables, y generalmente son niveles inferiores a lo indicado para las pruebas en fábrica. Por otra parte, en el medio de los cables subterráneos, es una inmejorable herramienta para diagnosticar sobre su estado operativo (del conjunto cable-empalme-terminal), y/o sobre la calidad de la mano de obra de la instalación de accesorios.

Para casos muy particulares, los niveles de voltaje aplicado se determinan en base a la vida útil ya aprovechada del cable (edad del cable) y al comportamiento de la corriente de fuga al incrementarse el potencial paso por paso.

Así como una recomendación práctica se puede decir que los voltajes de prueba varían con el tiempo de la forma siguiente:

<b>Voltaje de prueba</b>	<b>Valor de Norma (en %)</b>
<b>De fábrica</b>	100
<b>De aceptación</b>	80
<b>De 0 a 1 año</b>	60
<b>De 1 a 5 años</b>	45
<b>De 5 años en adelante</b>	30

Tabla 38. Voltajes de prueba

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

Esta prueba nos proporciona información acerca del comportamiento del sistema aislante al ser sometido a un alto potencial, si el aislamiento tuviese una falla, ésta prueba logrará manifestarla. La prueba de Hi-pot en c.d., se realiza mediante un equipo de pruebas dieléctricas, el cual consta de una fuente de corriente directa de cierta capacidad y su módulo de control. Es recomendable efectuar ésta prueba en forma monopolar, pero también ocasionalmente por alguna razón en especial también puede efectuarse en forma tripolar.

#### **7.1.3.4.2 Corriente alterna a muy baja frecuencia**

También es una prueba destructiva del tipo “pasa-no pasa”. La ventaja de esta prueba contra la de C.D., es que no introduce cargas espaciales al seno del aislamiento (XLPE) del cable.

#### **7.1.3.5 Descargas parciales**

Una descarga parcial es una descarga eléctrica que se manifiesta en el seno del aislamiento entre el conductor y la pantalla, la razón de su presencia es debido a varios factores, como las cavidades que resultan de un proceso de extrusión defectuoso en fábrica (contaminación), así como resultado de un proceso de envejecimiento térmico o bien esfuerzos mecánicos mayores a los permitidos por la normatividad. Otros tipos de cavidades se deben a imperfecciones en las interfases y en los traslapes de las cintas.

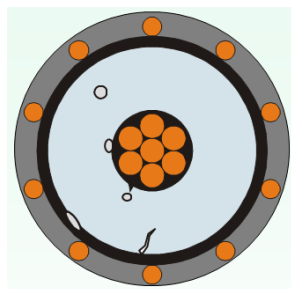


Figura 82. La presencia de descargas parciales produce la formación de arborescencias en el cable.

*Fuente: Coemsa. Evaluación "en línea" de la condición de sistemas de cables aislados*

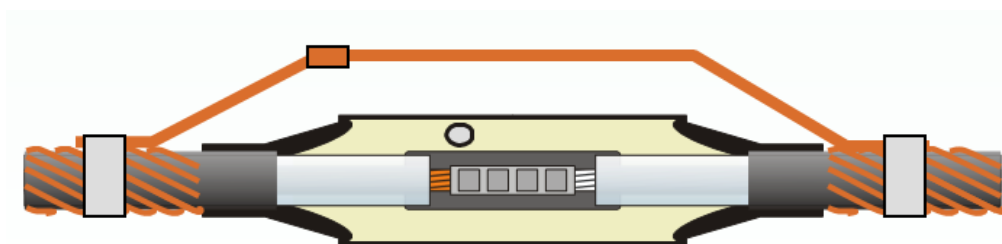


Figura 83. Cavidad en el aislamiento de un empalme

*Fuente: Coemsa. Evaluación "en línea" de la condición de sistemas de cables aislados*

Una aspecto muy importante que debe conocerse sobre las descargas parciales, es que para que se inicien éstas, el sistema debe estar sometido constantemente a sobre voltajes, lo cual produce que las cavidades en el seno del aislamiento crezcan y se conviertan en arborescencias.

Existen tres formas en las que se manifiestan las cargas parciales, y se mencionan a continuación:

- a) Las descargas parciales se pueden iniciar de manera momentánea durante un transitorio de voltaje, pero no se mantiene, por lo tanto no hay descargas parciales durante la operación normal.
- b) Las descargas parciales se pueden iniciar durante un transitorio de voltaje y puede sostenerse durante la operación normal.
- c) Las descargas parciales se presentan y se mantienen en condiciones de operación normal.



## **CAPÍTULO VIII. MANTENIMIENTO A LOS CABLES DE ENERGÍA**

El mantenimiento de cables se refiere a la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas (incluyendo la supervisión), destinadas a mantener, restaurar o reparar un equipo, de tal forma que pueda desempeñar apropiadamente la función para la cual fue diseñado. Existen varios criterios de mantenimiento que son definidos generalmente a partir de las necesidades e importancia del circuito.. Los principales objetivos de realizar mantenimiento a un sistema de cables es para:

- a) Evitar fallas
- b) Evitar daños al medio ambiente
- c) Extender la vida de los cables
- d) Evitar accidentes
- e) Evitar pérdidas de producción
- f) Minimizar el costo público
- g) Mejorar la imagen pública

Por otro lado, los tipos de fallas más comunes que se presentan en un cable son las siguientes:

- a) Daños mecánicos al cable o a la cubierta derivados de falta de cuidado en una excavación
- b) Daños a la pantalla metálica por corrosión o por vibración
- c) Ingreso de agua a los empalmes
- d) Esfuerzo mecánico excesivo causado por temblores, asentamientos del suelo, ciclos térmicos, entre otros.
- e) Envejecimiento térmico del aislamiento.

