

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/296282681>

Capítulo 1: Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas

Research · February 2016

CITATIONS

0

READS

31,884

1 author:



[Francisco Gonzalez-Longatt](#)

Loughborough University

214 PUBLICATIONS 1,206 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Modeling and Simulation using Bond Graph Theory [View project](#)



Smart Multi-Terminal DC micro-grids for autonomous Zero-Net Energy Buildings [View project](#)

Elementos de Líneas de Transmisión Aéreas

1.1 Introducción

La línea de transmisión es el elemento del sistema de potencia que se encarga de transportar la energía eléctrica desde el sitio en donde se genera hasta el sitio donde se consume o se distribuye.

Las líneas de transmisión como su nombre lo indican son aquellas complejas estructuras que transportan grandes bloques de energía eléctrica dentro de los diferentes puntos de la red que constituye el sistema eléctrico de potencia, son físicamente los elementos más simples pero los más extensos. La clasificación de los sistemas de transmisión puede ser realizada desde muy variados puntos de vista, según el medio: en aéreas y subterráneas.

El sistema de transmisión puede ser clasificado según el nivel de tensión en el cual transmiten los grandes bloques de potencia, en Venezuela las líneas de transmisión aéreas esta discriminado en tres niveles de tensión a saber: 230 kV, 400 kV, 765 kV, aunque existen autores que suelen incluir el nivel de 115 kV como transmisión, pero este autor no lo considera, debido a la gran longitud y poca potencia de transporte, tomando 115 kV como de subtransmisión (al igual que 24 kV, 34,5 kV, 69 kV). El sistema de transmisión venezolano alcanza una longitud total de 7544 Km de líneas, repartidos en los niveles de tensión de la siguiente manera: 765 kV 2126 Km., 400 kV de 2608 Km. y 230 kV 2810 Km.

Pese al gran tamaño del territorio venezolano, las líneas de transmisión son considerablemente cortas, siendo los tramos más largos: Malena - San Gerónimo 226 Km. a 765 kV, Yaracuy - El Tablazo 320 Km. en 400 kV, y Yaracuy - Morochas II 259 Km a 230 kV.

1.2 Elementos de una Línea de Transmisión

Una línea de transmisión esta constituida básicamente por tres (3) elementos:

- Conductores
- Aisladores
- Soportes



Figura 1. Elementos de una Línea de Transmisión de Potencia Aérea

Es posible considerar otra serie de elementos adicionales para una línea de transmisión, pero solo realizan funciones complementarias y que escapa el curso básico de líneas de transmisión. Los conductores y aisladores poseen funciones específicas de la que se deriva una serie de características que se relacionan de modo que el análisis de uno de ellos está relacionado con otros.

1.3 Conductores

Consiste de un cuerpo o un medio adecuado, utilizado como portador de corriente eléctrica. El material que forma un conductor eléctrico es cualquier sustancia que puede conducir una corriente eléctrica cuando este conductor se ve sujeto a una diferencia de potencial entre sus extremos. Esta propiedad se llama conductividad, y las sustancias con mayor conductividad son los metales. Los materiales comúnmente utilizados para conducir corriente eléctrica son en orden de importancia: cobre, aluminio, aleaciones de cobre, hierro, acero.

La selección de un material conductor determinado es, esencialmente, un problema económico, el cual no solo considera las propiedades eléctricas del conductor, sino también otras como: propiedades mecánicas, facilidad de hacer conexiones, su mantenimiento, la cantidad de soportes necesarios, las limitaciones de espacio, resistencia a la corrosión del material y otros. Los metales más comúnmente utilizados como conductores eléctricos son:

Cobre: Material maleable, de color rojizo, la mayoría de los conductores eléctricos están hechos de cobre. Sus principales ventajas son:

- Es el metal que tiene conductividad eléctrica más alta después del platino.
- Tiene gran facilidad para ser estañado, plateado o cadminizado y puede ser soldado usando equipo especial de soldadura de cobre.
- Es muy dúctil por lo que fácilmente puede ser convertido en cable, tubo o rolado en forma de solera u otra forma.
- Tiene buena resistencia mecánica, aumenta cuando se usa en combinación con otros metales para formar aleaciones.
- No se oxida fácilmente, por lo que soporta la corrosión ordinaria.
- Tiene buena conductividad térmica.

Aluminio: Los conductores de aluminio son muy usados para exteriores en líneas de transmisión y distribución y para servicios pesados en subestaciones.

- Es muy ligero: tiene la mitad del peso que el cobre para la misma capacidad de corriente.
- Es altamente resistente a la corrosión atmosférica.
- Puede ser soldado con equipo especial.
- Se reduce al efecto superficial y el efecto corona debido a que para la misma capacidad de corriente, se usan diámetros mayores.

Las principales desventajas del aluminio son:

- Posee una menor conductividad eléctrica, con respecto al cobre.
- Se forma en su superficie una película de óxido que es altamente resistente al paso de la corriente por lo que causa problemas en juntas de contacto.
- Debido a sus características electronegativas, al ponerse en contacto directo con el cobre causa corrosión galvánica, por lo que siempre se deberán usar juntas bimetálicas o pastas anticorrosivas.

En los primeros tiempos de transmisión de potencia eléctrica, los conductores eran generalmente de cobre, pero los conductores de aluminio han reemplazado completamente a los de cobre debido a su menor costo y al peso ligero de un conductor de aluminio comparado con uno de cobre de igual resistencia. En los comienzos de la transmisión de energía eléctrica, se realizaba en corriente continua, en donde los conductores sólidos cilíndricos fueron muy utilizados, por una gran variedad de particularidades, con el devenir del tiempo, la transmisión en corriente alterna obligó a la utilización de conductores multifilares trenzados en forma helicoidal, con el fundamento de dotar de flexibilidad de a los conductores, además de una serie de características relevantes a la transmisión en corriente alterna.



+Figura 1. Sección Transversal de un Típico Conductor Trenzado Concéntrico Estándar

El aluminio puro tiene, frente a todas sus aleaciones, la máxima conductividad, pero en contraparte posee una baja carga mecánica de ruptura. Según ensayos realizados por algunos fabricantes de conductores, la carga de ruptura viene dada por

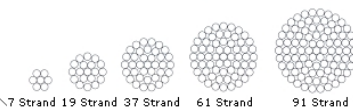
Tabla 1. Carga de Ruptura (Kg/mm^2) para Diferentes Materiales empleados en la Conducción de Electricidad

Cobre Duro	Aluminio Duro	Aluminio Aleado
37/45	16/20	30/40

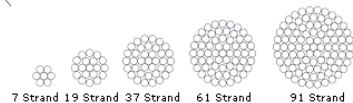
Debido a la poca carga de ruptura, en las líneas de transmisión aéreas, esto se transforman en un inconveniente, razón por la cual se recurre a los cables de aluminio aleado y a cables de aluminio reforzado con acero.

En la actualidad los conductores trenzados son combinaciones de aluminio y otros elementos más, para aportar características mecánicas al conductor. Entre los diferentes tipos de conductores de aluminio se tienen:

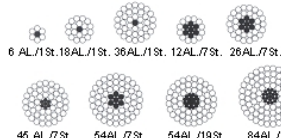
- ACC: Conductor de Aluminio (*All Aluminum Conductor, Classes AA, A, B, C*)



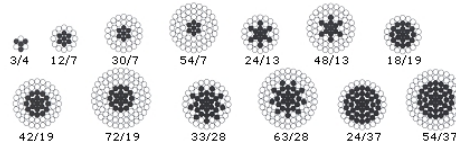
- AAAC: Conductor de Aluminio con Aleación (*All Aluminum Alloy Conductor*).



- ACSR: Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero (*Aluminum Conductor, Steel Reinforced*).



- ACAR: Conductor de Aluminio con Refuerzo de Aleación (*Aluminum Conductor Alloy Reinforced*).



El AAAC tiene mayor resistencia a la tensión que los conductores de aluminio de tipo ordinario. Los ACSR consisten de un núcleo central de alambre de acero rodeado por capas de alambre de aluminio. ACAR tiene un núcleo de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio tipo especial.

Los conductores en general suelen ser clasificados en, según el tipo de recubrimiento:

- *Aislado*: Conductor rodeado por aislamiento para evitar la fuga de corriente o que el conductor energizado entre en contacto con tierra ocasionando un cortocircuito.
- *Anular*: Consiste en varios hilos cableados en tres capas concéntricas invertidas alrededor de un núcleo de cáñamo saturado.
- *Apantallado*: Conductor aislado cubierto con un blindaje metálico, generalmente constituido por una funda de cobre trenzado.
- *Axial*: Conductor de alambre que emerge del extremo del eje de una resistencia, condensador u otro componente.

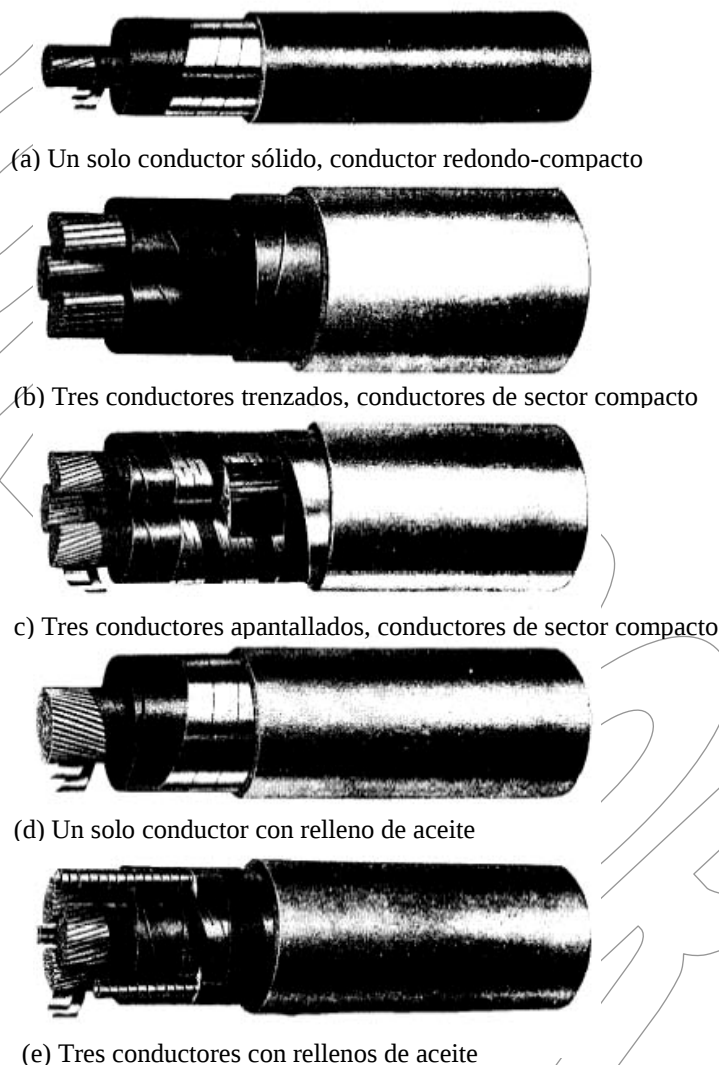


Figura 2. Algunos tipos de Cables

En Venezuela el material ampliamente utilizado en las líneas de transmisión aéreas como conductor es el aluminio, debido a su bajo costo y gran disponibilidad en el país. En sistemas de distribución es común utilizar el denominado *Arvidal* es decir, el ASTM 6201, y en líneas de transmisión de alta tensión se utiliza el aluminio con núcleo reforzado.

Los conductores son los encargados de transportar la corriente y su sección transversal depende de la energía que se transporte. Si la tensión de operación de la línea de transmisión es elevada se hacen presente

una serie de fenómenos que se deben considerar para la selección del tipo y calibre del conductor, o la posibilidad de utilizar varios conductores por fase. El conductor por su peso y a su longitud, se ve afectado por esfuerzos mecánicos, interviniendo estos factores en la selección el tipo de conductor a utilizar, destacándose que esto se puede solventar utilizando conductores equivalente con mayor carga de ruptura.

El factor preponderante para el esfuerzo mecánico de una línea de transmisión es la denominada "flecha", no afectando el área de la sección del conductor.

Cables: Se define cable como el conjunto formado de uno o varios conductores trenzados, debidamente aislados, provistos de uno o más recubrimientos protectores requeridos para que el conductor sea afectado por la corrosión, deterioro mecánico, etc. Existen una cantidad de conductores que son agrupados básicamente dos clases:

- *Monopolar:* Cuando posee un solo conductor o un solo cableado.
- *Multipolar:* Cuando posee dos o más conductores o cableados.

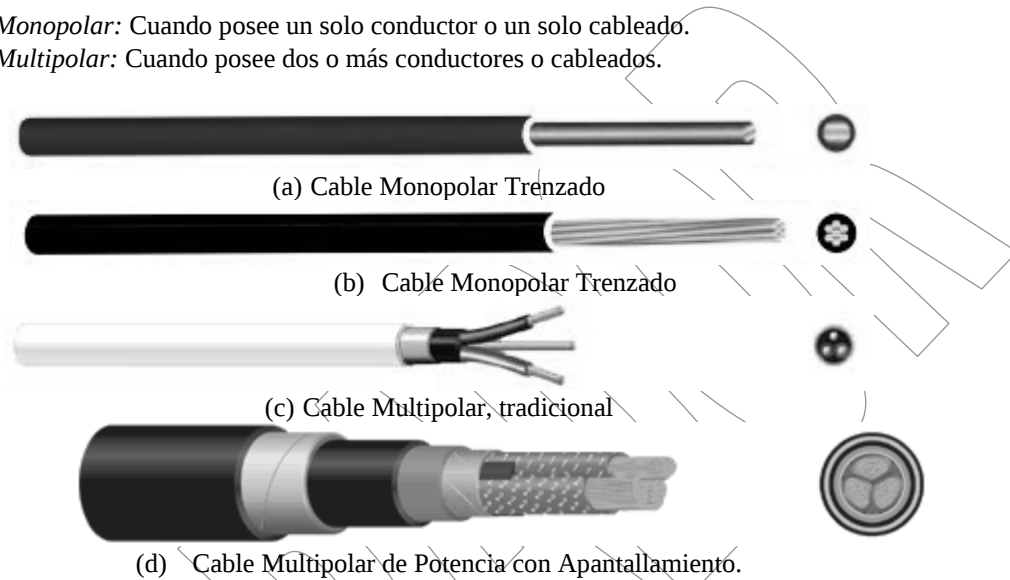


Figura 3. Muestra de diferentes tipos de cables de potencia

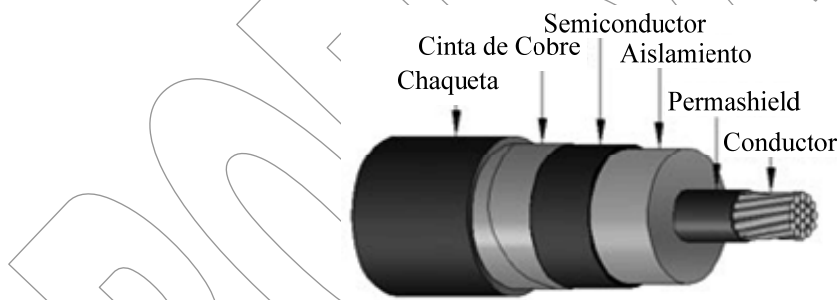


Figura 4. Corte Transversal de un Cable de Potencia de 138 kV

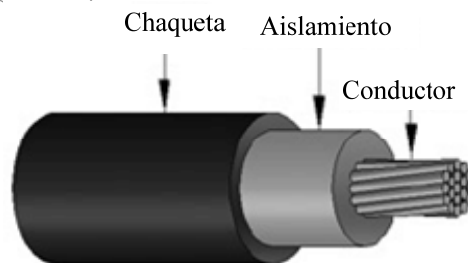


Figura 5. Corte Transversal de un Cable de Potencia de 600V

Los cables, son materia de estudio muy profundo y en especial, cuando se trabaja en alta tensión, pero esto es dominio de *Líneas de transmisión Subterráneas o Subacuáticas*. Las condiciones geográficas de Venezuela, son propicias para la transmisión de energía eléctrica a través de redes aéreas, por lo que el uso de conductores eléctricos aislados se ha visto limitado a un pequeño campo, en donde las líneas aéreas no resultan una alternativa, tal es el caso de la Central Hidroeléctrica Macagua II, en el Estado Bolívar, en esta central se instalo cables subterráneos, del tipo *Land*, debido al hecho de la humedad reinante en el sector, además de preservar la belleza escénica de los Saltos Cachamai y Llovizna. Por otra parte la conexión del estado Nueva Esparta con el resto de Venezuela, se realizó mediante un cable submarino del tipo *Oil Filled Cable*, de aproximadamente 25 Km., desde Chacopata hasta punta Mosquito.



Figura 6. Corte de la sección transversal de un conductor subacuático

1.3.1. Características Físicas y Mecánicas de los Conductores

Todo conductor debe poseer suficiente resistencia mecánica para soportar, sin romperse o deformarse permanentemente los esfuerzos aplicados al mismo, en la explotación (servicio) normal, y aun en las condiciones anormales, pero previsibles en el diseño. La construcción física de los conductores deriva principalmente de la esencia de las necesidades mecánicas mínimas para la operación segura, ante las eventualidades y operación normal.

En el caso de las líneas de transmisión aéreas, los esfuerzos mecánicos normales son: el peso del conductor y el hielo escarcha o nieve, que pudiese depositarse en zonas frías, el efecto del viento a una velocidad límite, etc. Por otra parte, los esfuerzos anormales comprenden: la presión de escaleras apoyadas contra las líneas, la suspensión de personal en la misma, el esfuerzo por huracanes, la presión de árboles o ramaje, la tensión debida a movilidad de los apoyos, con motivo a la ruptura de dos o más cables o la caída de una torre, la falla de una retenida, etc.

Es evidente que ante tan variados esfuerzos a los que son sometidos los conductores, no es posible fijar de un modo absoluto las dimensiones y características de un conductor, tanto más cuanto que el peso del mismo es uno de los motivos de esfuerzo, y al crecer la resistencia mecánica, crece también el peso. Para líneas aéreas sostenidas entre apoyos distantes, se ha tomado como base el valor del “claro” para definir cuales son las secciones de metal que llenan el requisito mecánico. Con dichos valores se ha formado la tabla que sigue fundada en la técnica norteamericana y la C.N.E.

Tabla 2. Calibres Mínimos en Milímetros cuadrados según la Distancia entre Apoyos

Material	30 m	45 m	60 m	90 m
Cobre Estirado en Frío	8	13	21	33
Cobre recocido	13	21	42	No
Aluminio duro		42	53	
Aluminio Reforzado		13 (*)	21 (*)	

(*): Area neta de aluminio, sin contar el esfuerzo.

El alambre de acero recubierto de cobre o aluminio es un gran avance, que interesa a las compañías eléctricas, por ser el acero barato, fuerte y accesible, pero presentando como desventajas, su poca duración y conductividad. Para dar al alambre de acero la conductividad y duración necesaria, se recubre con una capa de cobre bien adherida. La conductividad puede aumentarse haciendo más gruesa la capa de cobre o aluminio.

Este tipo de alambre de acero encobrado o aluminizado, es conocido como *CopperWeld*, o *AlumoWeld*, se utiliza para vientos y como conductor en líneas rurales, donde los tramos son largos y las intensidades de corriente pequeñas.

El *AlumoWeld* y el *CopperWeld*, serán tratados con mayor profundidad en posteriores Capítulos.

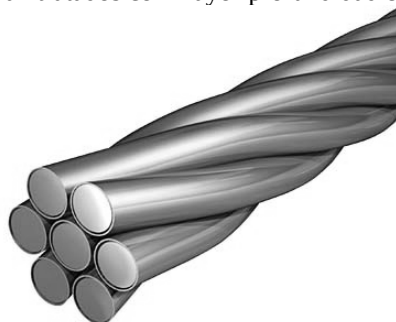


Figura 7. Vista de la Sección Transversal de un Conductor Cooperweld

1.4 Aisladores

Los aisladores en las líneas de transmisión de alta tensión sirven fundamentalmente para sujetar a los conductores, de manera que estos no se muevan en sentido longitudinal o transversal. Como su nombre lo indica, deben evitar la derivación de la corriente de la línea hacia tierra, ya que un aislamiento defectuoso acarrea pérdidas de energía y en consecuencia un aumento del gasto de explotación comercial del sistema. Los aislantes cumplen la función de sujetar mecánicamente los conductores a las estructuras que los soportan, asegurando el aislamiento eléctrico entre estos dos elementos.