Se cuenta también con herramientas que están disponibles para tratar de evitar fallas en los cables, que tienen que ver con cuidar de las siguientes recomendaciones:

- a) Inspección a la ruta de los cables
- b) Medición de temperatura en puntos críticos
- c) Medición de descargas parciales
- d) Rayos X a los accesorios
- e) Medición de la resistividad térmica del terreno
- f) Mayor protección a cables y accesorios
- g) Pruebas eléctricas y térmicas de forma periódica
- h) Dar información a terceros sobre la ubicación de la ruta de los cables.



Foto 36. Lectura de temperatura de los empalmes

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

## 8.1 Tipos de mantenimiento

Como ya se ha mencionado, la supervisión de la condición de los cables y su mantenimiento forman parte vital de un sistema instalado, y existen diferentes criterios para llevarlo a cabo, que van desde prevenir un daño hasta la reparación del mismo. Son diferentes filosofías y por lo tanto diferentes acciones, lo cual depende en gran parte de los recursos destinados a éste rubro, por lo cual se mencionan a continuación los elementos que se necesitan para definir el tipo de mantenimiento que se va a aplicar.

### 8.1.1 Preventivo

Es el que se hace periódicamente de acuerdo a ciertos criterios predeterminados por el usuario, con el fin de reducir la posibilidad de falla o la degradación de un cierto equipo que se encuentra en operación. De ésta manera se reducen las posibilidades de que el sistema de cables tenga que ser dado de baja de manera inesperada, repentina y hasta inoportuna, produciéndose así un paro de actividades que no había sido programado.

Cabe señalar, que el mantenimiento preventivo no es infalible y no da una garantía total de que los cables no fallarán, pero como se mencionó al principio, si reducen sus posibilidades de falla. Debe ser un mantenimiento bien programado en fechas y horas, de manera que no se comprometan el trabajo y producción, sino que sea en días no hábiles, teniendo toda la libertad para atender los problemas que se consideran necesarios, lo cual le da un verdadero significado a la palabra prevención, ya sea reemplazando los elementos del sistema eléctrico subterráneo más antiguos o más importantes.

### **8.1.2 Correctivo**

Es el mantenimiento que se lleva a cabo para reparar o reemplazar un componente del sistema de cables que ha fallado. Para algunos ingenieros de cables, éste es el tipo de mantenimiento menos recomendable, aunque si se opta por ésta opción es quizá porque las condiciones de la institución o empresa permiten u obligan a que solamente se atiendan a los cables cuando hay una falla clara, provocando que el servicio de energía eléctrica sea interrumpido, lo cual es algo indeseable, pero que seguramente sucede en muchas instituciones.

El mayor problema del mantenimiento correctivo es que no se tengan los elementos que se necesitan para reemplazar ya sea las terminales, o empalmes o incluso los cables. Es muy arriesgado esperar hasta que el sistema falle para atenderlo y resolver sus problemas, ya que no es asunto de días el conseguir lo que se necesita, sino de semanas o incluso meses, lo cual para una empresa privada significaría una considerable pérdida.

### **8.1.3 Predictivo**

El mantenimiento predictivo es una estrategia que se basa en medir ciertos parámetros de los cables para pronosticar que tan cerca está de fallar y tomar las acciones apropiadas para evitar las consecuencias de dicha falla. En la relación costo-beneficio para éste tipo de mantenimiento se tiene que:

- a) Costos
  - i. Diagnóstico
  - ii. Personal técnico especializado
  - iii. Reemplazo anticipado de algunos componentes
  - iv. Trabajo de ingeniería
- b) Beneficios
  - i. Menores costos por interrupciones del servicio eléctrico
  - ii. Costos consecuenciales nulos
  - iii. Sin consecuencias políticas

### **8.1.4 Mantenimiento basado en la condición del sistema de cables y accesorios**

El mantenimiento basado en la condición de los cables, brinda la oportunidad para detectar posibles puntos de falla y por lo tanto reducir los altos costos que se derivan de la pérdida de producción. Es el que se lleva a cabo después de haber hecho ciertas pruebas al sistema de cables (diagnóstico) para conocer en que estado se encuentra. En éste tipo de mantenimiento se sigue un método de medición de descargas parciales, en donde se usan sobre voltajes

para probar los sistemas de cables, y lo más importante de todo, es que es una prueba llamada “on-line”, es decir, mientras el sistema de cables está en servicio se pueden realizar las mediciones para su posterior análisis.

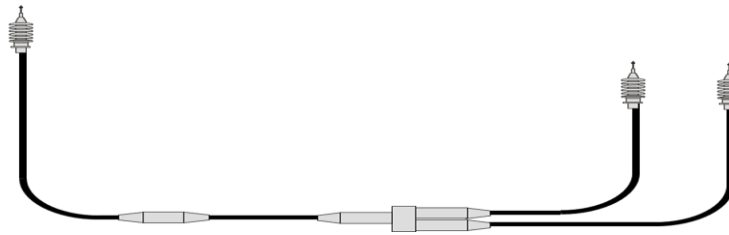


Figura 84. Circuito con derivación

Fuente: Coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados

La evaluación de la condición de los cables denominada Cablewise es una técnica de medición pasiva, pues es una prueba que se realiza en línea, mientras el cable está energizado, además de que evita el uso de sobre voltajes, por lo cual se hacen las mediciones en condiciones normales de operación. Éste sistema ofrece tener los resultados de las condiciones del cable, empalmes y terminales, así como revela también la condición de los equipos conectados a los cables, como transformadores e interruptores. Además, identifica el tipo de defecto en cada uno de los componentes del sistema de cables, localiza fuentes de descargas parciales en el sistema de cables y su grado de degradación.

Ésta prueba se puede realizar a todos los tipos de aislamiento de cables, todos los calibres ya sea de cobre o aluminio, en un rango que van desde 5[kV] hasta 345[kV], en cualquier tipo de instalación y cualquier configuración del circuito, es por ello su importancia y confiabilidad.

Las medición de las descargas parciales se realizan mediante sensores con alto rango de sensibilidad a la frecuencia (100 kHz a 300 Mhz), los cuales realizan la recopilación de los datos.

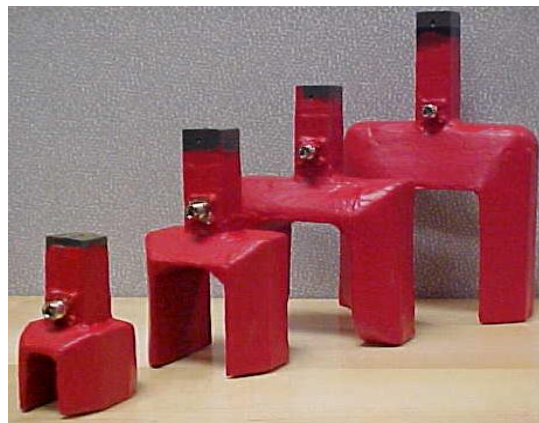
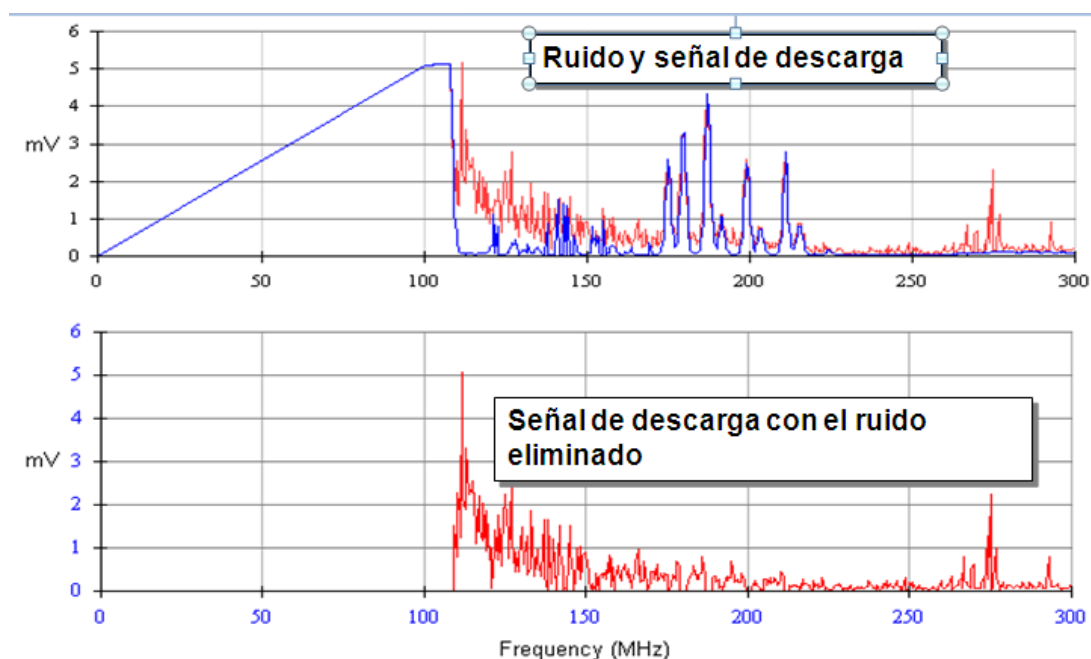


Foto 37. Sensores de alta frecuencia de descargas parciales

Fuente: coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados



Después de la toma de datos, se hace un procesamiento de las señales, en éste caso, se filtran las señales externas a las descargas parciales.



Gráfica 8. El ruido se elimina a través del procesamiento de la señal obtenida por el sensor.

*Fuente: coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados*

El análisis preciso de las señales obtenidas depende directamente del espectro de frecuencia, la magnitud de la descarga y los patrones de descargas en condiciones de operación normal. Todas estas mediciones se almacenan en una base de datos, en donde se tienen los patrones de miles de pruebas, en donde se ha identificado claramente en el análisis del espectro de la frecuencia, los casos en los que se tiene un daño en el sistema de cables.

La forma de medición de las descargas parciales es muy simple, pues para el caso de los cables directamente enterrados, el sensor se coloca sobre el cable justo debajo de las terminales, para el caso de los cables en ductos, las mediciones se realizan con el sensor colocado debajo de las terminales y en los registros, teniendo un tiempo estimado de medición en cada uno de los puntos aproximadamente 15 minutos.

Las descargas parciales en los transformadores generan pulsos de frecuencia alta que se propagan a través de los cables que alimentan dicho transformador, y ésta es la manera en la que se realiza el análisis de los datos recopilados.

Una vez analizados y procesados los datos, con respecto a todos los demás ya probados en las bases de datos, se obtiene el grado de degradación del sistema completo de cables, en donde se establecen 5 niveles de la condición de los cables, que sugieren la toma de decisiones para el mantenimiento ya sea a corto, mediano o largo plazo.