Así pues, por algunas décadas, las cualidades eléctricas y mecánicas de los aisladores no deberán ser destruidas, por ninguno de los esfuerzos de todo tipo que estarán sometidos. Además, deberán facilitar todo trabajo que pudiera efectuarse en la línea, aun mantenida en tensión eléctrica, sin perjudicar la recepción de las señales electromagnéticas, radio, televisión y otros, ni la estética si fuera posible. Los aisladores se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, según el material elegido para su manufactura: aisladores de vidrio, porcelana o de plástico. Según su uso se tiene aisladores de intemperie y aisladores de recintos cubiertos, aislador de suspensión o aisladores de amarre, así como también aisladores de apoyo. También se diferencia entre aisladores de corriente continua y de corriente alterna.

1.4.1. Materiales para Aisladores

Las pioneras líneas de transmisión aéreas de distribución de electricidad de alta tensión de corriente continua en 1882 y luego de alterna en 1885, fueron construidas con aisladores de vidrio recocido rígidamente ligados al soporte, a los cuales estaban sujetos los conductores por medio de una ligadura.



Figura 8. Diferentes tipos de Aisladores empleados a lo largo de la historia

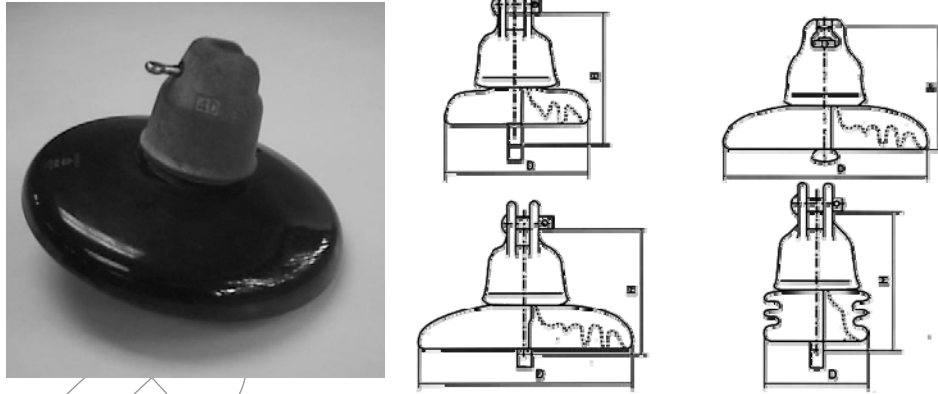


Figura 2. Fotografía de la Vista Superior de un Aislador de Porcelana tipo "Plato" o Disco de Suspensión

La porcelana se probó sin gran éxito entre 1890 y 1893, para cuando se desarrolló el procedimiento de fabricación por vía húmeda, que permitió obtener un material no poroso, de características mecánicas superiores a las del vidrio recocido. La cerámica por su parte se desarrolló y en 1903 se realizaron los primeros aisladores con este material. A partir de 1935, se utilizó el templado para los dieléctricos de vidrio, obteniéndose piezas con gran resistencia mecánica. Esencialmente los imperativos mecánicos son los que han presidido la evolución de los aislantes utilizados, para las líneas de transporte de energía.



Figura 3. Foto Ilustrativa de una Cadena de Aisladores de Vidrio, con el Detalla de Acople

Hasta ahora, solo los vidrios y las cerámicas, productos minerales frágiles, han recibido la sanción favorable de la experiencia. A medida que los niveles de tensión eléctrica han aumentado en los sistemas de transmisión las formas y los materiales de construcción de los aislantes ha sido especialmente estudiado, debido a los grandes esfuerzos eléctricos a que se ven sometido, siendo necesario conocer los niveles de aislamiento eléctrico.

El material que hasta el presente parece haber dado mejores resultados para uso a la intemperie es la porcelana. Con tal finalidad se usa exclusivamente la porcelana dura vidriada, la cual consiste de mezcla de feldespato, cuarzo y caolín, pues es la mejor que satisface las condiciones requeridas por un buen aislante. Aunque la porcelana, es hoy por hoy uno de los materiales de mayor uso; posee algunas desventajas. Es importante que el vidrio de la capa vitrificada que recubre la porcelana posee el mismo coeficiente de expansión térmica que la porcelana, pues de lo contrario surgen tensiones internas, que transcurrido cierto tiempo, se manifiestan en forma de pequeñas grietas; acortando la vida del aislador.

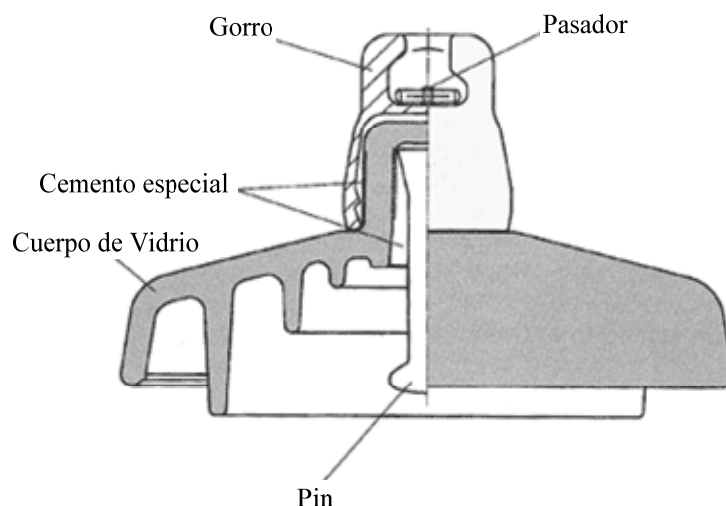


Figura 4. Corte Transversal de un Aislador de Vidrio

Por otra parte, un inconveniente se presenta en la elaboración de la porcelana, debido a la contracción que experimenta el material durante la segunda cocción (secado y sinterización), lo que arroja una inevitable inseguridad en las dimensiones finales. Otro inconveniente de la porcelana en servicio, es la fragilidad ante descargas por arco. El cual, al denotar cierta potencia en la proximidad de la superficie de la misma, la destruye por fusión y requerimiento. Basta para ello que el arco persista por fracciones de segundo. En la práctica se trata de alejar el arco de la superficie de la porcelana con la ayuda de cuernos protectores o cuernos de descarga.

Por su parte los aislantes de vidrio fueron desarrollados principalmente en Francia, han logrado después de algunos fracasos iniciales, imponiéndose como aisladores de soporte de sistemas de hasta 20 kV primero y hasta 380 kV. El aislador de vidrio se obtiene fundiendo diferentes materiales de granulometría; tales como arena, carbonato de sodio, dolomita carbonato de bario, carbonato de potasio, sulfato de bario, y piedra caliza, en un horno de fundición continua. Al igual que la porcelana, la proporción de los elementos que constituyen al material acabado permiten modificar o variar las características eléctricas, térmicas y mecánicas.

Una vez moldeado el aislador, se le somete a enfriamiento rápido mediante un chorro de aire. Con esto se logra que la parte externa se contraiga, permaneciendo la parte interior con calor y se contrae, mientras que la exterior se expande. Mediante este proceso el vidrio queda sometido permanentemente a una tensión interna uniforme, lo que lo confiere una gran resistencia mecánica.

Otras ventajas del vidrio en comparación con la porcelana son: su constante dieléctrica de 7.3 (la de la porcelana es 6) y su elevado coeficiente de expansión térmica mayor a la del vidrio.

El aislador de vidrio en consecuencia, soporta los cambios bruscos de temperatura. Denota, además una elevada resistencia a los impactos, así sean provocados por proyectiles. La aparición de cualquier fisura provoca la inmediata destrucción de la falda, quedando, sin embargo, las piezas metálicas unidas entre sí, en vista de lo cual no hay caída del conductor. Para proteger a los aisladores de vidrio contra disparos accidentales o voluntarios algunos fabricantes han diseñado aisladores de vidrio, lisos en su interior y con superficies curvas para desviar fácilmente los proyectiles.

Los aisladores de plástico se han venido encontrando una aplicación cada vez mayor de las instalaciones de alta tensión bajo techo, debido fundamentalmente a las ventajas que presentan frente a los aisladores de cerámica y vidrio, entre las cuales resaltan:

- Mayor libertad y facilidad en el acabado final del aislador, permitiendo además el vaciado simultáneo de piezas metálicas.
- Mejor comportamiento elástico y mayor resistencia contra impactos mecánicos
- Peso reducido y elevada resistencia dieléctrica.

En las instalaciones a la intemperie se aprecia también una fuerte tendencia en la aplicación creciente de aisladores de plástico, si bien los estudios e investigaciones no pueden contemplarse como finalizados.

El material más indicado para la fabricación de los aisladores plásticos parece ser la resina sintética. Los experimentos de tensión mecánica a muy baja temperatura (-20°C) han demostrado, sin embargo que no todas las resinas sintéticas hasta ahora aplicadas en la electrotecnia pueden soportar los severos desafíos de la

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

práctica, quedando así descartadas las resinas del tipo ciclo alifático, mientras que los elastómeros de silicón parecen arrojar mejores resultados en un margen de temperatura comprendido entre 60° y +180°C.

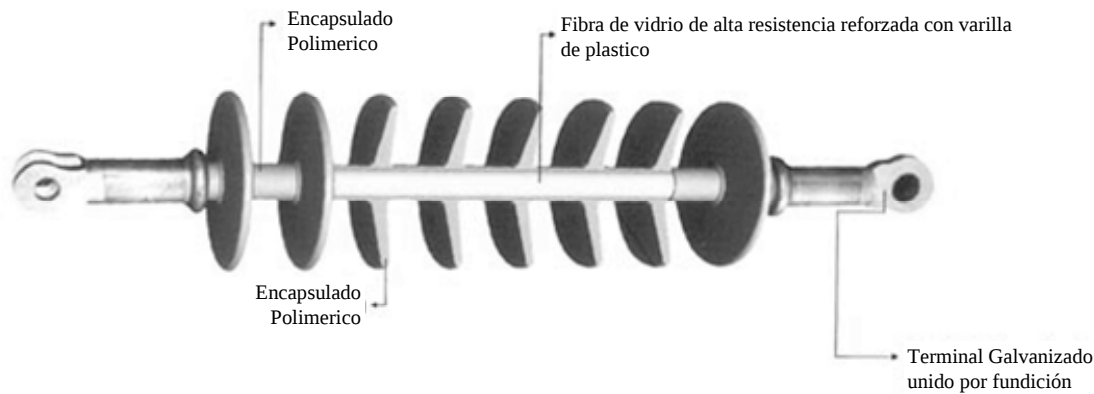


Figura 9. Vista de la sección Transversal de un Aislador de Materiales Compuestos.

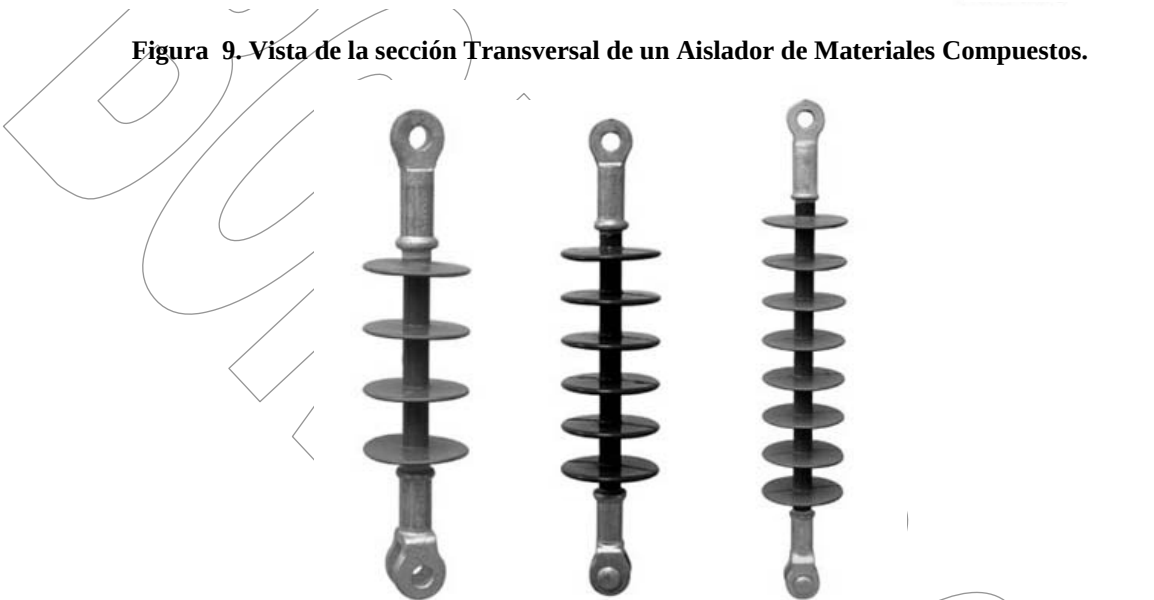


Figura 5. Muestra de Diferentes Tipos de Aislantes Compuestos

Con la finalidad de mejorar el comportamiento eléctrico y mecánico de los aisladores plásticos se están empleando actualmente una gran cantidad de aditivos, cuya discusión excedería apreciablemente el margen del presente escrito. Cabe señalar, únicamente, que los aisladores de plásticos están encontrando una creciente aplicación en los sistemas de transmisión de energía, encontrándose desde hace algunos años en operación aisladores diseñados con tensiones de 110 kV.

Tabla 3. Diferencia entre los Aisladores de Vidrio y Porcelana

Vidrio	Porcelana
Se hace fácil la detección de defectos internos (el vidrio es transparente)	No se pueden detectar defectos internos
Sufren un recalentamiento menor debido a los rayos solares, ya que la mayoría pasan a través del aislador y no son absorbidos.	Se calientan fácilmente por la acción de los rayos solares
Son más vistosos por lo que son presa fácil para cazadores y actos vandálicos	No son vistosos
Fácil inspección desde el suelo o helicóptero, se observa su estado sin ningún error.	Su inspección debe ser detallada
No se perforan a los cambios de tensión.	Se perforan más fácilmente

1.4.2. Aisladores de Resistencia Controlada

Basándose en la teoría de que el deterioro de los aisladores contaminados obedece a que con las primeras gotas de lluvia se forman pequeños arcos que secan y calientan un trozo de la superficie, y que esa variación grande y brusca de la temperatura es la que llega a causar hasta el estallido de los aisladores normales, una fabrica desarrollo un tipo de aislador que tiene en su superficie una capa semiconductor que garantiza que siempre habrá una pequeña corriente pasando por toda la superficie. En otras palabras, al tener el camino siempre para la corriente de fuga, se evita que se presenten arco súbitos concentrados y por lo tanto la causa de los deterioros. Parece ser que el comportamiento de este tipo de aislador es bastante bueno, salvo que llegue a saturarse, lo cual puede tardar algunos años dependiendo de la severidad de las condiciones ambientales contaminantes. En las líneas de 13.8 kV en la zona de Tucacas donde debía hacerse en forma permanente el lavado de los aisladores aun el de tipo anti-polución, los aisladores con capa semiconductor han dado buen resultado, pero como solo llevan pocos años de instalados parece prematuro adelantar juicios sobre el comportamiento a mayor plazo.

En los últimos años se le ha dispensado especial atención a un tipo de aislador que no perturbe las comunicaciones radioeléctricas, por lo cual se les denomina *antiparasitos*. Tales aisladores carecen de zonas de aire, viéndose además en servicio sometido a fuertes sollicitaciones de campo eléctrico. Una armadura de testa contribuye eficazmente a lograr los fines perseguidos.

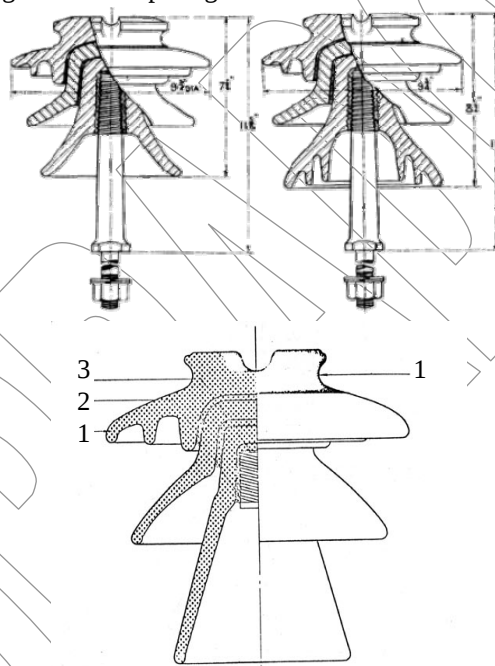


Figura 6. Aislador Antiparasito. 1: Faldas de Porcelana. 2: Cemento Pórtland 3: Rosca de Zinc 4: Capa Semiconductora

El empleo de capas semiconductoras no es en si muy reciente, pues se observa desde hace algún tiempo en los aisladores antiparasitos, en los cuales se trata de poner en cortocircuito a aquellas partes del aislador expuestas a descargas, haciendo circular una intensidad de corriente determinada a través de las mismas. La idea de hacer circular una intensidad de corriente estacionaria a través o a lo largo de toda la superficie del aislador data igualmente de ya varios años, pues se ha podido verificar que la misma previene la distribución no uniforme de tensión a lo largo del cuerpo del aislador.

Uno de los primeros compuesto en ser utilizados fue el óxido de hierro, en conjunto con diversos aditamentos, tales como óxido de tritanio, óxido de cromo, óxido de manganeso y otros. Este compuesto fracaso, debido a su gran inestabilidad térmica y a la corrosión electrolítica, la cual encuentra su justificación en la diferencia de potencial de los diferentes óxidos que integran al compuesto.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

A partir de 1960 se comenzó a experimentar con óxido de titanio, con otros óxidos, entre ellos el óxido de wolframio, óxido de cromo y otros. A pesar de denotar un mejor comportamiento que el compuesto anterior, se observó que el titanio, habiéndose reducido a su óxido inferior, se reoxidaba dándole origen a ligeros arcos que se formaban en la superficie del aislador, reduciéndose así el efecto de la capa semiconductora.

Todo parece indicar, que el mejor comportamiento de la capa semiconductora se obtiene con óxido de estaño, el cual se añade al barniz semiconductor que cubre a la superficie del aislador. Este barniz tiene que tener un coeficiente de dilatación térmica que mejore las características mecánicas del aislador, al mismo tiempo tiene que garantizar una superficie lisa sobre el aislador.

El compuesto a base de óxido de estaño, tiene un solo agregado, a saber el óxido de antimonio. Es en consecuencia, menos susceptible a la corrosión electrolítica que aquellos compuestos con más de dos óxidos. Actualmente hay varios fabricantes trabajando con este compuesto, entre ellos NGK del Japón, *La Lapp Insulator* de EE.UU. y *Doulton* de Inglaterra. Es de resaltar, que los resultados obtenidos hasta el presente con este tipo de aislador son muy prometedores, ya que además de reducir los peligros de descargas ocasionados por los diferentes agentes, permitirá reducir también apreciablemente la longitud de la cadena de aisladores en sistemas de muy altas tensiones. Un sistema de 1 MV requiere de una cadena convencional de aproximadamente 68 elementos (10 metros de largo), mientras que 1.5 MV una cadena de 102 elementos (15 metros). Al aumentar el largo de la cadena de aisladores, aumenta el costo de la torre, así como el peligro de resonancia mecánica. En resumen se puede afirmar que las ventajas principales de la capa semiconductora son entre otras, las siguientes:

- Mejor distribución de la tensión a lo largo de la superficie del aislador.
- Secado más efectivo de la superficie del aislador, ya que el suministro de energía favorece la formación de un gradiente térmico de aproximadamente 3 a 4° C por encima de la superficie ambiental. En presencia de niebla se evita la condensación y humidificación total del aislador.
- Eliminación de las descargas superficiales, ya que el aislador elimina la formación de la banda seca que favorece la formación del arco.

Uno de los grandes inconvenientes que representa el aislador de capa semiconductora en su actual estadio de experimentación, es, sin lugar a dudas, la vida útil de su capa semiconductora. En el país se ensaya actualmente este tipo de aislador en la Línea Coro-Punto Fijo, como ya se mencionó. Destacándose el hecho de que esta área presenta, además de la contaminación marina de por sí existente en la misma, un efecto bastante abrasivo por parte del viento, el cual se debe predominantemente al contenido de arena que lo caracteriza.