NIVEL DE LA CONDICIÓN	ACCIÓN RECOMENDADA	COLOR
1	No tomar acción alguna	Verde
2	Hacer mediciones cada año	Azul
3	Bajar probabilidad de falla en dos años. Hacer medición cada año	Amarillo
4	Mediana probabilidad de falla en dos años. Considerar el reemplazo o reparación del componente a la brevedad.	Marrón
5	Alta probabilidad de falla. Considerar el reemplazo. A la mayor brevedad.	Rojo

Tabla 39. Niveles de la condición del sistema de cables

Fuente: coemsa. Evaluación "en línea" de la condición de sistemas de cables aislados

De ésta manera, se entrega un reporte del diagrama de la trayectoria de los cables, con todos los puntos posibles de medición, y en donde se establece para cada elemento medido la acción que se recomienda, siendo el nivel 5 el de mayor exposición a una falla inminente. Éste método evita la sustitución de elementos del sistema de cables de manera innecesaria, reemplazando únicamente los elementos que se requieren debido a que su nivel de degradación es el más alto.

Por lo tanto, éste método de evaluación permite incrementar la confiabilidad del sistema eléctrico, evitar interrupciones que no han sido planificadas y problemas en la calidad del servicio, reducir costos de mantenimiento y evaluar la condición del sistema completo, sin tomar en cuenta el tipo de aislamiento o la configuración del circuito.

## 8.2 Localización de fallas

Las fallas en los cables de energía aislados pueden presentarse en el momento de efectuar las pruebas de aceptación o durante su operación, requiriendo de una acción inmediata para restaurar el servicio cuando hayan estado en operación.

La localización de fallas en cables aislados debe ser tan exacta como sea posible para permitir, con el mínimo de trabajo, la exposición de la falla. En los casos donde la longitud y trayectoria del cable sean bien conocidas, sólo es necesario determinar la distancia del extremo de medición a la falla. Sin embargo, en muchos casos sólo se conoce la ubicación de las terminales del cable y no la trayectoria entre ambos extremos, por no existir planos o tener modificaciones sin registro.

Puesto que hay muchos tipos de cables, métodos de instalación y condiciones del medio, es difícil que, con un solo tipo de equipo, pueda hacerse toda clase

de localización de fallas. Todavía la localización de fallas debe considerarse como un arte, porque nunca dos fallas son similares; cada una representa un reto al ingenio de la persona que trata de localizar la falla con precisión.

Las localización de fallas o valoración de su estado operativo, consisten en la realización del siguiente grupo de pruebas:

a) Inspección visual y mecánica

- La inspección visual consiste en revisar si un conductor eléctrico presenta alguna desviación en su construcción o bien, causada por algún otro agente, y si ocurriera, tratar de determinar la causa.
- La inspección dimensional de un cable consiste en la verificación del tamaño y forma de los elementos que componen un conductor eléctrico, cada elemento debe tener las dimensiones adecuadas en su construcción, los cuales deberán estar dentro de las especificadas por las normas correspondientes.
- Inspección física de la red bajo prueba, desde los equipos eléctricos, como son los interruptores, hasta los centros de distribución, pasando por las canalizaciones, las cuales pueden ser aéreas, subterráneas, submarinas, en charolas, en conductos o combinaciones de éstas.
- Inspección de las conexiones a tierra, soportes del cable, empalmes y/o terminales.
- Preparación de los cables para realizar pruebas eléctricas, lo cual consiste en aislar o individualizar los cables o circuitos bajo prueba, para poder aplicar alguna (s) prueba (s) previa (s) a la puesta en servicio, con la finalidad de anticiparse a la aparición de una posible falla durante la operación de los cables.

b) Pruebas eléctricas

- Aceptación. Revisión” macro” de las imperfecciones antes de energizar o poner en servicio una red.
- Mantenimiento. Evaluación de una posible deterioración del sistema aislante del cable, como resultado del voltaje de operación y todo lo que de ella emane (sobre tensiones, descargas atmosféricas, corto circuito, transitorios, daños mecánicos, químicos, etc.).

- Continuidad. Esta prueba permitirá asegurar que el conductor y la pantalla electrostática (para el caso de cables con pantalla), son continuos a lo largo de la línea bajo pruebas (faseo). La razón para la prueba en el conductor, es la de comprobar que el cable es capaz de conducir la energía eléctrica entre sus dos puntos de conexión. Así mismo en la pantalla electrostática, es la de asegurar que la pantalla sea continua a lo largo del cable y en caso que estuviese interrumpida, nos indicará que tenemos un punto donde existe la posibilidad de tener una gran concentración de energía. La determinación de continuidad se realiza con un megóhmetro de características adecuadas.
- Resistencia de aislamiento (megger). Esta prueba nos proporciona información acerca del estado operativo del aislamiento, es decir del grado de deterioro que pudiera tener el aislamiento, por efecto de la humedad o por otro agente que afecte al aislamiento del cable, inclusive por algún daño mecánico, con sus variantes en cuanto al tiempo aplicado, el cual puede ser a 1 minuto, a 5 minutos o inclusive hasta 10 minutos, cuando se desea determinar el índice de polarización. La determinación de la resistencia del aislamiento del cable, como la de cualquier aislamiento eléctrico, se efectúa con un megóhmetro de voltaje y características adecuadas.
- Alto potencial en corriente directa (Hi-pot CD). Esta prueba está normalizada para cables de energía, que van desde 5 hasta 115 [KV]. Si bien es cierto que es considerada como prueba dieléctrica severa, también es cierto que los niveles de pruebas para aceptación y mantenimiento, están determinados por las normas aplicables, y generalmente son niveles inferiores a lo indicado para las pruebas en fábrica. Por otra parte, en el medio de los cables subterráneos, es una inmejorable herramienta para diagnosticar sobre su estado operativo (del conjunto cable-empalme-terminal), y/o sobre la calidad de la mano de obra de la instalación de accesorios. Para casos muy particulares, los niveles de voltaje aplicado se determinan en base a la vida útil ya aprovechada del cable (edad del cable) y al comportamiento de la corriente de fuga al incrementarse el potencial paso por paso.

Esta prueba nos proporciona información acerca del comportamiento del sistema aislante al ser sometido a un alto potencial, si el aislamiento tuviese una falla, ésta prueba logrará manifestarla. La prueba de Hi-pot en c.d., se realiza mediante un equipo de pruebas dieléctricas, el cual consta de una fuente de corriente directa de cierta capacidad y su módulo de control. Es recomendable efectuar ésta prueba en forma

monopolar, pero también ocasionalmente por alguna razón en especial también puede efectuarse en forma tripolar.

- Potencial por pasos. Consiste en aplicaciones de potencial en c. d. por pasos, hasta obtener la estabilización de la corriente de absorción y entonces tomar lecturas de la corriente de fuga ó conducción. Esta información se captura en un gráfico y entonces estaremos en posibilidad de evaluar el comportamiento del aislamiento.
- Potencial sostenido. Una vez alcanzado el valor de prueba en campo mediante los incrementos de potencial, se debe sostener durante 5 minutos si se aplica un criterio conservador (NMX-142-J-1999) o bien 15 minutos en cables nuevos y 5 minutos en cables que ya están o han estado en servicio (IEEE Std. 400-1991). tomando lecturas de la corriente de fuga en cada minuto transcurrido. Esta información también se captura en un gráfico y servirá para evaluar el comportamiento del aislamiento.

### **8.3 Recomendaciones generales para el mantenimiento**

Para tener un mejor control del mantenimiento ante posibles fallas de un sistema de cables, deben considerarse éstas recomendaciones para facilitar el proceso de mantenimiento:

- a) Seleccionar un tipo de mantenimiento de acuerdo a una estrategia clara y bien definida, con un balance adecuado entre mantenimiento correctivo y predictivo, aunque en la actualidad la balanza se inclina hacia el mantenimiento predictivo.
- b) Desarrollar y mantener una base de datos de las fallas en los cables, con la descripción precisa de sus causas.
- c) Asegurarse de que la información sobre las rutas de los cables está actualizada y disponible para intercambiarla con otras entidades.
- d) Realizar inspecciones visuales periódicas a lo largo de las rutas de los cables para supervisar actividades de terceros.
- e) Inspección periódica a los empalmes de los cables
- f) Mayor coordinación con industrias similares para intercambiar experiencias sobre el mantenimiento de los cables

### **8.4 Criterios de selección para mantenimiento**

Existen razones muy simples por las cuales, en una institución del nivel que sea en la cual se cuenta con el servicio de cables de potencia subterráneos no se les toma en cuenta para brindarles mantenimiento:

- a) Los cables no se ven.
- b) Los cables no tienen puntos móviles.
- c) Los cables tienen un riesgo de explosión relativamente bajo.

Uno de los principales problemas en la industria que utiliza como medio de suministro de energía eléctrica cables de energía aislados, tiene que ver con el hecho de que el presupuesto de mantenimiento no es asignado basándose en un criterio de confiabilidad de cada componente del sistema, en relación a la confiabilidad total del sistema de distribución. En dado caso, el sistema de cables debe de tener una mayor prioridad ya que sus componentes están sujetos a más fallas que otros equipos.

También es importante mencionar las razones que producen fallas en los cables de energía, que son tres factores:

- a) Ambientales: Terremotos, Incendios, tormentas eléctricas, sustancias químicas en el subsuelo
- b) Humanos: Mala operación de interruptores, obra de mano defectuosa en la instalación y montaje de cables, daño mecánico por excavaciones.
- c) Animales: Roedores de todo tipo, aves, víboras, termitas, ratones

Ya se presentaron las razones por las cuales se producen fallas en un sistema de cables, pero también existe otro tipo de factores que influyen para que el sistema de cables sufra un envejecimiento temprano y por lo tanto una falla no esperada:

- a) Arborescencias
- b) Sobrecargas
- c) Repetidas pruebas de alta tensión a corriente directa

Los puntos anteriores, permiten ampliar el panorama general de explicar la razón por la que necesita mantenimiento un sistema de cables que ya ha sido instalado, mediante una supervisión continua. Existen 4 tipos de mantenimiento que bien valen la pena mencionar, cada uno con características y costo económico distinto, en este caso ya depende del dueño de los cables el tipo de mantenimiento que considera utilizar. Aunque debido a la experiencia y análisis del costo-beneficio de utilizar alguno de éstos criterios de mantenimiento, es menor el costo si se utiliza el mantenimiento predictivo y tiene un mayor costo si se usa el criterio del mantenimiento correctivo.

## CONCLUSIONES

La adecuada instalación de un sistema de cables de energía representa una gran parte del gasto en mantenimiento en los años posteriores, ya que dependiendo de los cuidados y consideraciones tomadas para dicha instalación será la calidad del servicio que ofrezca.