1.4.3. Tipos de Aisladores según su Diseño

Los aisladores pueden ser clasificados según el diseño que se coloque, distinguiéndose dos grandes grupos:

- Aisladores rígidos o de soporte (*Post Type*)
- Aisladores de suspensión
- Aisladores de tipo Espiga, Palillo o Pin (*Pin-Type*)

1.4.4. Aisladores de Soporte

Se emplean generalmente en sistema de hasta 69 kV, constan o bien de una sola pieza de porcelana, o de varias piezas cementadas entre sí. La superficie del núcleo, sigue, en lo posible, la dirección de las líneas de fuerza y las campanas viene a ser perpendiculares a las mismas, con lo cual se evitan, por un parte, los espacios huecos con intenso flujo de campo electrostático, y por otra, se consigue que la distribución del campo sea aproximadamente la misma en estado seco que en estado húmedo.

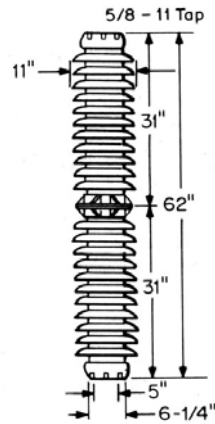


Figura 7. Aislante de Subestación *Post-Type*, para 161 kV

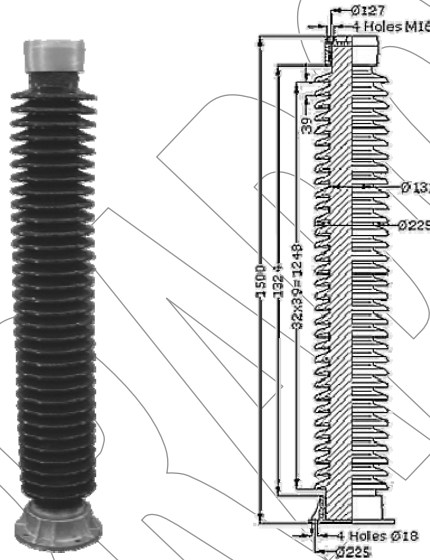


Figura 8. Ejemplo de un Aislante de Subestación *Post-Type*

Con miras a obtener economía de inversión, a veces se reemplazan las cadenas de aisladores por aisladores de un solo cuerpo que es de tipo sólido y hace veces de la cadena pues oscila de su punto de sujeción y aunque no es tan flexible, le permite al conductor sus movimientos en todos los sentidos. Se produce de dos tipos: uno para condiciones normales, y otro con mayor número de pliegues para cuando existe polución.

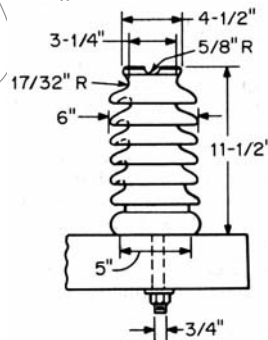


Figura 9. Aislador *Post-Type*, 35 kV

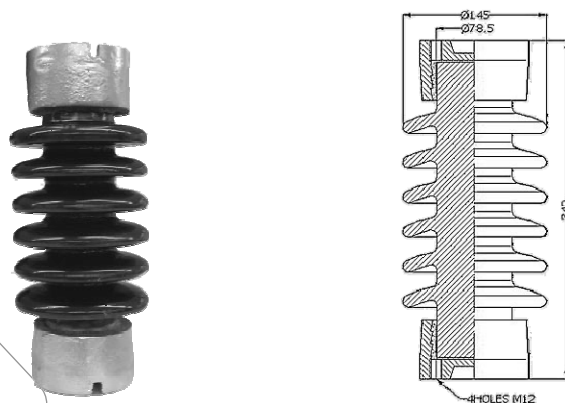


Figura 10. Ejemplo de un Aislador *Post-Type*

En Norteamérica, se han desarrollado un tipo que además de ser rígido tiene en un extremo un soporte con el cual se puede anclarse al poste mediante tornillos, y en el otro extremo una mordaza de suspensión. Las ventajas de este tipo conocido como *Line-Post* son que se evita la construcción de los brazos; se ahorra espacio, lo que permite su utilización en zonas urbanas sin que presente mucha interferencia, y luego su disposición horizontal lo hace recomendable en zonas donde haya salitre pues se lava fácilmente sin que se produzca contorneos, o bien sea con lluvia o lavado a presión. La principal desventaja es la limitación de tipo mecánico pues al ocupar la posición de un brazo debe soportar los esfuerzos que le transmite el conductor sin posibilidad de moverse. Este tipo de aislador fue usado en la línea que une a la Subestación Coro con la planta de generación de la localidad, principalmente por las condiciones de esa línea que esta prácticamente al borde de los médanos y por supuesto recibe toda la contaminación del mar; de igual forma la electricidad de Valencia emplea en la zona del casco central de Valencia este tipo de aisladores.

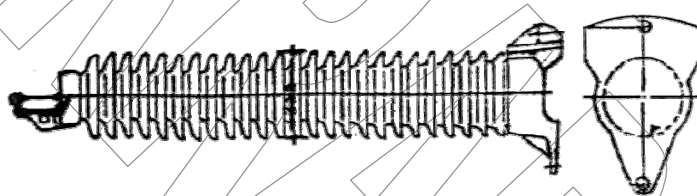


Figura 11. Aislador *Line-Post Type*

Los aisladores de tipo soporte también son conocidos como *aisladores de cuerpo macizo*, ya que están constituido por un cilindro macizo de cerámica provisto de aletas, que tienen en cada extremo una pieza metálica de conexión. Esta pieza puede ser; envolvente en forma de casquete sellado alrededor de los extremos troncoconicos, provistos en el cilindro, o en forma de varilla sellada en una cavidad precisa con este objeto. Los sistemas de conexión entre estos aisladores, o con las torres, o los cables, están formados por rotulas u horquillas como en el caso de los aisladores de caperuza y espiga. Además las dimensiones de las conexiones de rotula recomendados por la IEC son las mismas que la de los dos tipos de aisladores que aparecen en la publicación 120.

En este tipo de aislador la conexión con el conductor es rígida y directamente con pinzas o mordazas. Estos aisladores pueden utilizarse en posición vertical, horizontal u oblicua. Sin embargo, en cada caso particular conviene asegurarse con el fabricante que cada aislador seleccionado, sea instalado en la posición elegida, y que responde a las características deseadas. Este tipo de aislador, puede ser sometido en explotación a tensiones mecánicas de flexión, tracción y compresión, aún de tensiones de torsión algunas veces cercana a la de ruptura del conductor.

Los aisladores de porcelana construidos por varias campanas, son cada vez más reemplazados por aisladores del tipo soporte de cuerpo cilíndrico de una sola pieza, que han sido primeramente adoptados en Norteamérica, por razones entre la que no se excluye la estética.

1.4.5. Aisladores de Suspensión

Este tipo de aislador también es denominado plato, en este el material aislante (porcelana, vidrio, etc.) tiene adherido con cemento a lado y lado, elementos metálicos que se pueden encajar uno dentro de otro, permitiendo la formación de cadenas flexibles, también se encajan los accesorios de conductor o herrajes, además de las estructuras, con lo cual completan su fijación.

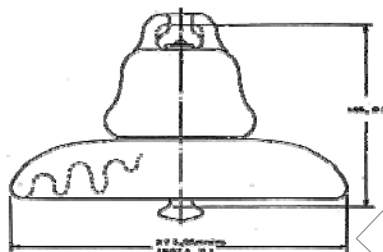


Figura 12. Aislante de Suspensión, Tipo Campana Espárrago (Ball and Socket Type)

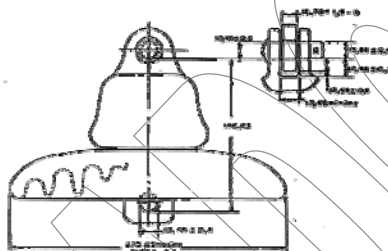


Figura 13. Aislador de Suspensión, Tipo Ojo-Pasador (Clevis Type)

El aislador de suspensión de tipo campana y espárrago (*cap and pin*) domina hoy día el margen de tensiones comerciales comprendido a partir de los 70 kV. Para tales tensiones el aislador de apoyo resulta antieconómico, siendo además apreciable la longitud que tendrían que denotar los mismos para vencer tensiones más altas. Los aisladores a base de campana y espárrago (también denominados rotula y horquilla) denotan la peculiaridad de poder suspender, hasta cierto límite, a un elemento del otro, formando una especie de cadena, hasta vencer la tensión deseada. Este hecho ha simplificado notablemente la manufactura del aislador, concentrándose especialmente su producción en el Japon (empresa NGK).

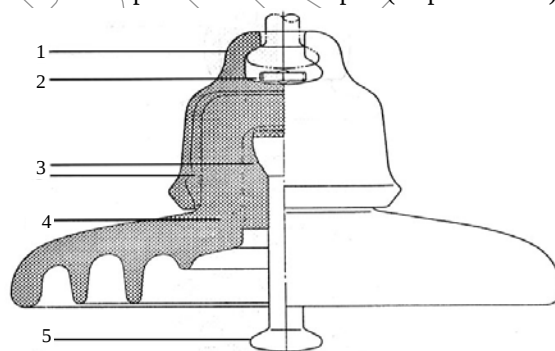


Figura 14. Partes de Aislador de suspensión, tipo Campana-Espárrago. 1 Caperuza Metálica, denominada también capurucha, fabricada de acero galvanizado en caliente. 2 Pasador de Seguridad, fabricado en latón o acero inoxidable. 3 Cemento Portland. Tiene como finalidad unir a la caperuza metálica a la falda del elemento. 4. Falda de cerámica o vidrio templado. Últimamente también de plástico, cuando menos para fines experimentales. 5. Espárrago de fabricación de acero galvanizado.

Uno de los grandes problemas que ofreció, en su comienzo este tipo de aislador fue la fijación de la capurucha o caperuza, ya que el cemento empleado se dilataba en el curso de los años, aumentando así de volumen hasta estallar. La absorción de humedad contribuía también al incremento, de volumen, en especial en la parte inferior del elemento, haciendo trabajar a la porcelana a la tracción. Estas dificultades pudieron ser

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

vencidas utilizando mezclas de cemento perfeccionadas, o bien interponiendo capas elásticas, así como también tratando térmicamente al cemento durante su fraguado, o mejorando la calidad superficial de compuesto, para impedir así la penetración del aire o la humedad.

Los aisladores suspendidos consisten de una cadena de aisladores de revolución, ensamblados los unos a los otros, a las torres y a los cables, por sistemas metálicos de rotula o de horquilla que solo permiten la transmisión, excepto el rozamiento, de esfuerzos mecánicos paralelos a su eje. De estas cadenas verticales se suspenden los conductores a las torres de alineación; de otras cadenas horizontales o más bien inclinadas respecto a la alineación de los cables, se tensan los conductores en las torres de anclaje o amarre. Estas cadenas pueden ser dobles o múltiples para aumentar la resistencia mecánica, su longitud dependerá del nivel de aislamiento requerido.

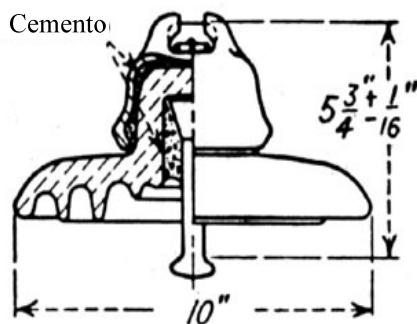


Figura 15. Aislador Ball and Socket Type (Locke Insulator Inc.)

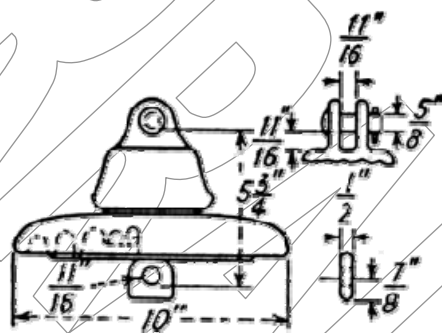


Figura 16. Aislante *Clevis Type*.

Los americanos por su parte, y por otra la Comisión Electrotécnica Internacional (ANSI Standard C29-2-71, Publicación IEC 305) han estandarizado cierto número de tipos de aisladores y elementos de cadena, comprendiendo las formas. Igualmente se han determinado las dimensiones de los sistemas de suspensión, particularmente en la publicación 120 de la IEC, editada en 1960. Actualmente los sistemas de rotula, "*ball and socket*" son recomendados por la IEC que han provisto cuatro dimensiones de 11, 16, 20 y 24 mm. También los estándares americanos definen las dimensiones de las ensambladuras de horquilla y espiga, para resistencias mecánicas de 10.000, 15.000, 25.000, 36.000 y 50.000 libras; así como las dimensiones de las ensambladuras de rotula, correspondientes a las tres mayores resistencias mecánicas indicadas arriba, que desgraciadamente son diferentes a las adoptadas por la IEC.

1.4.6. Aisladores Tipo Espiga, Palillo o Pin (*Pin Type*)

Este tipo de aislantes se caracteriza porque la fijación que hacen del conductor es rígida. Hay variedades en cuanto al tamaño y forma de sujetar al conductor; en su gran mayoría requieren de ligaduras, o sea de hilos del mismo material del conductor que amarren este del aislador, gracias a sus formas exteriores; también los hay que tiene una pinza o mordaza en el tope estos aisladores tiene una rosca interna que aloja la espiga y a ella se ajusta gracias a una caperuza de plomo que se deforma para asentarse a la cruceta, y sobresale a partir de ella roscada, en una longitud que varia si se trata de cruceta de hierro o madera. No se recomienda ponerlos en ángulos verticales mayores de 4°, ni por supuesto como terminales, amarres o anclajes.

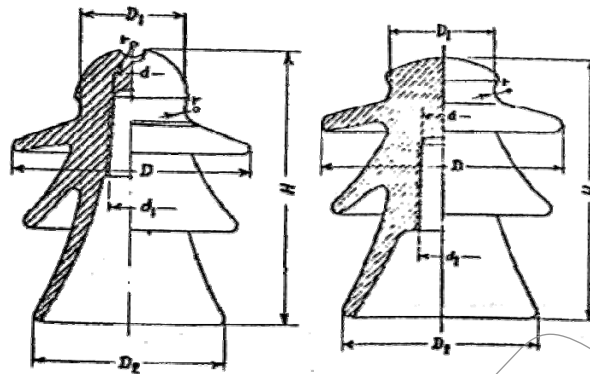
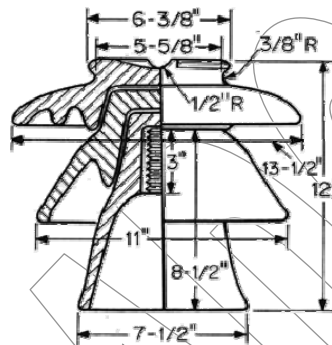


Figura 17. Aisladores de Soporte de la firma PIGA

Figura 18. Aislador Típico *Pin-Type* de 69 kV

El dieléctrico es de vidrio templado, porcelana, y hasta plástico en tiempos recientes. El material de conexión es un mortero de cemento aluminoso o *Portland*. La forma de la cabeza esta diseñada de tal modo, que los esfuerzos de tracción aplicados al aislador se transforman, tanto como sea posible, en compresión en los dieléctricos, ciertas tensiones de cizalladura. La forma socavada interior de la cabeza, necesaria para la fijación del sellado de la espiga, se obtiene sea por el paso de un tornillo que retira después del prensado del dieléctrico, sea por medio de una deformación o elaboración posterior a la formación de dicha cabeza. En el caso del aislador de porcelana, esta socavación puede evitarse aplicando, antes de la cocción partículas de pastas precocidas, las cuales después de la cocción formaran cuerpo con la pieza, permitiendo la fijación del mortero. Este procedimiento es conocido con el nombre de "*sandage*", se utiliza corrientemente aun ahora.

1.4.7. Tipos de Aisladores según las Condiciones Ambientales

Según las condiciones ambientales que afronten el aislador, aunque algunos autores entre ellos Luis A. Siegert, lo hacen en función de la configuración de las corrugaciones de la falda, siendo agrupados en dos grandes grupos:

- Standard o Normal
- Anti-fog o Antiniebla
-

Standard o Normal: Se utiliza en zonas de clima templado y razonablemente limpias sin contaminación o *polución*. En este tipo de aisladores las corrugaciones no sobresalen del borde inferior.

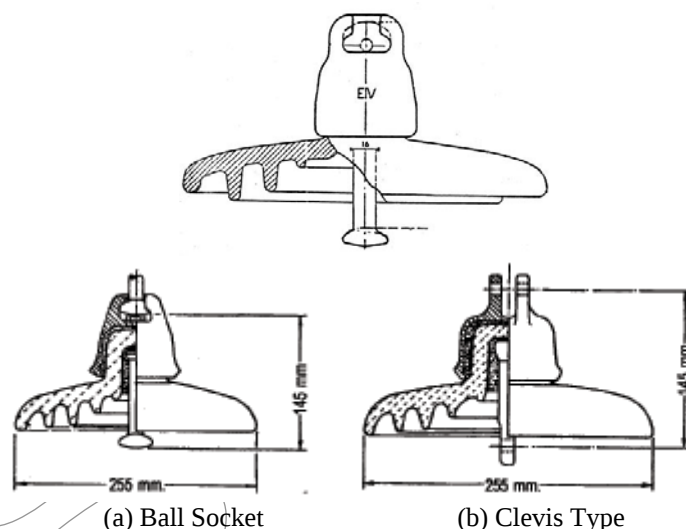


Figura 19. Aislador de Suspensión Tipo Normal

Anti-Fog o Antiniebla: Se utiliza en ambientes contaminantes (costas, desiertos, industrias, etc.). Para una misma longitud de la cadena y unas líneas de fuga mayor. En los desiertos es común la utilización del aislador tipo *Nordem*, con gran distancia de fuga, en forma de campana. Estos aisladores también denominados antiniebla, poseen un número de ondulaciones menores, pero mucho más pronunciado, de tal forma que sobresalga del borde inferior. Los fabricantes recomiendan el empleo de este tipo de aislador en zonas fuertemente contaminadas.

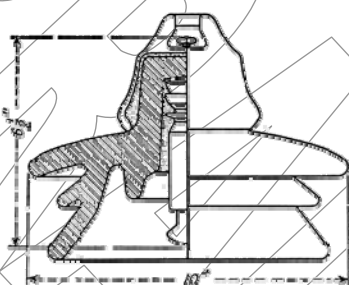


Figura 20. Aislador *Smog-Type*. Ohio Brass Company

1.4.8. Cadenas de Aisladores

En las líneas de transmisión aéreas debido a el alto nivel de tensión eléctrica en la cual operan se hace necesario la utilización de cadenas de aisladores, constituidas por n aisladores en serie, donde el nivel de aislamiento de la cadena es siempre menor que n veces la aislamiento de un aislador solo, y esto es más notorio cuando el número de aisladores es grande. El largo de la cadena depende del voltaje, mientras más grande aumenta el largo de la cadena, para cumplir con la distancia mínima, y se requiere una altura mayor en las torres.

En el sistema de transmisión de Venezuela, se han normalizado el número de aisladores, según el nivel de voltaje de operación de la línea resultando:

Tabla 4. Numero de Elementos Aislantes empleados Típicamente por nivel de Voltaje

Voltaje de Operación [kV]	Número de Aislantes
115	9
230	16
400	24
765	42

Los valores mostrados en la tabla anterior, son solo muestras representativas típicas, debido a que cada línea posee su diseño particular, en especial en ambientes altamente contaminantes y por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar.

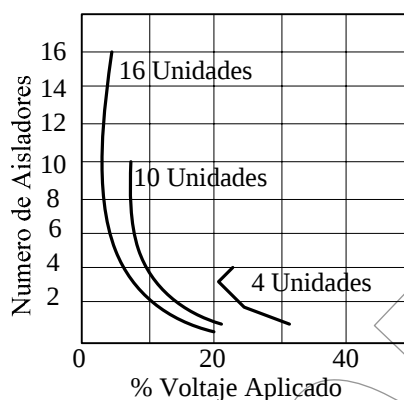


Figura 21. Curva de Número de Aisladores versus Tensión Aplicada

En las cadenas de aisladores se distinguen cuatro tipos principales:
La *Cadena de Suspensión Simple*, empleada en la alineación y en los pequeños ángulos flexibles.