Este documento resume su aportación eléctrica en brindar al lector una mejor comprensión del uso, instalación y mantenimiento de cable subterráneo en media tensión, destacando la importancia que tiene el correcto uso y aplicación de la instalación eléctrica subterránea en el sector eléctrico.

El diseño de los cables es cada vez más sofisticada y completa de manera que las fallas provocadas por una construcción defectuosa deberán de ser menores cada vez, ya que la competencia entre las empresas que los diseñan depende totalmente de la calidad de sus productos que no solamente incluyen cables de energía sino sus accesorios. Por lo cual, debe de considerarse que el grado de especialización de los responsables de la instalación debe ser óptima de forma que puedan garantizar que el sistema no ha de fallar a causa de problemas técnicos, y mientras más herramientas tengan para realizar un buen trabajo, tal como lo pretende ser este trabajo de tesis, será más eficaz esta labor.

El cable subterráneo tiene una aportación importante en materia de seguridad eléctrica permitiendo que las instalaciones sean más seguras y manteniendo alejada a las personas de áreas de riesgo. Es importante mencionar que la continuidad del sistema es mucho más estable, ya que se requiere un menor mantenimiento y monitoreo de la red a comparación de la distribución aérea. Esto aumenta la plusvalía y longevidad de los proyectos e instalaciones eléctricas. Ecológicamente su legado ha permitido reducir la contaminación visual mejorando el entorno y las áreas verdes en zonas urbanas.

Éste manual de cables puede ser utilizado como referencia para la instalación de cables de energía en media tensión, sin embargo no se recomienda para usarlo como ayuda para la instalación de cables de alta tensión, ya que los cuidados y consideraciones que se deben tener, llegan a ser bastante distintas.

Uno de los temas más importantes es el del mantenimiento, un área bastante descuidada en muchas industrias que usan como elemento de alimentación los cables de energía y que debe tomarse en cuenta seriamente, el cual debe ser programado de acuerdo a las posibilidades e importancia del circuito.

Para la instalación de un sistema de cables es indispensable hacer una proyección en costo-beneficio y a partir de ahí tomar las decisiones que tienen



que ver con el material que se va a utilizar como elemento aislante, el material del conductor, el tipo de empalmes, terminales y todos sus demás elementos, y que una decisión equivocada puede provocar grandes pérdidas económicas.

El responsable de la instalación debe ser cuidadoso en el trato de los cables, de estar todo el tiempo al pendiente de cómo se está desarrollando la instalación, supervisar las conexiones con los empalmes y sobre todo tener gente especializada en el área para la conexión de los empalmes, terminales y los elementos necesarios para su adecuado funcionamiento, pues una falla en la mano de obra puede tener grandes costos.

Uno de los principales cuidados que tienen que considerarse en la instalación en un sistema de cables es que la integridad física del personal que realiza la instalación debe supervisarse en todo momento, usar las herramientas adecuadas y respetar las normas. En palabras de algunos expertos, las normas no han sido diseñadas para que las instalaciones estén bien hechas, sino para evitar un mal funcionamiento, evitar accidentes durante o después de alguna instalación, y la optimización de la instalación corresponde a quien diseña e instala. Otro criterio sigue que si una instalación es segura y va de acuerdo a las normas, entonces es garantía de que está bien hecha. A fin de cuentas, el costo de tener una pérdida humana es invaluable e irreparable, por eso es un requerimiento primario nunca permitir que el personal que labora realice una acción peligrosa en aras de ahorrar tiempo o incluso dinero.

Este tipo de distribución incorpora avances tecnológicos que permiten la modernización de las técnicas de construcción, así como el empleo de materiales, equipos y accesorios más eficientes y duraderos que mejoran la confiabilidad y facilitan la operación y mantenimiento de la red.

Los beneficios del cable subterráneo que se plasman en este documento generan gran valor en la distribución en media tensión a mediano y largo plazo en nuestro país. Es necesario observar la tendencia mundial de distribución donde, se utilizan con mayor frecuencia instalaciones subterráneas altamente confiables en: procesos automotrices, petroquímicos, alimenticios, textiles y de servicios diversos, mejorando el entorno, ofreciendo seguridad a las personas e instalaciones y suministrando energía confiable y de calidad.

Por lo demás, es importante señalar que según lo previsto en el área de cables en los últimos años y su vertiginoso desarrollo tanto en la tecnología utilizada en la construcción como en la instalación, y a pesar de su elevado costo inicial, la instalación de cables de energía será mucho más solicitada a razón de las ventajas que se obtienen al optar por el uso de cables de potencia subterráneos.



## GLOSARIO

**Aislamiento:** Un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente NO permite sus desplazamientos y, por lo tanto, tampoco el paso de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de tensión entre dos puntos del mismo. Puede ser de XLPE (polietileno vulcanizado) o EPR (etileno propileno). Su función principal es la de soportar el voltaje aplicado entre conductor y pantalla metálica.

**Amperio:** Unidad de medida de la corriente eléctrica, que debe su nombre al físico francés André Marie Ampere, y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor. (1Amperio = 1 coulomb/segundo).

**Arco Eléctrico:** Es una especie de descarga eléctrica de alta intensidad, la cual se forma entre dos electrodos en presencia de un gas a baja presión o al aire libre.

**Cable coaxial:** Cable formado por un alambre aislado rodeado de una malla trenzada y con una cubierta exterior de protección. Con multitud de usos, la transmisión de Tv y datos entre otros.