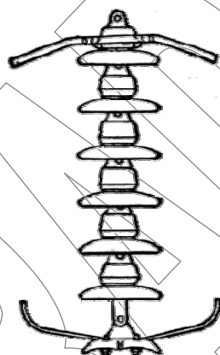


Figura 22. Cadena de Aisladores Simple de Suspensión

Las *diversas Cadenas de Suspensión Dobles*, utilizadas en algunos cruces importantes y en los ángulos flexibles mayores. El sistema más simple está formado por dos cadenas elementales unidas por un balancín al estribo o a la horquilla de muñón fijado al brazo de habilitación, se suelen distinguir tres tipos de suspensión doble. En primer modo de realización, las *dos cadenas permanecen paralelas*, fijadas separadamente al conductor con sus pinzas, con igual separación del balancín.

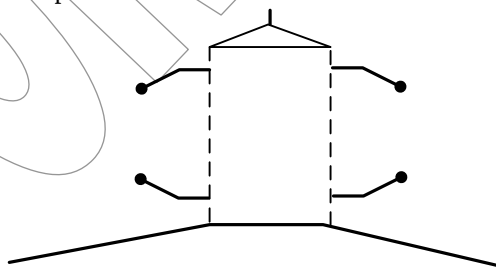


Figura 23. Dos Cadenas de Aisladores Simples Paralelas

En el segundo modo de realización, las *dos cadenas simples ya no son paralelas*, las pinzas se fijan en el cable, con una separación que corresponde a una inclinación de cada cadena de 10° a 15° respecto a la vertical.

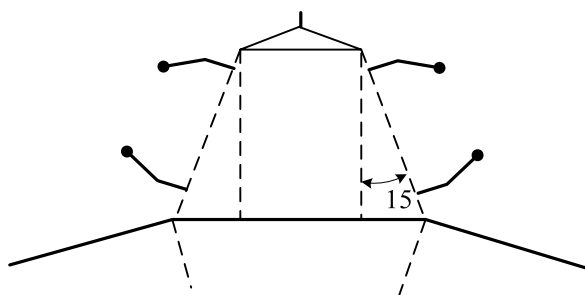


Figura 24. Dos Cadenas Simples No Paralelas

En un tercer modo de realización las *dos cadenas simples se unen en su parte inferior por medio de un segundo balancín*, estando provistos de una sola pinza o sostenedor para mordaza.

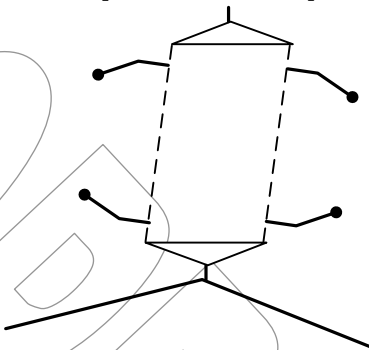


Figura 25. Dos Cadenas Simple Unidas por un Balancín en la Parte Inferior

La *Cadena de Anclaje Simple*, empleada algunas veces en los anclajes de líneas y más frecuentemente en los empalmes en con las subestaciones. Salvo en las líneas de 20, 63 y 90 kV, la cadena de anclaje simple es de un empleo muy limitado.

Cadena de Anclaje Doble. En forma general, la cadena de anclaje doble se utiliza en la línea, en los ángulos importantes del trazado y en los amarres delante de las subestaciones. Esta cadena esta sometida permanentemente a la tensión mecánica del conductor, que puede llegar a 1/3 de la carga de ruptura en servicio normal, y el 70% de la tensión de ruptura en el caso de escarcha.

Los aisladores representan un porcentaje muy modesto, 2 a 3%, del costo de una línea de transmisión aérea, pero son un elemento esencial del cual depende la seguridad de la explotación, y la calidad del servicio suministrado a los consumidores de electricidad. La importancia de su función se manifiesta, principalmente, en el costo difícilmente calculable de cualquier interrupción del servicio, de la cual pueden ser eventualmente causa, sin olvidar que la mayor parte de las dificultades que les son imputables, dependen del aislante que los constituye, el cual siendo un material *frágil* debe soportar importante tensiones mecánicas.

Es necesario conocer las tensiones que soportara el aislador en la explotación, así como su comportamiento bajo tales sollicitaciones. Porque, solo la comparación de estos dos elementos, permitirá apreciar la seguridad que se puede esperar de su utilización.

1.4.9. Función de un Aislador

Los aisladores dentro de las líneas de transmisión realizan dos funciones básicas:

- *Función Eléctrica:* Aislar el conductor de la tierra.
- *Función Mecánica:* Soportar al conductor.

Es necesario en el diseño de los aisladores de una línea de transmisión aérea, tomar en cuenta dos factores importantes:

- Exigencias Eléctricas de Explotación
- Exigencias Mecánicas de Explotación.

1.4.9.1. Exigencias Eléctricas

Un aislador o una cadena de aisladores están sometidos, permanentemente, a la tensión entre fase y tierra del sistema, o a la tensión compuesta, o sea entre fases, en el caso de incidente monofásico que sobreviene en una línea de neutro aislado. Es necesario vigilar que estas tensiones puedan ser soportadas permanentemente por los aislantes, aun en el estado más desfavorables (contaminación) determinado en cada caso, por las condiciones atmosféricas y el medio ambiente local (proximidad de la costa, de las zonas industriales, etc.).

En fin se debe tomar en cuenta la frecuencia de las tormentas, ya que los rayos que alcanzan líneas, torres o conductores, someten estos aislantes a ondeas de sobretensiones de elevaciones bastantes rápidas, como para ocasionar la perforación de algunos aisladores, y de amplitud suficiente como para provocar un salto.

1.4.10. Grado de Aislamiento

Un valor de tensión eléctrica (diferencia de potencial) de una magnitud muy elevada puede provocar:

- El *salto en el aislador*, o sea una excitación en el aire circundante entre las dos piezas conductoras en terminales. Solo la energía térmica desprendida por el arco puede deteriorar el aislamiento
- La *perforación del aislador*, por una excitación a través del dieléctrico del material que constituye el aislante.

La duración de la aplicación de una tensión constante, necesaria para la excitación, varía con la amplitud de esta tensión. La ley de esta variación es diferente según se trate de un salto o una perforación.

Las *perforaciones* son muchas veces, solo una consecuencia de las grietas producidas por las tensiones mecánicas. El riesgo de perforación queda descartado, si se realiza una selección apropiado de los aislantes desde el punto de vista mecánico, además de una inspección especial en el montaje. La amplitud mínima de la tensión que provoca un *salto exterior* en un aislamiento, variara en función de:

- La naturaleza de la tensión eléctrica aplicada (constante, alternativas, transitoria, etc.).
- Las condiciones atmosféricas y climáticas (temperatura, densidad del aire, estado de ionización del aire).
- El estado de la superficie del aislante (humedad, *polución*, etc.).

Para simular los diferentes tipos de tensiones eléctricas a las cuales son sometidos los aisladores en explotación, se han definido una serie de tensiones y ensayos por parte de la IEC, publicación 60, ANSI C 68-1-1968, UTE 41-100.

La contaminación es un fenómeno que ayuda al salto eléctrico superficial del aislador, ha sido clasificada en dos tipos:

- *Fuertes Contaminaciones*: Áreas industriales cerca de las costas y desiertos (áreas mixtas). Depositándose polvo de carbón, petróleo, cenizas, sal arenas, etc.
- *Ligeras Contaminaciones*: Áreas costeras, desérticas, agrícolas, Depositando nieblas, fertilizantes, excremento de aves, etc.

Para establecer la especificación de los aisladores, se suele utilizar el grado de aislamiento. El grado de aislamiento se define como la relación entre la longitud del camino de fuga de una aislador (o una cadena total), y la tensión de fase. Siendo la longitud de fuga, la distancia que se mide sobre la superficie del aislador, de menor camino para la corriente de fuga.

Tabla 5. Valores Típicos del Grado de Aislamiento

<i>Tipo de Contaminación</i>	<i>Límites</i>
<i>Fuertes</i>	4.42 a 5.36 cm/kV
<i>Ligera</i>	2.64 a 3.33 cm/kV

En el calculo eléctrico de un aislador priva la idea de seleccionar un aislador de elevada distancia de fuga, que tenga un grado de aislamiento adecuado, pero evitando que la longitud de la cadena de aisladores conlleve un decremento drástico de las distancias mínimas del conductor, porque se afecta el costo económico del proyecto de la línea de transmisión. El tratamiento del calculo eléctrico de los aisladores, se deja para estudios posteriores en *Técnicas de Alta tensión*.

1.4.11. Exigencias Mecánicas

Las tensiones mecánicas aplicadas a los aisladores, se deben esencialmente a los conductores. Estas tensiones varían continuamente, pues dependen de las características del viento, de la cantidad de depósito soportado por los cables (nieve, escarcha, hielo, etc.) y aun en los casos de ángulos y sobre todo de anclajes, de la tensión de los conductores, luego de su temperatura. En la selección de los aisladores por esfuerzos mecánicos, priva en esencia una serie de factores, como el peso del conductor, número de conductores por fase, peso de la cadena de aisladores, y hasta el peso de los herrajes, incluyendo los amortiguadores y separadores.

Una ecuación muy utilizada para el cálculo de la carga de un aislador es:

$$P_t = \#_{\text{Cond. Por fase}} \text{Vano } W_{\text{Conductor}} 1.02 \times 1.03 + W_{\text{Cadena}} + W_{\text{Herrajes}}$$

1.02 : 2% adicional del Vano.

1.03 : 3% Adicional por amortiguadores y separadores sobre el peso del conductor.

El coeficiente de seguridad mecánica del aislador es:

$$\text{Carga Ruptura} = T_r = 3P_t$$

Con la carga de ruptura se busca un aislador de características semejantes, o al menos inmediatamente superior, evidentemente que el cálculo de las características mecánicas son un estudio mayor, pero se deja para el curso de *Líneas de Transmisión II*.

Vano real: es la distancia entre dos soportes consecutivos en una línea de transmisión. En el diseño de una línea se toman convenientemente los vanos, si estos son muy grandes son menos estructuras por kilómetro, pero deben ser más robustas para soportar mayores esfuerzos mecánicos, resultando más costosas las torres. Por tanto, es necesario tantear con el vano que resulte más económico, se toma como criterio aplicable a la mayor cantidad de vano y los vanos especiales otro criterio. Un ejemplo de un vano especial resulta el cruce de las líneas de transmisión sobre el río Orinoco.

1.4.12. Aisladores Utilizados en Venezuela

En Venezuela las empresas eléctricas, son las encargadas de seleccionar a través de una serie de normativas estandarizadas para sus proyectos de transmisión, las especificaciones de cada uno de los elementos de las líneas incluyendo los aisladores. La empresa Venezolana CADAPE, mediante su Norma de Proyectos NL-P, de la Dirección de Desarrollo en proyectos de transmisión, en su aparte NL-E-III.5.2. y 5.3 establece que los aisladores deben ser de porcelana tipo sócate bola, cuyas medidas serán de 146 mm x 254 mm (53/4 pulgada x 10 pulgadas). La porcelana deberá cumplir con la norma ASA C29.2 *Wet Process Porcelain Insulators*. Los aisladores que utiliza CADAPE, son ensayados según el acuerdo establecido en la norma ASA C29.1 *Test Methods for Electrical Power Insulators*.

Por su parte la empresa estatal EDELCA, en sus líneas de transmisión de 765 kV, suele utilizar los aisladores del tipo A1 y C, para suspensión y amarre respectivamente, de la casa japonesa NGK, catálogo CA-380-EY y CA-590-NZ, cuyas distancias de fuga son de 170 y 195 mm.

En Venezuela a la fecha no existe fábrica alguna para los aisladores de líneas de transmisión, pero a nivel mundial destacan las siguientes industrias:

- NGK (Japón), Porcelana.
- SEDIVER (Francia), Vidrio y Sintético.
- LAPP (EE.UU), Porcelana y Sintético.
- SANTANA (Brasil), Porcelana

1.4.13. Polución

La polución al depositarse en los aisladores, puede disminuir sus cualidades eléctricas, hasta el punto de no poder soportar la tensión de servicio, sin frecuentes limpiezas o mantenimiento.

Desde hace mucho tiempo, los técnicos buscan métodos para disminuir la nocividad de esta polución, sea dando a los aisladores formas más apropiadas, sea aplicando en su superficie productos tales como grasas que absorben los depósitos, sea organizando campañas de limpieza bajo tensión, o sea aplicando en su superficie

un material semiconductor, para evitar la formación de esos pequeños arcos parciales que son uno de los procesos de las excitaciones. Todavía no ha sido encontrada una solución perfecta. Cuando los aislamientos acostumbrados no permiten una explotación satisfactoria de las líneas de transmisión, aisladores de formas más apropiadas bastan a veces para obtener el mejoramiento necesario; sin aumentar la longitud de las cadenas, luego el costo de las torres, o limitando razonablemente este aumento.

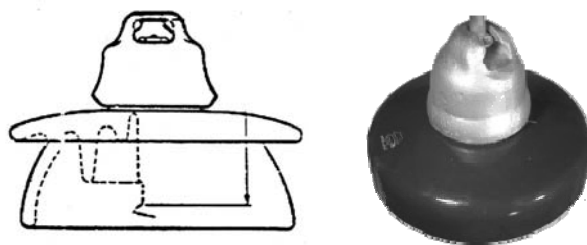


Figura 26. Aislador Smog-Type

La elección de la forma óptima requiere el conocimiento de la naturaleza de la polución, y de las condiciones atmosféricas y climáticas que conducirán los constituyentes a la superficie de los aisladores, pero que igualmente podrán limpiarla por lavado o sopladura. Así, la forma simple de las aletas de un aislador pueden facilitar su limpieza por el viento, mientras que ragueras excavadas en las aletas helicoidales del aislador son proyectadas para que la lluvia arrastre la polución que allí se deposite, regenerando parte de la pérdida de aislamiento. Los medios que se utilizan para luchar contra la polución, se eligen en cada caso, a fin de comparar sus costos con las pérdidas que evitan.

1.4.14. Perturbaciones en Alta Frecuencia (HF)

Corrientes parásitas cuya frecuencia se extiende en un amplio espectro de frecuencias, recorren los conductores. La mayoría de las veces son resultado de la ionización del aire, sometido a campos eléctricos elevados en la vecindad de los conductores y de los accesorios de la línea. Estas corrientes pueden perjudicar la claridad de la recepción de los mensajes, transmitidos en alta frecuencia por la línea, y de la de los emitidos por las estaciones de radio o de televisión captados en las cercanías. La amplitud de las corrientes perturbadoras causadas por los aislamientos, es habitualmente inferior a la de aquella generada por los cables. Como la nocividad de estas corrientes no es aditiva, la función de los aisladores resulta despreciable.

Sin embargo, ciertas imperfecciones afectan a los aisladores; contactos defectuosos entre las armaduras o los accesorios de las cadenas, pueden ser la causa de corrientes de alta frecuencia de amplitud nociva. Las ligaduras de anclaje de los cables en los aisladores rígidos pueden presentar los mismos inconvenientes, si se aplican imperfecciones en la garganta del dieléctrico. El estándar americano ANSI C 63-2-1963 y la publicación 1 de la CISPR, definen las características que deben poseer los aparatos de medición de perturbaciones. El estándar americano NEMA 107-1961 y la publicación IEC 1a proponen circuitos y métodos para medir las perturbaciones emitidas por los aisladores.

1.5 Soportes o Estructuras

La función de los soportes es mantener los conductores alejados entre sí y con el suelo, para evitar arcos entre conductores o problemas debajo y al lado de los mismos. La naturaleza de los soportes es muy variada, en los sistemas de transmisión suelen ser metálicos, concreto o madera, y su selección depende de un análisis económico. La materia prima de las estructuras ha sido siempre una respuesta a las facilidades de los recursos naturales lo cual ha desarrollado técnicas muy particulares en cada país. Venezuela en su etapa de iniciarse en estas nuevas técnicas ha tenido la oportunidad de ensayar experiencias de diferentes países y buscar costos menores. Los soportes deben ser resistentes a los agentes externos, tales como vientos, nieve, lluvia, etc., y además deben de brindar una facilidad de instalación.

En el diseño de una línea de transmisión deben considerarse no apartar más de lo necesario los conductores de los soportes, ya que la línea más económica resulta de un buen diseño de estas distancias.

Los soportes son estructuras destinadas para mantener en las líneas de transmisión aéreas, los conductores separados entre si y de tierra. Los soportes pueden ser básicamente de dos tipos:

- Postes.

- Torres.

La escogencia del tipo de soporte a utilizar en el diseño de una línea de transmisión y una configuración específica dependen de una multitud de factores relacionados entre los que se pueden mencionar:

- Factores económicos.
- Derecho de paso del recorrido de la línea, esto se refiere a los derechos de propiedad del terreno por donde pasa la línea de transmisión.
- Políticas y prácticas de la Compañía Eléctrica.
- Materiales a utilizar.
- Facilidad de acceso y montajes, topografía.
- Condiciones climáticas.
- Estéticas.
- Etc.

1.5.1. Postes

Se designan con este nombre los soportes de poca altura, de cuerpo vertical único; tales como los postes de madera y hormigón, y algunas veces también a los postes metálicos de gruesos perfiles no ensamblados, destinados a las líneas de media tensión.

Los postes metálicos se usan en redes y líneas de sub-transmisión, principalmente porque su fabricación está ubicada económicamente con limitaciones de altura. Un poste que excede de 45 pies ya resulta muy pesado además de elástico. Además estos postes no son auto-soportantes, o sea que siempre van a requerir el complemento de cientos. Eventualmente se usan estructuras las cuales permiten mayores esfuerzos, pero las mismas complicaciones los hace poco competitivos con otras soluciones que permiten vanos mayores; por otra parte es importante el hecho de que al no ser galvanizados sino pintados su mantenimiento es costoso, y deben ser pintados con frecuencia, esto oscila entre 6 meses y dos años, siendo la parte más afectada la sección de empotramiento y la zona de un metro arriba y debajo de la misma, por lo cual se ha adoptado por recubrir dicha parte con una chaqueta de hierro que va soldada al poste. También en este caso hay un exceso de material, porque la sección que se dan muchas veces son originales para evitar aplastamiento y no por los requerimientos del momento flector. El hecho de requerir vientos somete a los postes de hierro a compresiones que no siempre son verticales causando alabeamientos o curvaturas.

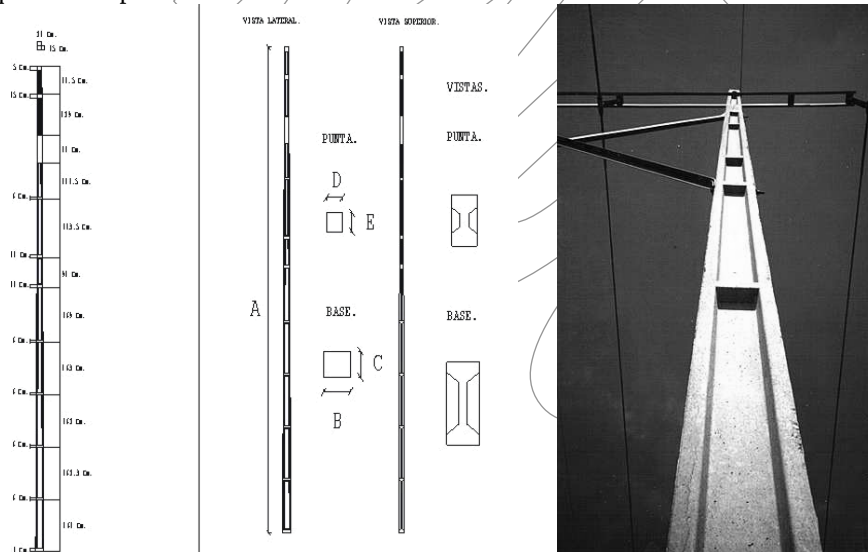


Figura 27. Poste Simple de Hormigón

Los postes de madera resultan de aplicación prácticamente nula, por su difícil consecución; estos postes resultan además poco uniformes y son relativamente pesados. A falta de preservación previa pueden deteriorarse muy rápidamente siendo la sección a ras de tierra la más afectada. Esto en lo que respecta a Venezuela. En países nórdicos tiene gran utilización, inclusive no solamente como postes solos sino como estructuras o torres.