**Corriente Eléctrica:** Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio. y se representan por la letra I.

**Conductor:** Elementos metálicos, generalmente cobre o aluminio, permeables al paso de la corriente eléctrica y que, por lo tanto, cumplen la función de transportar la energía de un extremo al otro del cable. Material que opone mínima resistencia ante una corriente eléctrica.

**Conductor de cobre o aluminio:** La cuerda puede ser normal (clase B), comprimida o compacta. En cables de alta tensión, en calibres mayores a 800 mm<sup>2</sup> se utilizan cuerdas tipo Milliken de varios sectores para reducir el efecto de piel.

**Corriente:** Movimiento de electricidad por un conductor. Es el flujo de electrones a través de un conductor. Su intensidad se mide en Amperios (A).

**Cubierta externa:** Generalmente es de PVC o de polietileno. Protege al núcleo del cable contra daños mecánicos leves y un poco contra el ingreso de

agua u otros líquidos que pudieran llegar hasta el aislamiento del cable produciendo arborescencias y la falla prematura del cable.

**Energía:** Capacidad de los cuerpos o conjunto de éstos para efectuar un trabajo. Todo cuerpo material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos que no son otra cosa que manifestaciones de alguna transformación de la energía.

Capacidad de un cuerpo o sistema para realizar un trabajo. La energía eléctrica se mide en kilowatios-hora (kW/h).

**Energía solar:** Energía producida mediante el efecto del sol sobre una placa solar. Se usa principalmente en hogares para calentar agua y para calefacción, y como fuente de electricidad, en el caso de aprovechamiento fotovoltaico.

**Efecto de la temperatura:** La rigidez dieléctrica de algunos aislamientos se reduce a temperaturas elevadas. Esto requiere una reducción de la tensión de prueba a altas temperaturas.

**Generador:** Dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética.

**Hercio Hz:** Un hercio o hertz es la unidad de la frecuencia en las corrientes alternas y en la teoría de las ondas. Es igual a un ciclo por segundo.

**Inducción** La inducción electromagnética es la producción de una diferencia e potencia eléctrica (o voltaje) a lo largo de un conductor situado en un campo magnético cambiante. Es la causa fundamental del funcionamiento de los generadores, motores eléctricos, y la mayoría de las demás máquinas eléctricas.

**Kilowatio:** Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia eléctrica y representa 1.000 watios.

**Motor eléctrico:** Aparato que permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de unas espiras o bobinado.

**Ohmio:** Unidad de medida de la Resistencia Eléctrica. Equivale a la resistencia al paso de electricidad que produce un material por el cual circula un flujo de corriente de un amperio, cuando está sometido a una diferencia de potencial de un voltio.

**Pantalla semiconductor sobre el conductor:** Se aplica sobre el conductor para mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor.

Debe ser lo mas tersa y lisa posible para evitar la formación de burbujas en la interfase con el aislamiento.

**Pantalla semiconductor sobre el aislamiento:** 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 mas tersa y lisa posible para evitar la formación de burbujas en la interfase con el aislamiento.

**Pantalla metálica:** Puede ser de cobre, aluminio o plomo. Si es de cobre, puede ser a base de alambres delgados o cintas helicoidales aplicadas sobre el núcleo del cable, o bien puede ser una combinación de alambres y cintas de cobre. En el caso de pantallas de aluminio, generalmente es a base de una lámina recubierta con polímero en ambas caras aplicada longitudinalmente sobre el núcleo del cable y cementado sobre sí mismo con un polímero. Cuando la pantalla metálica es de plomo, éste se aplica con una prensa en forma tubular sobre el núcleo del cable.

La función principal de la pantalla metálica de un cable de energía (cuando está conectada sólidamente a tierra), es la de conducir a tierra las corrientes de fuga que se presentan durante la operación normal del cable, así como la de proporcionar una trayectoria a tierra para conducir parte de la corriente de corto circuito en el caso de una falla del aislamiento del cable.

**Potencia:** Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en Watios (W).

**Potencia reactiva:** Es la que los campos magnéticos de los motores, de los reactores ó balastos de iluminación etc. intercambian con la red sin significar un consumo de potencia activa en forma directa.

**Punto neutro:** Es el punto de un sistema polifásico que en las condiciones de funcionamiento previstas, presenta la misma diferencia de potencial, con relación a cada uno de los polos o fases del sistema.

**Pruebas de aceptación o recepción:** Esta prueba se hace a cables nuevos después de instalados pero antes de energizarse incluyendo accesorios (terminales y empalmes).

**Prueba en el periodo de garantía:** Esta prueba se hace durante el primer año de haber adquirido el cable, lo que no necesariamente implica que tenga un año de estar en operación; sin embargo, se entiende que el cable ya ha sido energizado y ha operado durante cierto tiempo.

Resistencia: Cualidad de un material de oponerse al paso de una corriente eléctrica. La resistencia depende de la longitud del conductor, su material, de su sección y de la temperatura del mismo.

Resistencia de tierra: Relación entre la tensión que alcanza con respecto a un punto a potencial cero, una instalación de Puesta a Tierra y la corriente que la recorre.

Tensión: Potencial eléctrico de un cuerpo. La diferencia de tensión entre dos puntos produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula. Se mide en Volt (V), y vulgarmente se la suele llamar voltaje.

Tensión nominal: Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento.

Transformador: Dispositivo utilizado para elevar o reducir el voltaje. Está formado por dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí, más sus conexiones de entrada y salida.