La madera como tal tiene el inconveniente de que el grado de humedad le puede afectar su resistencia y por supuesto el proceso de producción requiere de grandes cuidados y técnicas avanzadas que van desde la época apropiada para hacer el corte hasta los procesos de secado e impregnación antes de salir al mercado. En los países nórdicos los postes de madera son muy utilizados ya que en ellos se producen grandes cantidades de coníferas, que por las características de esta madera de combinar esbeltez con alineamiento y además la disposición de los vasos prácticamente rectos, que permite el tratado de los mismos con materias que los ayudan a ser preservados de los agentes que más los atacan, humedad y animales. Las maderas tropicales por su parte, son aptas para producir postes porque sus vasos son sinuosos y es difícil lograr un árbol recto y largo como para sacar del un poste razonablemente económico.

El concreto ha tenido gran auge en el mundo especialmente en Italia y Alemania como material para los postes, en especial el *poste de concreto centrifugado*, y en otros como España y Francia el de *concreto vibrado*. Ha habido ensayos con postes de concreto pretensado y postensado, pero los resultados parece que no han sido competitivos económicamente. En líneas generales la utilización de los postes de concreto está limitada a terrenos planos de fácil acceso pues son relativamente frágiles y pesados. También son muy flexibles. Son muy convenientes en las cercanías del mar porque hasta preservarlos exteriormente con su tapaporos para que el salitre no los penetre y así no deteriore el acero, con lo cual no requieren de mantenimiento. Desde el punto de vista constructivos, pueden hacerse de diferentes longitudes, aumentándose un molde más en la base. Por lo general son estructuras siempre autosoportantes.

El poste de concreto centrifugado es tronco cónico hueco en su interior, y la pared la forman una armazón de cabillas longitudinales sostenidas en esa posición por anillos intermedios. Para soportar los esfuerzos de torsión es una técnica colocar dos alambres o cabillas helicoidalmente a todo lo largo del poste. En cada caso, la armazón se coloca dentro de un molde al cual se le vacía la cantidad de concreto requerida y de inmediato se somete a rotación, a una velocidad y durante un tiempo determinado; para que la cabilla colocada verticalmente se mantenga siempre a una distancia del borde se le colocan separadores de concreto antes de su vaciado.

Una vez que el poste ya se ha centrifugado se pasa a una curación a fin de lograr del concreto una debida resistencia, que por lo general es del orden de los 400Kg/cm^2 . El poste centrifugado resulta además de pesado un poco desperdiciado al material porque los esfuerzos en las líneas son diferentes transversal o longitudinalmente, y como el calculo debe satisfacerse en su mayor requerimiento, en un sentido quedan desaprovechados. A pesar que puede hacerse postes de bastante altura, sobre los 20 metros, y de lograr esfuerzos grandes, más de una tonelada por conductor, y de que para los esfuerzos que se requieren en los amarres y en los ángulos se hacen estructuras que por lo general llevan dos postes pero pueden aumentarse, no se pueden indefinidamente aumentar su tamaño ni los esfuerzos que se les impone: si constructivamente ello es posible, en la práctica eso se traduce en que cada unidad tiene un peso demasiado grande y se crean problemas de transporte al sitio, erección y fijación de una magnitud tal como se entra al campo de los requerimientos de recursos muy costosos siendo preferible buscar otras soluciones.

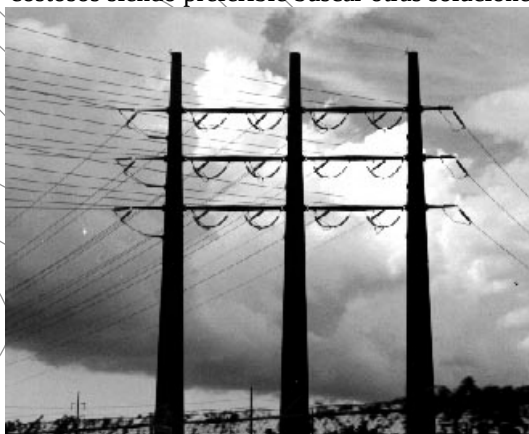


Figura 28. Ejemplo de Postes de Concreto Centrifugado. EE.UU.

Los postes vibrados, también utilizan moldes y el sistema varía en que no hay rotación de las piezas sino que se elaboran como una viga cualquiera de concreto. También se debe hacer primero una armazón de hierro, pero dado que su sección es rectangular, la utilización desde el punto de vista de flexión permite con menos material lograr momentos resistentes elevados. Sin embargo, esto implica que el poste solo puede

colocarse en una sola dirección en la línea. Su sección impide que se pueda colocar un alambre helicoidalmente y los esfuerzos de torsión que soporta pueden ser apreciables como una pieza, pero nunca se pueden calcular y menos garantizar.



Figura 29. Poste de Concreto Octogonal

Las limitaciones son similares a los postes de concreto centrifugado, o sea que a partir de los 15 metros las ventajas que tiene vienen a tener como contrapartida el gran peso y su fragilidad. La sección rectangular los hace fáciles de transportar y la colocación de elementos es más fácil también especialmente para combinarlos con las crucetas tradicionales de madera o de hierro y fijación mediante tornillo pasante solamente, para los cuales al poste se le provee en su parte superior una serie de huecos que no le afectan su resistencia.

A fin de hacerlo más liviano, no se ha rellenado completamente la sección y el aspecto es el de una escalera, salvo que no es transparente sino que entre armadura hay una capa de concreto menor. Esto a la vez que disminuye el peso tiene el inconveniente de que permite el escalamiento fácil por parte de personas ajenas a las líneas. Este inconveniente se obvió rellenando los espacios vacíos con un concreto pobre una vez de instalados. En Venezuela hasta la fecha el poste se ha empleado más favorablemente en redes y en líneas de sub-transmisión, aunque hay líneas en 115 kV y 30 kV donde se han utilizado.

En Venezuela los postes metálicos son muy frecuentemente utilizados, para los sistemas de distribución, siendo ocasionalmente utilizados los de hormigón, en ambientes marinos o de muy alta polución. Los postes son escasamente utilizados en líneas de transmisión, siendo contrariamente preferidos para líneas de subtransmisión (24 y 34.5 kV). En el país hay varias fábricas de postes que suplen la demanda nacional, utilizada el metal nacional y su presentación es pintado con pintura anticorrosiva exterior.

1.5.2. Torres

Con el nombre de torres, se denominan a los soportes metálicos de elementos ensamblados, destinados a la mayoría de las líneas de transmisión de energía en alta tensión. Quizá el más difundido de los materiales usados para líneas de transmisión es el acero especialmente en forma de perfiles o ángulos. Existen en países industrializados empresas destinadas exclusivamente a producir una gama muy amplia de perfiles inclusive a producir con resistencias mayores de las normales, con lo cual se logra bajar el peso final de las estructuras. Esto unido a un mercado mundial pone en situación ventajosa a dichas fábricas en los que a costos refiere. En Venezuela se importaron torres, hasta hace pocos años, y se inició la construcción de ellas en el país utilizando perfiles nacionales, aunque en los primeros pasos era necesario la importación de materia prima por la poca diversidad de productos de la siderúrgica nacional; esto es un aspecto bastante importante aun hoy en día; y que incide en los costos; porque si bien es cierto que la gama de perfiles es amplia, no puede lograrse que ella sea tan fina como para ajustarse exactamente a los requerimientos de cálculos y deben colocarse perfiles más pesados donde los requerimientos mecánicos permitirían menores secciones de acero. El resultado es una estructura más pesada.



Figura 30. Torre de 400 kV, de la empresa EDELCA

El acero debe galvanizarse para evitar su deterioro, y este es un proceso que se lleva a cabo en baños en caliente. La capa de zinc que se adhiere íntimamente al acero, lo protege casi indefinidamente. Los diferentes miembros se unen con tornillos también galvanizados, y en los puntos de concurrencia de varios perfiles se utilizan piezas planas o que forman ángulos llamadas cartelas. Los perfiles van perforados al baño galvanizado, para que su protección sea total, y debe evitarse cortes o limaduras a los perfiles terminados pues eso introduce puntos débiles en la estructura.

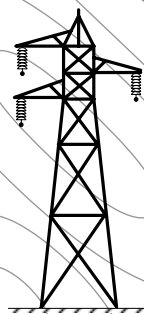
1.5.3. Clasificación de los Soportes

Los soportes pueden ser clasificados según:

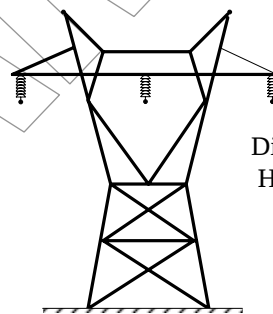
- o Su habilitación.
- o El tipo de fundación utilizada.
- o Su amplitud para resistir los esfuerzo longitudinales.

En los soportes según la habilitación utilizada se distinguen dos grandes clases:

- Sistema de fases Escalonadas.
- Sistema de fases Horizontales.



Disposicion
en Triangulo
Equilatero



Disposicion
Horizontal

Figura 31. Tipos de Torres

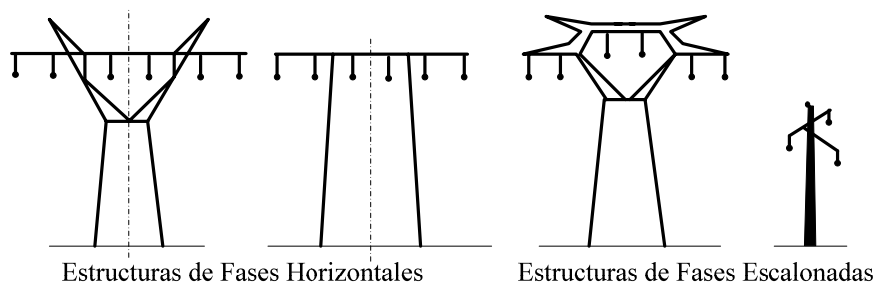


Figura 32. Tipos de Torres

1.5.4. Sistema de Fases Escalonadas

En este tipo de torres los conductores se disponen a niveles de altura diferentes. Distinguiéndose las torres de triángulo, de bandera, de doble bandera y de doble triángulo; siendo estas las torres de mayor uso.

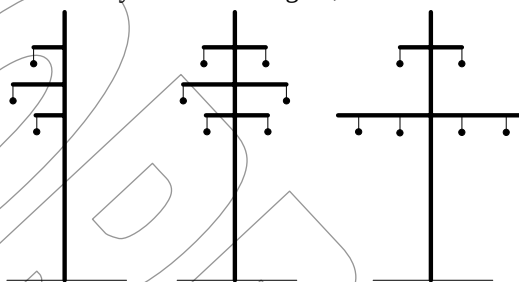


Figura 33. Torres de Fases Escalonadas

El sistema de fases escalonadas comprende esencialmente las torres de cuerpo único vertical, que permiten la utilización de un solo cable de guarda, dispuesto en la parte superior de la estructura. El cable de guarda cuando existe, permite una buena protección de las fases de la torre contra descargas atmosféricas (rayos).

Este tipo de soportes presenta la ventaja de facilitar el empleo de estructuras isostáticas, o asimiladas (torres de celosía simples o múltiples) permitiendo obtener generalmente cargas iguales, es el tipo de estructura más económica. Este tipo de torre posee el inconveniente, que al ser utilizadas en grandes tramos, se deben ejecutar estructuras de gran altura, más sensibles a las descargas atmosféricas (rayos) que aquellas con conductores dispuestos de manera horizontal, necesariamente mucho menos elevados; además la estrechez de la estructura en la parte superior no proporciona buena resistencia mecánica a las solicitaciones de torsión. La segunda clase de soportes es aquella en que los conductores se disponen a un mismo nivel de altura, o en niveles poco diferentes. Entre este tipo de soporte se incluyen: las torres o pórticos de capa horizontal, postes con habilitación de capa abovedada y torres de tipo gato. Estas torres de cuerpo único, están provistas de una viga, en la parte superior, que reposa directamente o por intermedio de patines en los extremos de una horquilla; las dos ramas de esta horquilla están ensambladas en su base, en el cuerpo al mismo nivel, formando lo que se conoce como corsé. Este tipo de torre se dice que es un sistema hiperestático.

1.5.5. Sistema de Fases Horizontales

La disposición de las fases en capa horizontal, implica la utilización de dos cables de guarda, los cuales se disponen a ambos lados del eje de la viga, y generalmente desviados hacia las fases exteriores.

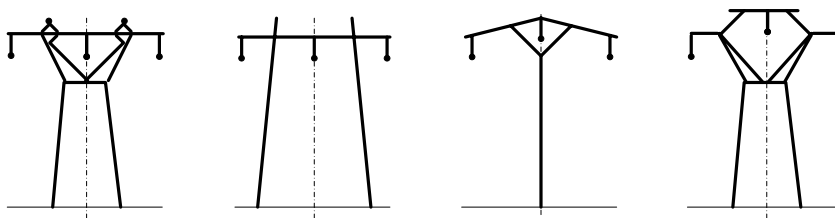


Figura 34. Torres de Fases Horizontales

Este tipo de soporte conduce a estructura de menor altura, que la disposición de las fases en varios niveles, reduciendo el riesgo de excitación por descarga atmosférica (rayo).

El riesgo de acercamiento de las fases por efecto del viento son menores en la disposición horizontal.

Por la forma de diseño, las estructuras de este modo, deben resistir una fuerte concentración de esfuerzos horizontales al nivel de la viga. La construcción, fabricación y levantamiento de las *torres de capa horizontal* es menos fácil que las de las torres de fases escalonadas y requiere la utilización de mano de obra más especializada., peso a estos inconvenientes, este tipo de estructura se prefiere frecuentemente para las líneas de 225 y 400 KV, con la posibilidad de cambiar de habilitación en la proximidad de los centros urbanos.

En Venezuela la utilización de torres de capa horizontal es ampliamente difundida, casi con exclusividad por las líneas de transmisión aéreas de 400 y 765 kV. En el caso particular de la línea de transmisión de 765 KV en el recorrido entre Gurí y Malena, con una distancia de 153 e instalada en el año de 1985, posee 325 torres en disposición en capa horizontal, con una altura promedio de 44.9 m y una separación entre grupos de conductores de fase de 15 m, durante el recorrido de la línea se hacen necesarios cruces muy especiales en que las dimensiones de las torres varía.

1.5.6. Clasificación de los Soportes según el Tipo de Fundación Utilizado

La fundación, es la estructura de obra civil, encargado se realizar el sustento en el suelo del soporte, de acuerdo a el tipo de ellas utilizadas los soportes pueden ser clasificados en:

- *Soporte de fundación simple o única (fundación monópoda)*: Son fundaciones especialmente utilizados para postes pequeños, por lo general de hormigón.

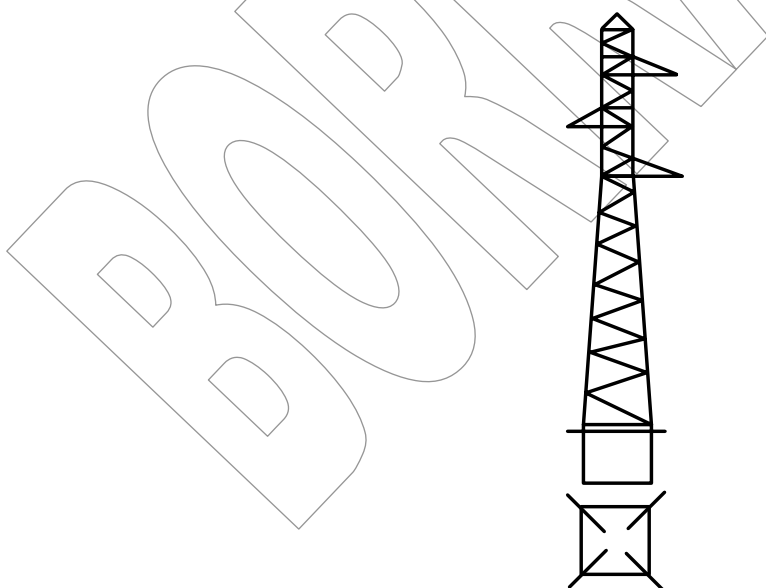


Figura 35. Torre de Fundación Simple

- *Soporte de fundación doble (fundación bípoda)*: Es una transición de las fundaciones tetrápodas, se orienta a grandes estructuras con mayores dimensiones.

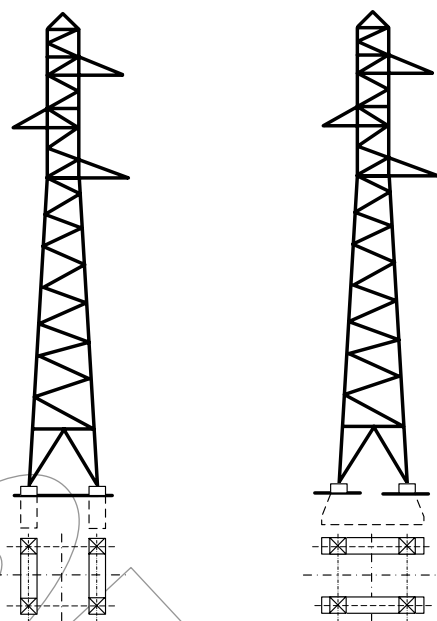


Figura 36. Torre de Fundación Bipodas

- *Soporte de fundaciones separadas o independientes (fundación tetrapoda):* Es el tipo más adelantado, esta fundación solo experimenta esfuerzo de compresión y arrancamiento, siendo secundario los de volteo, son especialmente utilizadas en grandes torres, pero plantea problemas delicados en terrenos de calidad dudosa (terraplaneados recientes, arcillosos plásticos, etc.), pero son muy fuertes por el contrario en soportes con pilotes.

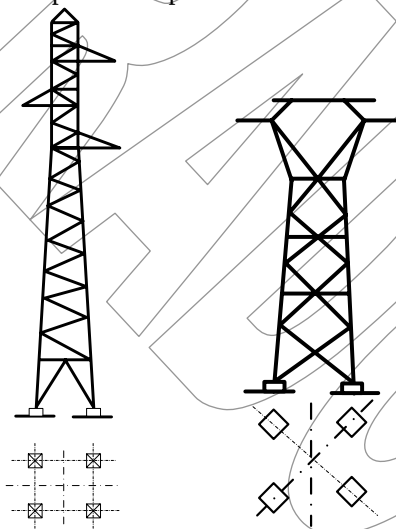


Figura 37. Torre de Fundación Independiente

1.6 Clasificación de las Torres según su Resistencia a los Esfuerzos Longitudinales

Esta clasificación comprende tres tipos principales de estructuras:

- *Torres Semirígidas:* Poseen pocos o nulos esfuerzos longitudinales, por economía poseen torres de sección rectangular sin justificación técnica precisa.

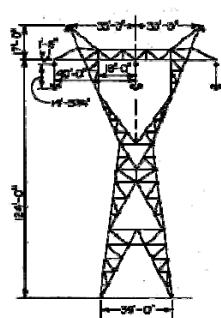


Figura 38. Torre autosoportante de 500 kV. Tennesse Valley Authority

- *Torres Rígidas:* La rigidez de la estructura debe responder a condiciones precisas, deben ser diseñadas para satisfacer hipótesis determinadas, de esfuerzos longitudinales y transversales, y otras tensiones simultáneas.

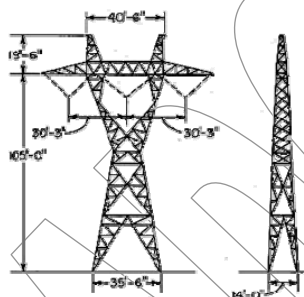


Figura 39. Torre Semiflexible de Acero, 500 kV. Arkansas Power and Light Company

- *Torres Flexibles:* Es una estructura con un campo de deformaciones elásticas mayor a las anteriores en las estructuras metálicas. En este tipo la estabilidad del conjunto está ligada estrechamente a la conservación de las formas geométricas elementales de cada una de las partes de la estructura. Son especialmente en terrenos de poca variación en su declive y en vanos relativamente cortos.

1.7 Fabricante de Torres de Transmisión en Venezuela

En Venezuela existen varias compañías dedicadas a la fabricación de elementos para la construcción de torres de transmisión, entre ellos se encuentran:

- Aceros Galvanizados P&M (Maracay, Edo. Aragua)
- ABB SVECA SADE (Santa Teresa del Tuy, Edo. Miranda)
- HELESA (Barquisimeto, Edo. Miranda)
- SOMANI (Santa Teresa del Tuy, Edo. Miranda)

En la mayoría de las empresas se utiliza el acero al Carbón del tipo ASTM A36, A572, utilizando en ocasiones el proceso de galvanización en caliente.

Venezuela como un país rico en minerales, produce para la exportación torres de transmisión a nivel internacional como TEYMA (Uruguay), AEG (Paraguay), COMELSA (Perú), TECHINT (México), ICE (Costa Rica), ENDESA (Chile), etc.

Cabe señalar que en Brasil se someten a pruebas de tensión y torsión para conocer y garantizar la resistencia mecánica de las torres, dichas pruebas incluyen el someterlas a tensiones eléctricas simuladas para así asegurar la resistencia a descargas eléctricas por altas tensiones.

1.8 Configuraciones Típicas en Torres de Transmisión en EHV (Extra Alta Tensión) 242-1600 kV

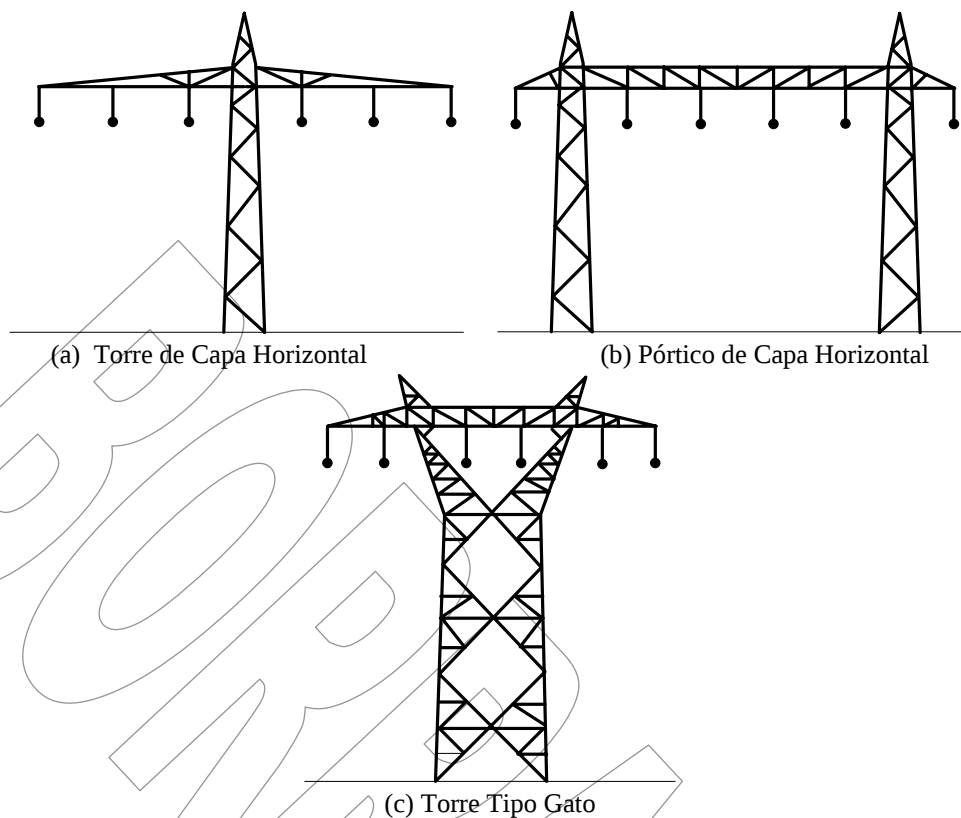


Figura 40. Torres tipo Capa Horizontal, y Tipo gato

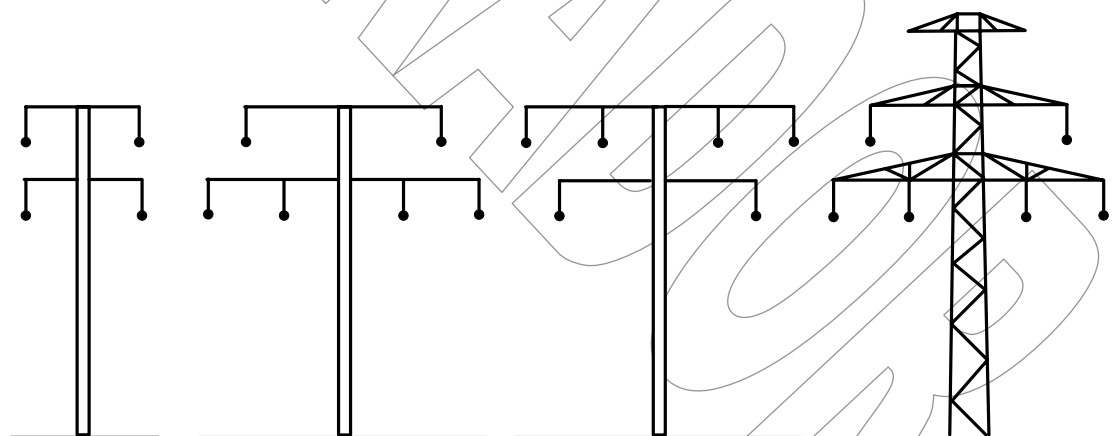


Figura 41. Torres de Fases Escalonadas

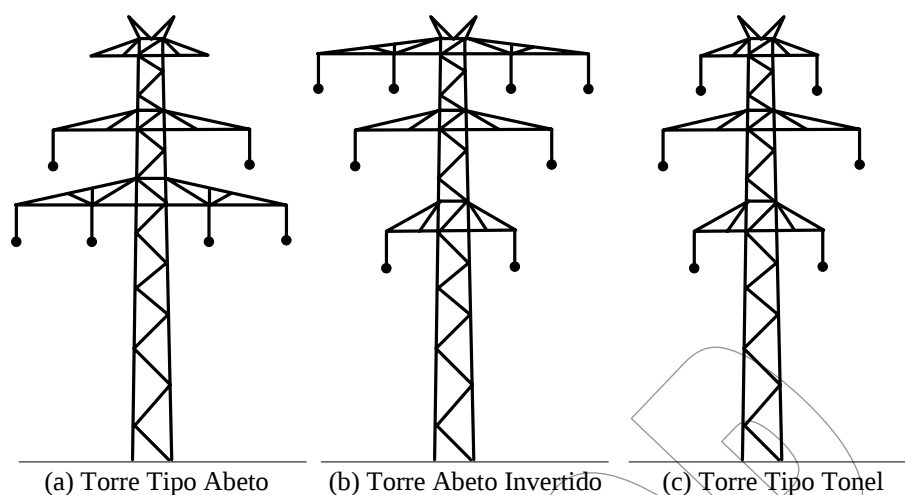


Figura 42. Torres de Fases Escalonadas

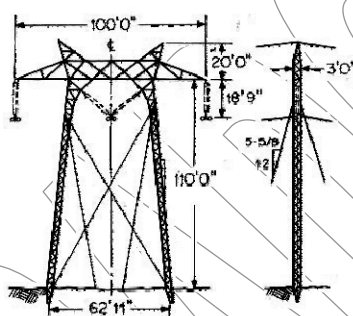


Figura 43. Torre de Acero de 500 kV usada en zonas montañosas por *Pacific Gas and Electric Company*

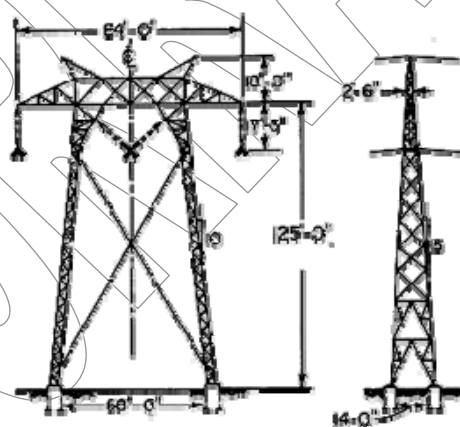


Figura 44. Torre de acero para Valles usada por *Pacific Gas and Electric Company*

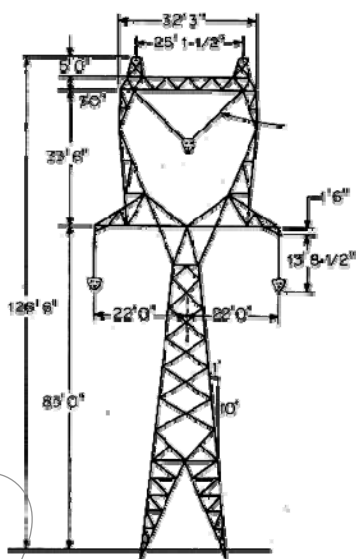


Figura 45. Torre de Suspensión de 500 kV. *Bonneville Power Administration*

1.9 Herrajes en Línea de Transmisión Aéreas

Los Herrajes son estructuras metálicas que acompañan la estructura de soporte de las líneas de transmisión aéreas, y que poseen muy variadas funciones. Una de las clasificaciones más común empleada es aquella que los incluye en dos grandes grupos:

- Herrajes que forman arreglos o conjuntos
- Herrajes independientes

Algunos autores, realizan otras clasificaciones pero no es incumbencia de este trabajo realizar un fiel y completo análisis de los sistemas de herrajes, esto se deja para otros cursos.

1.10 Herrajes que Forman Arreglos o Conjuntos

Los herrajes que forman arreglos son conjuntos de piezas metálicas que se agrupan para llevar a cabo una función muy particular. La selección de cada uno de los herrajes que conforman el arreglo no puede ser realizada sin tomar en cuenta el conjunto y los elementos a los cuales acopla. Los herrajes en arreglos pueden ser:

- Herrajes de Fijación de cadena de aisladores a torre.
- Herrajes para unir entre sí los extremos de la cadena de aisladores y los conductores.
- Herrajes para proteger los aisladores.
- Mordazas de amarre y suspensión
- Herrajes para el cable de guarda.

1.10.1. Herrajes para la fijación de aisladores a las torres

Para llevar a cabo la fijación de las cadenas de aisladores a las torres, existen básicamente dos alternativas, los grilletes y las articulaciones de fijación tipo bisagra (*hinge*).

En las líneas de transmisión aéreas de la empresa CADAFE de 115 y 230 KV se suelen emplear grilletes, mientras que en las líneas de 400 KV, en las cadenas de suspensión se prefiere las articulaciones de fijación tipo bisagra (*hinge*). La razón de ésta preferencia radica en que el área de contacto eléctrico del elemento de fijación (*hinge*) con la torre en las líneas de 400 kV es mayor y esto proporciona mayor seguridad. Es importante, señalar que el uso de uno u otro elemento de fijación condicionan el diseño del elemento de la torre (*ménsula*) donde se fija la cadena.

1.10.1.1. Grillete

El grillete es un herraje que tiene como función fijar mecánicamente la cadena de aisladores a la ménsula de la torre de transmisión. El grillete consta de dos (02) partes: el cuerpo, formado por una barrera de acero cilíndrica doblada en forma de “U” con dos agujeros en sus extremos, en donde se introduce un pasador que lo sujeta a la torre. El pasador puede trancarse con distintos grados de seguridad de tres maneras: con cupilla, con tornillo y tuerca y con cupilla, tornillo y tuerca al mismo tiempo.

La empresa venezolana CADAPE, en la práctica suele emplear el tercer sistema, que brinda la máxima seguridad en la fijación del grillete.

Se suele en ocasiones distinguir los grilletes de amarre y grilletes de suspensión, dependiendo del tipo de cadena de aisladores que se trate. En condiciones normales las tensiones mecánicas a las que están sometidos las cadenas de suspensión son inferiores a las tensiones que están sometidos las cadenas de amarre. Sin embargo, las cadenas de suspensión deben diseñarse previendo el caso de ruptura del conductor. En esta situación, las cadenas de suspensión, quedan sometidos a esfuerzos similares a los de las cadenas de amarre. De allí que se emplee el mismo tipo de grillete para los dos tipos de cadena.

El grillete debe estar construido para resistir una tensión de ruptura mínima igual o superior a la tensión de ruptura de la cadena de aisladores y de los conductores. Para algunos casos de cadenas de aisladores, donde se requiere rotar el plano de sujeción 90° , se han desarrollado y se ofrece el grillete riverado.

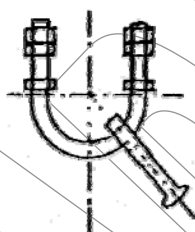


Figura 46. Grillete

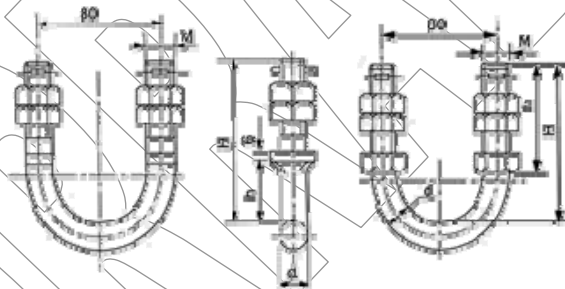


Figura 10. U bolts

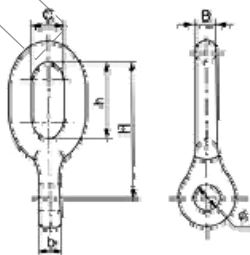


Figura 11. Conexión de Ojo

1.10.2. Articulación de Fijación Tipo Bisagra (Hinge)

Con el fin de fijar la cadena de aisladores a la torre, se emplea este tipo de bisagra, formado por una pieza o lámina única doblada, la cual abraza a un pasador que se fija a la ménsula de la torre. La principal diferencia

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

de la bisagra con el grillete radica en que el área de contacto eléctrico es mucho mayor, lo cual lo hace recomendable particularmente para muy altas tensiones eléctricas de operación.

Al igual que el grillete, la articulación de fijación debe estar construida con una tensión mecánica de ruptura igual a la cadena de aisladores y superior a la de los conductores.

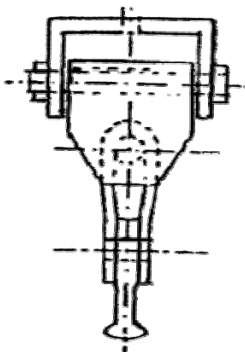


Figura 12. Bisagra Tipo Bola

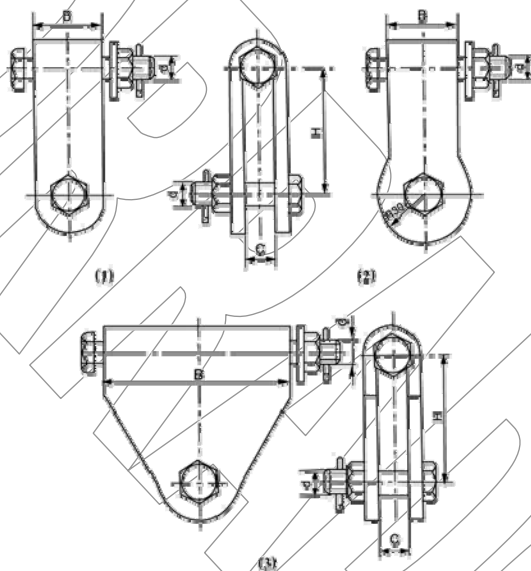


Figura 47. Bisagra Tipo Clevis

1.10.3. Herrajes para Unir entre sí los elementos de la cadena de aisladores y los conductores

Además de los elementos que se utilizan para fijar directamente la cadena de aisladores a la torre, en las cadenas de aisladores se emplea una serie de herrajes que permiten unir entre sí mecánicamente los diversos elementos que conforman la cadena.

En estos herrajes del ensamble de las cadenas de aisladores y los conductores se incluyen:

- Ojo bola y anilla bola.
- Yugos.
- Rótula ojo, Rótula anilla y Rótula Horquilla.
- Horquilla ojo y Horquilla Bola.
- Doble ojo, Doble ojo Revirado, Ojo Anilla Revirado.
- Eslabón o Anilla.
- Tensores.
- Extensores:
 - o Horquilla Ojo (Cortas, Largas y Reviradas).
 - o Anilla Ojo (Cortas, Largas y Reviradas).
 - o Doble ojo o Doble Anilla (Cortas, Largas y Reviradas).

1.10.4. Ojo Bola y Anilla Bola

El ojo bola y anilla bola están constituidos, como su nombre lo indica, por un ojo o una anilla unida a una bola, lo cual se inserta en la cavidad del aislador. La diferencia entre ambos radica en que en un caso se emplean un ojo (aro) y en el otro caso un anillo elíptico. El ojo bola, por permitir solo uso de un pasador permite un ajuste más completo. La anilla bola permite el paso de cualquier pieza y por ello el ajuste es mucho más holgado. El anillo bola se emplea en las cadenas simples para articular el grillete con los aisladores. El ojo bola se emplea en las cadenas de aisladores, para articular el yugo con los aisladores. Estos herrajes se fabrican en acero forjado y galvanizado. Las dimensiones básicas están normalizadas a nivel internacional por la IEC en correspondencia con los aisladores (rótula y bola) de acuerdo con la publicación 120.

Ambos elementos cumplen, en el caso de las cadenas simples de aisladores, la misma función, unir mecánicamente el primer aislador de la cadena al herraje que fija toda la cadena a la torre, y de unir el primer aislador al yugo triangular en las cadenas dobles.

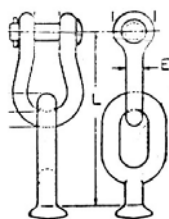


Figura 48. Ojo Bola con Grillete

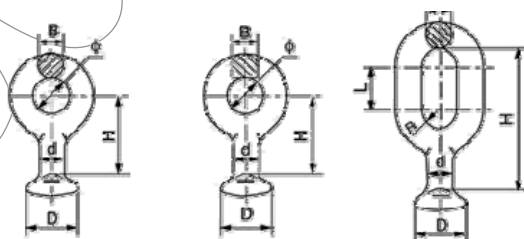


Figura 13. Ojo Bola

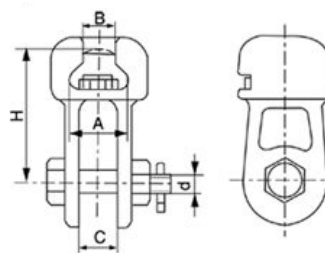


Figura 14. Bola Socket

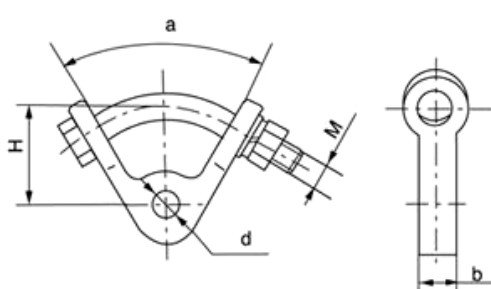


Figura 15. Ojo Tipo Clevis

1.10.5. Yugo

En las cadenas de aisladores dobles de amarre y de suspensión, para uno o dos conductores por fase o en las cadenas simples con dos conductores por fase, el yugo tiene como función proporcionar un elemento de fijación común a las cadenas de aisladores y para el o los conductores de cada fase.

El yugo puede tener muchas formas (triangular, trapezoide o recto), para líneas con 1,2 o más conductores por fase, y están contruidos en acero forjado o galvanizado. El yugo puede ser constituido de varias maneras:

1. Yugo formado por láminas en forma triangular, trapezoidal o recta, colocadas paralelamente, una sobre la otra, separadas entre sí por medio de un juego de pernos fijos, que aseguran la unidad y rigidez de la estructura (yugo tipo hembra). Este yugo además tiene varios pernos móviles o pasadores a los que se sujetan los herrajes que deben unirse a esta estructura.
2. Una segunda modalidad es construirlo en una pieza única en forma triangular, trapezoidal o rectangular, que presenta agujeros donde se articulan los demás herrajes (yugo tipo macho)
3. Otra modalidad menos frecuente a las anteriores es la de una lámina en forma de cuadrado o rectángulo, que se dobla en forma de "U", tomando lugar a una estructura donde se pueden fijar los herrajes, a través de agujeros, por medio de pasadores o grilletes u horquillas (yugo tipo hembra).