# BIBLIOGRAFÍA

## Libros:

- A. Thue, William. Electrical Power Cable Engineering. Edición num. 10, New York: Marcel Dekker.
- Condumex, Manual Técnico de cables de energía. Cuarta Edición. México D.F: Servicios Condumex
- IEEE Power Engineer Society, IEEE Guide for Power Cable Installation Methods in Ducts Systems. Edición 23, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Sierra Madrigal, Víctor. Manual Técnico de Cables de Energía. Editorial Mc Graw Hill
- Weedy B. M. Líneas de transmisión subterráneas. Editorial Limusa
- Viqueira Landa, Jacinto. Redes Eléctricas. Tomo I y II. Facultad de Ingeniería.
- Espinosa y Lara, Roberto. Sistemas de distribución, Editorial Limusa.
- Secretaría de Economía Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2005. Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas.
- Normas CFE\CFE - Normas de Distribucion - Construccion de Líneas Subterráneas.
- Antrproyecto. ANT-NMX-J-364-ANCE-2003. Instalaciones Eléctricas-Requisitos de Seguridad.
- NOM-001-SEDE-2005. Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas.

## Material Multimedia:

### Revistas :

- Catálogo SOUTHWIRE COMPANY ELECTRONIC BUSINESS
- Catálogo de productos Viakon
- Catálogo Alumoweld
- Condumex. Catálogo de cables vulcanel
- Condumex. Folleto cables de Potencia

## Presentaciones Corporativas:

- Manual de cables. Condumex
- Catálogo de Conductores Eléctricos. Condumex
- Catálogo General de Productos. Viakon
- Alambre y Cable. Electelco
- Alambre y cable Copperweld Recocido y de Bajo Carbono para aplicaciones en Sistemas de Tierra. Copperweld
- Hydraulic Fiber Puller and Mid-Assist. Timberland
- Universal Stringing Block. Timberland
- Mantenimiento de cables de energía de media y alta tensión. Ing. Armando Ríos Cosío.
- Pruebas de campo a cables de energía de media tensión. Ing. Armando Ríos Cosío.
- Catálogo General de Productos. Southwire
- Taller de seguridad eléctrica,.
- Consideraciones sobre el manejo de cables eléctricos subterráneos, Pirelli.
- Sistemas subterráneos compactos. Pirelli.
- Sistemas directamente enterrados. Pirelli
- Línea de seguridad frente al fuego. Pirelli.
- La sección económica del cable. Pirelli.
- Accesorios para cables de media tensión. Pirelli.
- Diseño de cables de media tensión. Pirelli.
- Gama general de productos. Pirelli.
- Mantenimiento de líneas de alta tensión. Pirelli.
- El empalme Elaspeed. Pirelli.
- Cables de media tensión. Ing. Armando Ríos Cosío, Ing. Antonio de La Torre. IUSA.
- Características de los cables de media y alta tensión. Condumex.
- Temas Selectos de cables de energía. Ing. Armando Ríos Cosío.
- Historia de los cables de energía aislados para alta tensión en México, Ing. Armando Ríos Cosío
- Conexión de las pantallas metálicas y su efecto sobre la ampacidad de los cables de energía aislados, Ing. Armando Ríos Cosío.
- Programa de cálculo de tensiones y corrientes inducidas en las pantallas metálicas de cables de energía. José Carlos Ruiz. Condumex.
- Instalación, montaje, conexiones y pruebas de cables de energía de alta tensión. Carlos del Alcazar
- Instalación de cables en ductos. Condumex.
- Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados para transmisión y distribución (5- 345 kV). COEMSA.
- Sistemas de Cables de Potencia para AT en México a partir de 1975. Evolución y Tendencias. VIAKON.
- Localización de fallas y pruebas en campo de cables de energía, Condumex.

- Disección de un empalme premoldeado instalado en un cable calibrer 380 mm<sup>2</sup> (750 kcm) de aluminio con aislamiento de XLP para 115 kV. Ing. Armando Ríos Cosío.
- Nueva alimentación submarina en 34.5 kV. Playa del Carmen-Cozumel. Comisión Federal de Electricidad.
- Tensiones Inducidas. Condumex
- Selección de cables de energía. Condumex
- Transformadores tipo pedestal. Accesorios y protección. Prolec.
- Técnicas para la preparación del cable en la instalación de accesorios para cables de energía con aislamiento extruido de media y alta tensión. Ing. Armando Ríos Cosío.
- Selección del calibre económico como una alternativa para el ahorro de energía. Ing. Jesús M. Ricárdez Barberá.

### **Direcciones de internet**

<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/>

<http://cables-de-energia.infored.com.mx/categoria0.html>

<http://www.haesa.com.mx/cabmed.html>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_cable](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_cable)

[http://www.alibaba.com/showroom/Power\\_Cable-showroom.html](http://www.alibaba.com/showroom/Power_Cable-showroom.html)

<http://www.made-in-china.com/Electrical-Electronics-Catalog/Power-Cable.html>

<http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=028&fdname=ELECTRIC+MACHINERY&pagename=Planta+de+produccion+de+cables+de+potencia>

[http://www.quiminet.com.mx/principal/resultados\\_busqueda.php?N=cables%20de%20potencia&d=A](http://www.quiminet.com.mx/principal/resultados_busqueda.php?N=cables%20de%20potencia&d=A)

<http://www.underterra.com/framesp/frgaleria.htm>

<http://www.equipo-de-pruebas.com/epsa/productos/cables%20de%20potencia.html>

<http://www.ett.com.mx/Index/perforaciondireccional.htm>

<http://perforacionesdireccionales.com/>