La modalidad de construcción tiene gran importancia desde el punto de vista que esto determina el tipo de herrajes que se pueden y no articular el yugo. En el caso de los yugos tipo hembra, los herrajes adecuados a articularse son los que presentan ojos o anillos. En el de los yugos tipo macho, los herrajes son del tipo horquilla. Al igual que los otros herrajes que forman la parte de la cadena de aisladores, los fabricantes dimensionan las diferentes variedades de yugo asociados con las normas IEC.

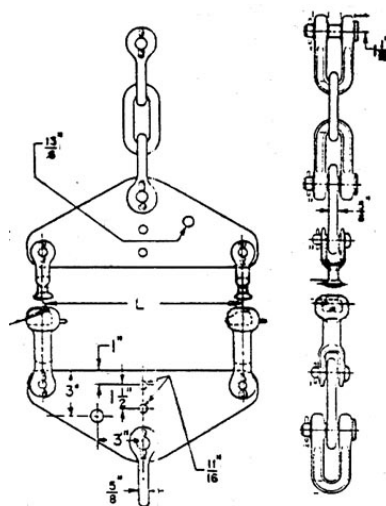
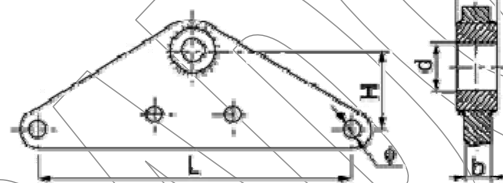
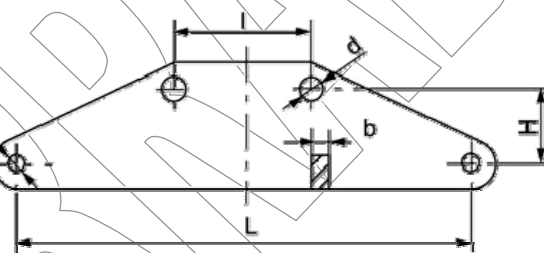


Figura 49. Yugo de Forma de Pirámide

Yoke Plates (Type L)



Yoke Plates (Type LS)



Yoke Plates (Type LK)

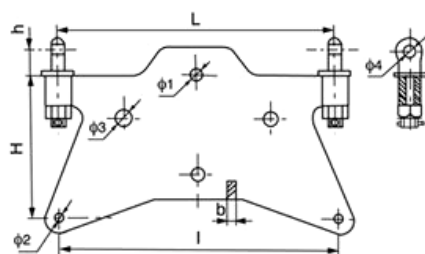


Figura 16. Diferentes Tipos de Yugos

En el caso de que se requieren la utilización de varias cadenas en paralelo se utilizan los yugos, los cuales pueden ser planos para el cada de 2 o 3 conjuntos y en forma de pirámide cuando son más numerosos, bien sólidos o formados por cilindros.

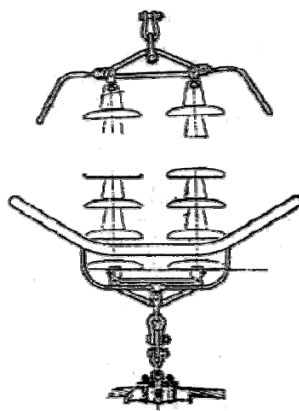


Figura 50. Yugo Cilíndrico

1.10.6. Rótula Ojo, Rótula Anillo y Rótula Horquilla

Son herrajes que permiten acoplar el último aislador de la cadena con el yugo o con la mordaza de amarre o suspensión. En el caso particular de la empresa venezolana CADAPE, el último aislador de la cadena terminan en bola.

Estos herrajes están constituidos por una rótula o cavidad y un ojo, una anilla o una horquilla, dependiendo del caso, que se articula con el herraje que se une la cadena de aisladores con la mordaza. Estos elementos deben construirse, dependiendo del tipo de cadena y de los conductores, de tal manera que la tensión de ruptura del conjunto (ya sean cadenas simples o dobles) sea superior a la tensión de ruptura del conductor.

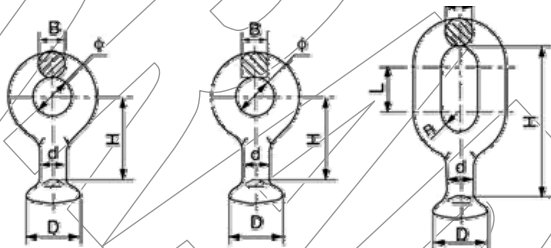


Figura 17. Ejemplo de Rotula Ojo

1.10.7. Horquilla Ojo, Horquilla Bola y Horquilla Anillo

Este tipo de herraje constituye una posibilidad para enlazar entre sí los yugos tipo macho con los herrajes de la cadena que sustentan o amarran a los conductores con los aisladores. Estos herrajes por un extremo presentan una horquilla y por el otro lado un ojo, que se puede articular a otros herrajes. Se suelen construir de hierro forjado y galvanizado.

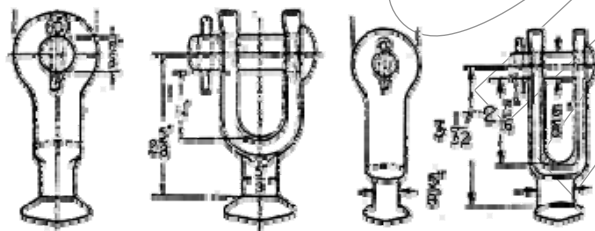


Figura 51. Horquilla Bola

1.10.8. Doble Ojo, Doble Ojo Revirado, Ojo Anillo y Ojo Anillo Revirado

Estos herrajes poseen la función de unir el grillete con el yugo triangular superior de la cadena de aisladores y el yugo inferior con la mordaza, en las líneas de dos conductores por fase. El Doble Ojo es una pieza única con dos ojos circulares de igual diámetro. El Ojo Anillo está constituido por un ojo y un anillo. Esta última se enlaza al grillete. El circular, de menor diámetro, se fija al yugo triangular por medio de un pasador que forma parte del yugo. El Doble Ojo Revirado y el Ojo Anillo Revirado presenta cada ojo (o anillo), en planos perpendiculares (girados 90°), y constituye una manera de articular entre sí elementos de la cadena cuando estos están en planos distintos.

1.10.9. Eslabón o anillo

El eslabón cumple la misma función del doble ojo, sin embargo, su constitución es diferente a este. El eslabón está formado por una pieza única de forjada forma ovalada, que permite articular el grillete de sujeción a la torre con el yugo. Los eslabones se fabrican en acero forjado y galvanizado en caliente.

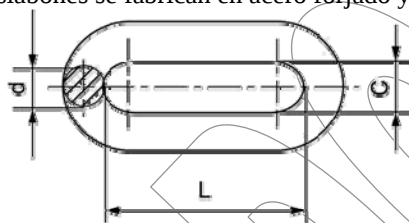


Figura 18. Eslabón o Anillo

1.10.10. Tensores o Riostra

Con la moderna tendencia de utilizar varios conductores por fase han surgido los separadores como una necesidad de atender los requerimientos de mantener los conductores a la distancia prevista.

El tensor o riostra es un herraje que se emplea en líneas de transmisión con más de un conductor por fase, con el fin de lograr un ajuste óptimo entre los conductores que conforman la fase, de tal manera que mantengan la geometría de los conductores a lo largo del vano. Los hay que son una barra rematada en dos conectores en cantidades y disposición conforme a los conductores que han de sujetar.

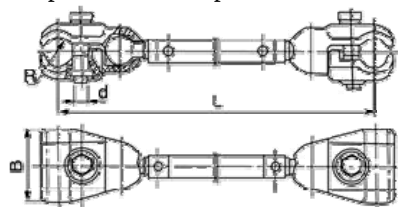
Las formas adoptadas son las siguientes:

- *Grupo de dos conductores:* se adopta la disposición en capa; los conductores elementales son suspendidos al mismo nivel y tendidos con la misma flecha, son mantenidos a una distancia constante, por piezas elementales de conexión horizontal denominadas riostras. Este método de conductores paralelos se utiliza pocos por los inconvenientes que traen.
- *Grupo de tres conductores:* se adopta la disposición en triángulo equilátero, pasando el eje vertical del grupo por el conductor superior.
- *Grupo de cuatro conductores:* se adopta la disposición en cuadrado (dos grupos de dos conductores superpuestos).
- *Grupo de seis conductores:* se adopta la disposición en hexágono.
- *Grupo de ocho conductores:* se adopta la disposición de octágono.

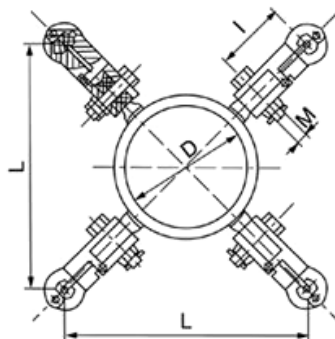
Para las tensiones de hasta 400 kV se elige en general grupos de dos, tres y excepcionalmente cuatro conductores. Para tensiones de 750 kV o más se adoptará preferentemente grupo de seis, ocho o más conductores. En Francia, el grupo de dos conductores tiene una separación de 40 cm es el único utilizado corrientemente en líneas de 400 y 225 kV. En Venezuela las líneas de transmisión de 765 kV de la empresa EDELCA, poseen riostras de cuatro conductores en forma de cuadrado de 45 cm por lado, y la empresa CADEFE, utiliza riostras dobles en sus sistemas de 230 y 400 kV. Las riostras, por lo general, se construye en acero forjado y galvanizado en caliente y sus dimensiones están determinados por los herrajes a él acoplados y el rango de ajuste requerido. También se ha desarrollado los de puente elástico con la idea de permitir ciertos desplazamientos horizontales entre los conductores de una fase.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento.

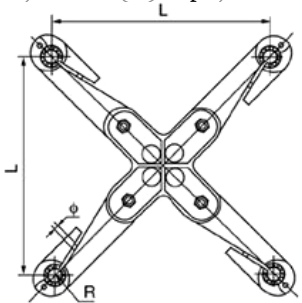
Estos herrajes aseguran una separación uniforme entre los conductores de una misma fase, tanto en condiciones normales como en condiciones de ruptura de la línea o cortocircuito. Existen tres tipos de separadores: rígidos, flexibles y los separadores amortiguadores. En CADAFE, empresa venezolana, se emplea por lo general los separadores flexibles y con mucha menor frecuencia los espaciadores amortiguadores. La empresa EDELCA, en Venezuela, utiliza en sus líneas de transmisión, separadores amortiguadores, a los cuales le realiza pruebas de laboratorio tales como: Prueba de fatiga, de desplazamiento longitudinal y envejecimiento, además de pruebas de campo.



(a) Dos Conductores



(b) Cuatro Conductores Típico de líneas de 500 kV

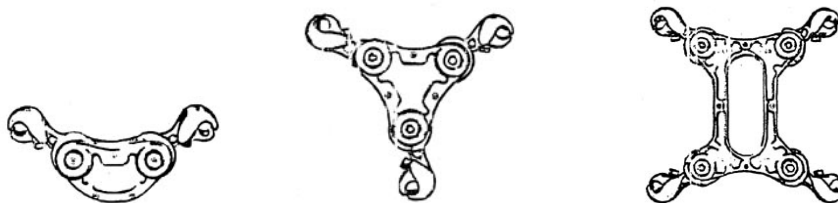


(c) Cuatro Conductores

Figura 19. Espaciadores Rígidos

1.10.11. Riostras o separaciones con Amortiguamiento

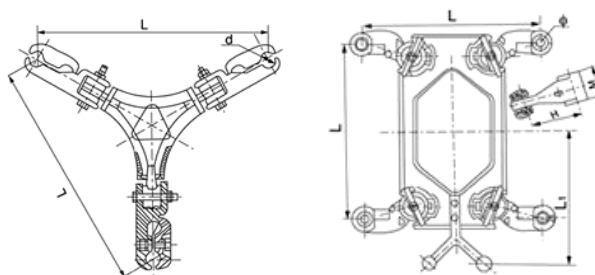
Dada la tendencia de utilización de varios conductores por fase, el requerimiento de amortiguar las vibraciones en los conductores, han aparecido separadores de diferente tipo pero con la misma idea de utilizar un material flexible que se encargue de este problema actualmente hay dos tipos, uno basado en la torsión de este material elástico, y otro en su compresión: según resultados de pruebas en laboratorios de ensayos, el último ha dado mejores resultados de comportamiento, naturalmente se construyen para un diverso numero de conductores por fase.



(a) Dos Conductores

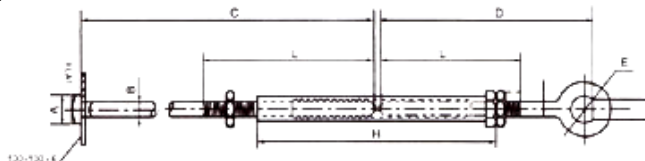
(b) Tres Conductores

(c) Cuatro Conductores

Figura 52. Riostra espaciadora y Amortiguada**Figura 53. Riostra Espaciadora y Amortiguada**

1.10.12. Extensiones

Las extensiones o alargaderas son dispositivos que se instalan en las cadenas de amarre cuando se emplean mordazas del tipo pistola, con el fin de asegurar que el tramo del conductor que sale de la parte trasera de la mordaza no este en haga contacto con los aisladores. Las extensiones se fijan por un lado a la rótula y por el otro a la mordaza. Las extensiones deben cumplir con las especificaciones de la cadena, en cuanto a las tensiones mecánicas a que están sometidos los distintos elementos de la misma.

**Figura 20. Varilla de Extensión**

1.11 Herrajes para proteger los Aisladores

Adicionalmente a la protección que brinda el cable de guarda y el sistema de puesta a tierra, en las líneas de alta tensión, particularmente en los sistemas de tensión superior a 230 KV, se debe proteger a los aisladores de los arcos eléctricos originados por sobretensiones, por medio de un conjunto de dispositivos de protección, entre los cuales son de uso frecuente: los cuernos de descarga o antenas superiores e inferiores y anillos de protección.

1.11.1. Cuernos de Descarga (Spark Gaps)

Están constituidos por un par de electrodos conectados a fase y otro a tierra en los extremos de la cadena de aisladores. Se utilizan para alejar el arco de la cadena de aisladores, cuando se produce una sobretensión (rayo directo a la línea), de manera que protege la cadena de su destrucción. Una alternativa para no utilizar los cuernos de descarga es ampliar el tamaño de la cadena, pero esto resulta poco económico.

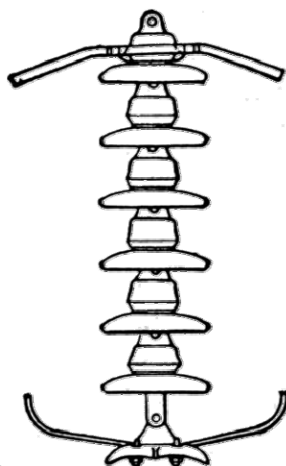


Figura 54. Cadena de Suspensión con Arcing Horns

El diseño de los cuernos de descarga debe asegurar que las sobretensiones que eventualmente pueden afectar a la línea, no afecten a los aisladores.

Anillos de Protección

Para incrementar el grado de protección, se emplean anillos de protección, los cuales se instalan en ambos extremos de la cadena de aisladores combinados con los cuernos.

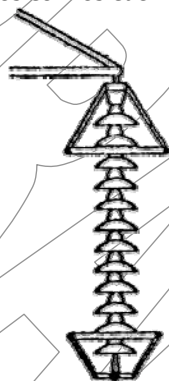


Figura 55. Anillos de Protección en Cadena de suspensión, en ambos extremos

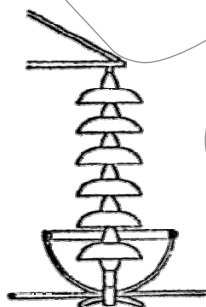


Figura 56. Anillo de protección en un extremo de la Cadena de Suspensión

A fin de lograr una mejor distribución del gradiente de potencial entre los aisladores de una cadena, y además disminuir la distancia por aire conductor masa, se colocan en las mordazas anillos cuya forma va desde un toro convencional hasta formas similares a silla de montar, con lo cual se cubren los primeros aisladores de la cadena del tipo de la mordaza.

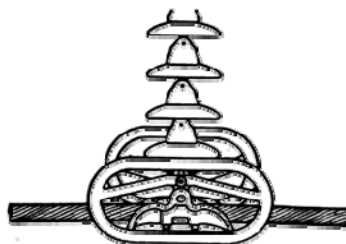


Figura 57. Anillo de Control. Ohio Brass Company

Eventualmente estos anillos no se colocan y en su lugar se fijan bigotes, que no son más que unas cabillas en los extremos de los aisladores, la distancia de cuyos terminales se ajustan en razón del voltaje de operación a esperarse. Esta forma está más ampliamente utilizada en los *bushing* de los transformadores.

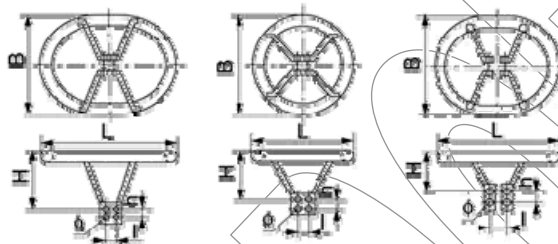


Figura 21. Anillos de Apantallamiento o de efluvios

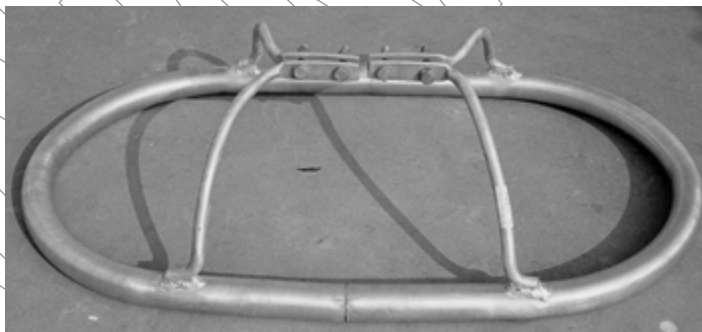
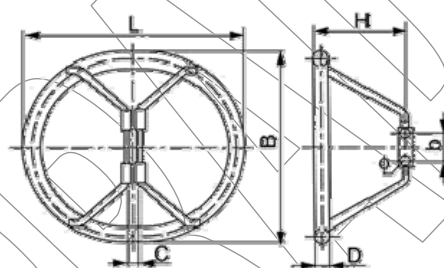


Figura 22. Ejemplo de un Anillo de Efluvio

Mordazas (Clamp)

Las mordazas son los elementos de unión del conductor a las cadenas de aisladores y por lo tanto responden a las funciones de aquellas: hay dos tipos: de suspensión y de amarre; las de suspensión, constituyen un soporte que cuelga de un balancín; para lo cual tienen un cuerpo acanalado unitario con un pasador, y en este canal se aloja el conductor.

1.11.2. Mordazas de Suspensión

Constituye un soporte, que cuelga de un balancín el cual tiene un cuerpo acanalado con un pasador y en ese canal se aloja el conductor, para evitar el desplazamiento del mismo, otra pieza acanalada completa la fijación, apretando el conductor mediante una abrazadera en forma de "U". En las cadenas de suspensión, las mordazas de este tipo están formadas por un elemento tipo "bandeja" donde se sostiene por debajo al conductor, y por un segundo elemento que se coloca encima del conductor, apretándolo por medio de tornillos y tuercas o por medio de elementos en forma de "U" (brinda), de abajo hacia arriba o de arriba hacia abajo. La empresa venezolana CADAPE emplea las mordazas con brindas de abajo hacia arriba, con el fin de reducir el efecto corona cerca del conductor. Existen básicamente dos tipos de mordaza de suspensión, las que se fijan directamente a la cadena de aisladores por medio de dos brazos y las que se fijan al resto de la cadena por medio de grillete, sobre cuyo pasador pivota la mordaza. La empresa Venezolana CADAPE, emplea fundamentalmente el primer tipo. En función del tipo de conductor que se usa en el país las mordazas son construidas por aleaciones de aluminio fundido.

Aunque en condiciones normales las mordazas de suspensión soportan esfuerzos menores a las mordazas de amarre las mordazas de suspensión deben estar diseñada para resistir los esfuerzos en caso de ruptura del conductor.

Para evitar el deslizamiento del conductor, una pieza acanalada completa la sujeción apretando al conductor mediante abrazaderas en forma de "U". Las dos piezas acanaladas son de un diámetro mayor y un reborde hacia fuera en los sitios en los sitios donde el conductor sale a fin de que cuando se produzcan movimientos no se hagan presiones cortantes al mismo

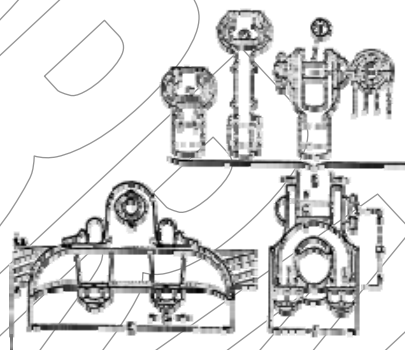


Figura 58. Mordaza en forma de U. *Suspension Clamp*

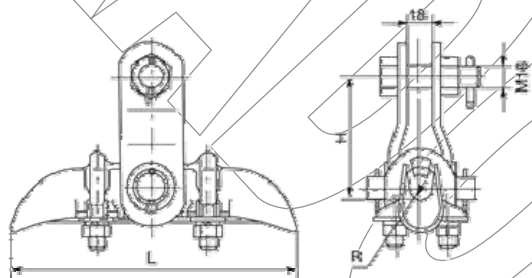


Figura 59. Ejemplo de la forma de Mordaza en forma de U. *Suspension Clamp*

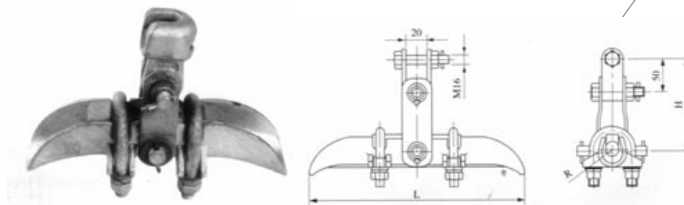


Figura 60. Mordaza en forma de U, Ilustrativa

El diseño de las mordazas es de gran importancia en cuanto a las funciones que cumple. En este sentido, las mordazas de suspensión deben tener superficies lisas curvas, con un buen acabado externo. El ángulo de salida del conductor debe ser de 20°, de manera de reducir la posibilidad de fatiga y deterioro del conductor. La mordaza debe ser articulada de tal manera que tenga suficiente movimiento al ser desplazada por el viento. Así, el pivoteaje de la mordaza debe permitir un movimiento de hasta 45° en la dirección del conductor.

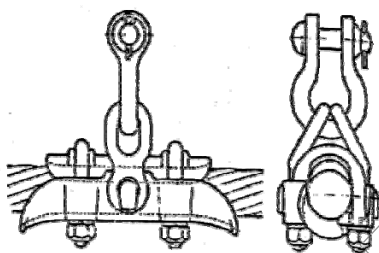


Figura 61. Mordaza de Suspensión con Grillete. *Trunion Type Suspension Clamp*

1.11.3. Mordaza de Amarre

La mordaza de amarre es el dispositivo que permite fijar o amarrar mecánicamente el conductor a la cadena de aisladores fijada a la torre. Estas mordazas pueden ser de dos clases, mordazas en las que se corta al conductor (mordazas de tipo compresión) y mordazas en las que no se corta al conductor (mordazas de tipo pistola y mordazas tipo cuña). Sin embargo, las mordazas en la que no se corta el conductor tiene muchas ventajas respecto a las de tipo compresión, en las que sí se corta al conductor.

En Venezuela se emplean los tres tipos. Sin embargo, la empresa CADAPE, en la actualidad emplea fundamentalmente las que no cortan el conductor, es decir mordazas de amarre de tipo pistola y tipo cuña.

- **Mordaza tipo de compresión:** La mordaza de compresión presenta un orificio donde se inserta el conductor. Por medio de prensas hidráulicas se comprime la mordaza sobre el conductor, dando lugar a que el metal de la mordaza penetre al conductor, formándose una sola pieza. El resultado es un amarre con un buen contacto eléctrico.

Sin embargo, posee varios inconvenientes:

- o En caso de reparación, el tramo de conductor y la mordaza no pueden ser empleados de nuevo, dado a que quedan soldados una vez instalada la mordaza.
- o La necesidad de cortar el conductor, lo cual obliga a emplear conectores para la continuidad eléctrica.
- o La necesidad de prensa hidráulica en el momento de la instalación, lo cual aumenta los costos de este sistema además de hacerlo realmente complicado, dado que supone llevar el equipo al sitio donde se encuentra el amarre.
- o La empresa Venezolana CADAPE, ha decidido no emplear más este tipo de mordaza en sus líneas de transmisión.
- **Mordaza tipo pistola:** Este tipo de mordaza esta constituida por dos partes (cascaras) en forma de pistola, que se unen por medio de bridas, en donde se inserta el conductor. Esta mordaza no requiere para su instalación de cortar el conductor ni el uso de herramientas o máquinas especiales, como en el caso anterior. Se suelen construir de aluminio fundido o acero galvanizado. La empresa eléctrica CADAPE, emplea este tipo de mordaza en las líneas de 115 kV, construidas en aluminio. Para tensiones superiores este tipo de mordaza resultaren sumamente grandes, por lo que limitan su instalación y en general su utilización.

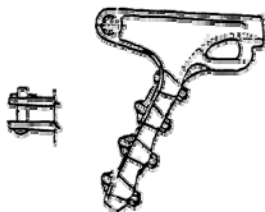


Figura 62. Mordaza de Amarre Tipo Pistola. *Bolted Type dead end Clamp*

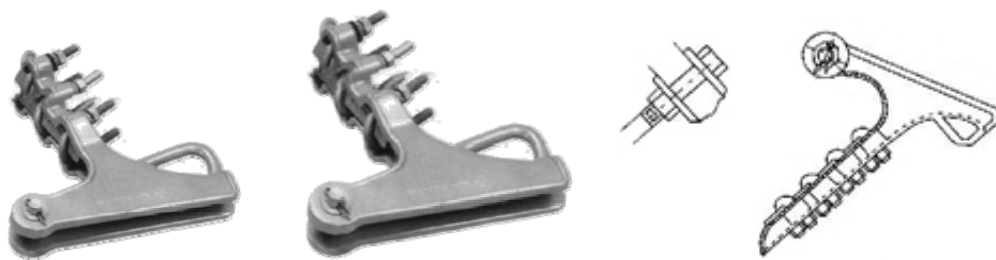


Figura 63. Mordaza de Amarre Tipo Pistola, Ejemplos

- *Mordazas de amarre del tipo Cuña:* Este tipo de mordaza amarra el conductor mediante un dispositivo formado por dos piezas las cuales se insertan una dentro de la otra. La primera pieza, la interna, de forma típica de cuña posee una garganta donde se introduce al conductor. Esta primera pieza se introduce dentro de la otra, fijada a la torre mediante la cadena de aisladores, produciendo un efecto de cuña, del cual se deriva su nombre.

1.11.4. Mordaza Amortiguadora

Ha surgido en el mercado un tipo de mordaza de suspensión que es una combinación de un anillo de material elástico recubierto con una varilla de armado expandida, y este conjunto sujeto con una abrazadera de gran sección que le sirve de soporte y de unión a los aisladores. De conformidad a los fabricantes se pueden obtener muy buenos resultados respecto a amortiguar las vibraciones y a la vez el conductor no sufre deterioros. Actualmente no hay mucha experiencia sobre el particular y ya que se trata de un artículo muy nuevo. Razonablemente puede esperarse que los problemas puedan surgir con el material elástico, ya que al encontrarse a la intemperie podrían reaccionar desfavorablemente perdiendo su elasticidad.

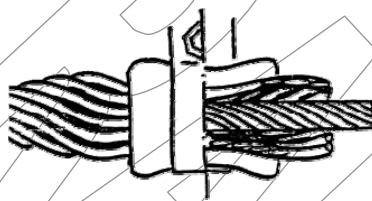


Figura 64. Mordaza Amortiguada

Herraje para el Cable de Guarda

El sistema de protección de cable de guarda es común en todas las líneas de transmisión aéreas en Venezuela, salvo alguna extraña excepción. La única diferencia entre los apantallamientos por cable de guarda, es que en casos se utilizan uno o dos cables de guarda. Los herrajes utilizados para el cable de guarda son muy semejantes al de los conductores de fase con diferencia particular en su tamaño y materiales.

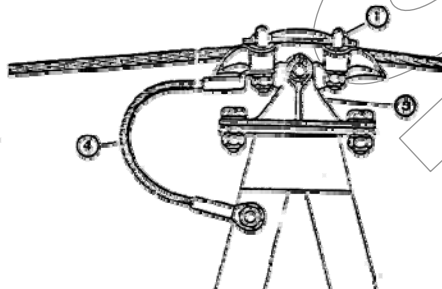


Figura 65. Balancín del Cable de Guarda

1.11.5. Amarre del Cable de Guarda

Para el amarre del cable de guarda se emplean mordazas. Estas pueden ser del tipo de compresión, en las que se corta el cable de guarda, y las mordazas en las que no se requiere cortar el cable de guarda. La empresa eléctrica venezolana CADAPE, emplea normalmente las mordazas de tipo recto.



Figura 66. Mordaza de Amarre del cable de Guarda

1.11.6. Suspensión del Cable de Guarda

Para la suspensión del cable de guarda existen dos modalidades básicas:

- El cable de guarda va sujetado en una mordaza, suspendida por debajo de la ménsula mediante un grillete.
- El cable de guarda va montado sobre la mordaza la cual se apoya en un caballete sobre la ménsula de la torre.

El caballete es un dispositivo hecho de acero galvanizado en caliente instalado sobre la torre, sobre la cual se instala la mordaza propiamente dicha. La empresa eléctrica CADAPE, en Venezuela, emplea más frecuentemente este segundo tipo de suspensión, debido a que la superficie de contacto del cable de guarda y la torre es mayor y en consecuencia mejora la conexión a la tierra del sistema.

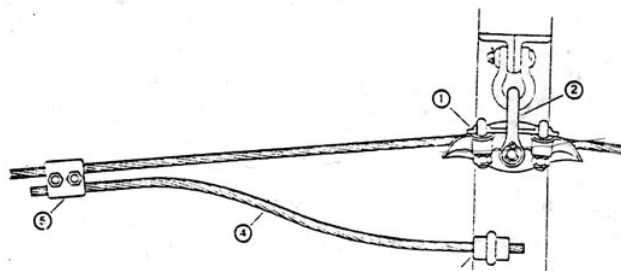


Figura 67. Mordaza de Suspensión de Guarda

Herrajes Independientes

Aquí las características de cada herraje solo tiene que ver con la función a la cual esta destinado el herraje en particular.

Los herrajes individuales que se colocan a lo largo de las líneas y están destinados a distintas funciones, son fundamentalmente:

- Amortiguadores
- Varilla de Armar
- Empalmes

1.11.7. Amortiguadores

Las vibraciones causan problemas en la línea de transmisión, los amortiguadores tienen por objeto evitar que al presentarse vibraciones estas sucedan ininterrumpidamente. El principio de casi todos los tipos es el de introducir un elemento diferente en una curda homogénea, con lo cual el movimiento armónico simple se rompe; también es posible utilizar el golpe directo en la onda vibratoria cuando la elasticidad del amortiguador lo permite, como es el caso de los del tipo *Stockbridge*, el cual está constituido por dos

elementos cilíndricos unidos por un cable de acero el cual a su vez está dotado de un conector para unirlos al conductor. Este es el tipo más usado. Otros tipos se basan en unir un elemento extraño al conductor en dos puntos de forma que pueden romper la vibración. En los gráficos se indican las distancias recomendadas por el fabricante para su colocación. Existen otros tipos que son solamente un pero colocado excéntricamente respecto al eje del conductor (en otra vertical) y el vibrar lo hacen en forma no armónica. En Francia se utiliza el puente antivibratorio, es un conductor que se coloca debajo de la mordaza de suspensión y con el cual se han logrado buenos resultados. En el mundo se conocen varios tipos de amortiguadores. En la empresa Venezolana CADAPE, se emplean amortiguadores de tipo *Stock-Bridge*, que están constituidos básicamente por dos partes, un primer elemento que abraza al conductor (pinza de fijación o conector) y el segundo elemento constituido por una guaya de acero al cual vienen fijadas las masa amortiguadoras.

La empresa Venezolana EDELCA, utiliza amortiguadores en sus líneas de transmisión de 400 KV, para limitar las vibraciones eólicas a un nivel de 150 *microstrains* (*IEEE Standardizations of Conductor Vibrations Measurements*, V 85, 1996), a estos se le realiza prueba de laboratorios, para verificar que mantengan después de cierto tiempo sus características.



Figura 68. Amortiguador. *Vibration Damper*



Figura 69. Amortiguador del tipo stock-Bridge.

1.11.8. Varilla de Armar

Tienen por objeto proteger el conductor en las mordazas de sus pñsion desde el punto de vista mecánico, y también la avería del conductor por descargas en caso de contorneamiento de la cadena de aisladores. Hay países como Italia donde este elemento se considera inoperante y por tal motivo no se utiliza. Cada juego de varillas se coloca helicoidalmente alrededor del conductor hasta cubrirlo totalmente. Las hay de *tipo preformado*, y también las hay de un tipo convencional que requiere la utilización de una llave que se va girando a partir de la mordaza y alejándose de ella con lo cual las varillas van ajustándose alrededor.

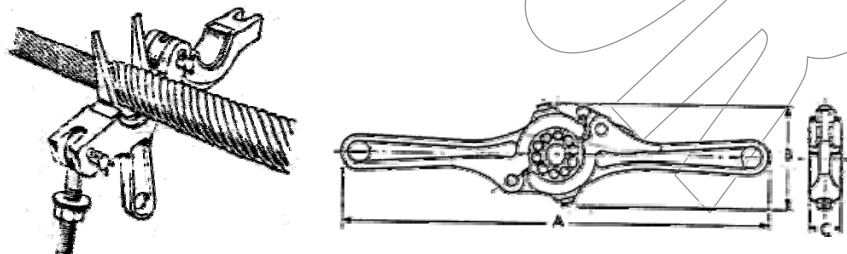


Figura 70. Llave para Varillas de Armar

Para evitar que se desplacen, se las sujeta con un suncho que originalmente es una “U” pero que se lleva a presión hasta formar un anillo de sujeción. En las mordazas de suspensión, la varilla de armar permite reducir

los esfuerzos mecánicos que se producen en el conductor en las cercanías de los extremos de la mordaza, la suavizar la curvatura del conductor en el tramo amordazado. Estos esfuerzos mecánicos son el resultado de propio peso del conductor y de los esfuerzos generados por las vibraciones de este. En Venezuela, de acuerdo a los conductores que utiliza la empresa CADAFE en sus líneas, los diámetros exteriores de los conductores, sumados a la varilla de armar, en los puntos de suspensión son los siguientes:

Tabla 6. Diámetro de las Varillas de Armar según el Tipo de Conductor

<i>Tipo de Conductor</i>	<i>Diámetro Exterior del Conductor</i>	<i>Diámetro de la Varilla de Armar</i>	<i>Diámetro del conjunto</i>
350 MCM	17.25 mm	4.62 mm	26.49 mm
500 MCM	20.6 mm	6.35 mm	33.3 mm
1000 MCM	29.26 mm	7.87 mm	45.0 mm
1100 MCM	30.66 mm	7.87 mm	49.4 mm

Existen opiniones contrariadas sobre la utilidad de las varillas de armado. Algunos especialistas consideran que las varillas son un depósito de contaminación, que facilitan la producción de chispas y no aseguran los objetivos para los cuales se instalan. Otros por el contrario consideran las varillas de armar un instrumento que contribuye a reducir las oscilaciones y así protegen a los conductores en los extremos de las mordazas de suspensión.

1.11.9. Empalmes

Tienen por objeto permitir la continuidad eléctrica del conductor a la vez que conservan su resistencia mecánica, o sea que pueden ser utilizadas en la mitad de un vano. Fundamentalmente hay dos tipos: el de compresión y el preformado.

1.11.10. Empalmes de Compresión

Este tipo requiere la utilización de una prensa hidráulica, la cual puede ser de piso con un compresor o manual dotada de un mango para bombear; la primera permite mayores esfuerzos. Se trata de elementos tubulares el conductor a unir y al ser comprimidos su sección se vuelve un hexágono mediante dos dados que se montan en la prensa, y lo sujetan de tal manera que es imposible sacar la punta del conductor una vez que se ha hecho la compresión. En los conductores grandes de ACSR hay dos elementos, uno para unir el acero y colocado previamente para que después se ubique encima del empalme de acero. Para llenar los intersticios se usa una grasa que entrega la fábrica, o una grasa neutra como vaselina.

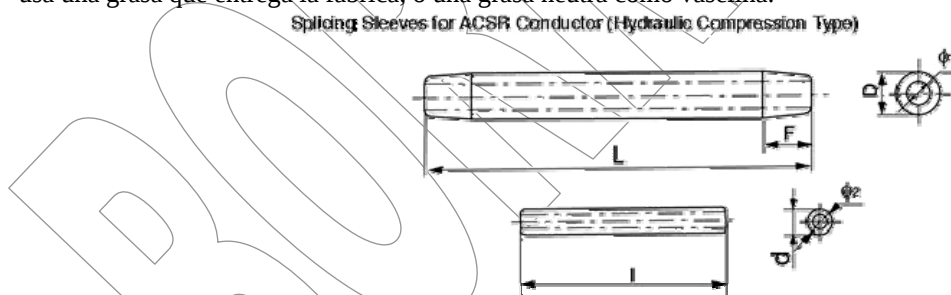


Figura 23. Empalme por compresión para conductores tipo ACSR

1.11.11. Empalmes Preformados

Son una serie de varillas helicoidales que en conjunto forman un tubo que se ajusta a los extremos de los conductores a unir. En su cara interna tiene una leve textura que les garantiza un mejor agarre; por su forma, si el conductor trata de salirse, su diámetro se hace menor aprisionándolo más. El largo del empalme varía de acuerdo al diámetro y al esfuerzo del conductor que une. Este empalme ha demostrado ser bastante seguro y tiene la ventaja de su rápida ejecución del orden de una media hora comparado con las dos horas que requiere el de compresión.

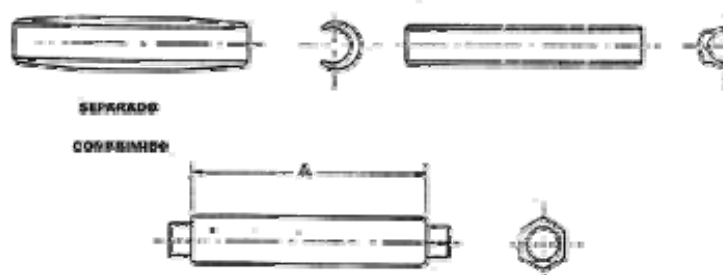


Figura 71. Empalme Preformado

1.11.12. Manguitos de Separación

Cuando los hilos externos de un conductor se estropean durante el montaje y se desea garantizar la continuidad eléctrica del conductor afectado se le da un complemento que consiste en dos medias caña que se ajustan la una dentro de la otra para formar un tubo y para que este no deslice se comprime de manera similar a los empalmes. La diferencia fundamental con aquellos es que el manguito no soporta ninguna tensión mecánica: su función es conducir corriente.

1.12 Diversas

Existe una gran cantidad de elementos auxiliares en las líneas de transmisión cuya misión es muy específica, y que merecen ser mencionados, y a estos se le denomina piezas diversas.

1.12.1. Riostras de Empalme

Sirven para establecer la continuidad eléctrica de la línea en el eje de los anclajes. Están realizados con cables del mismo tipo que los de la línea. Son generalmente, bastantes rígidos como para no requerir la colocación de contrapesos de riostra, si su longitud ha sido correctamente calculada considerando la flecha prescrita. (distancia entre el cable de las riostras y la masa o tierra)

Tabla 7. Flecha en función del Nivel de Tensión

Tensión (KV)	20	63	90	225	400
Flecha (m)	0.40	1.0	1.25	1.90	3.10

1.12.2. Contrapesos y Portapesas

Las pesas o contrapesos, son dispositivos que se fijan a las mordazas de suspensión sobretodo en líneas de transmisión ligeras (115 KV, por ejemplo), con el fin de aumentar el peso de la cadena y de esa manera asegurar la verticalidad del arreglo, en condiciones en donde debido a la situación relativa entre torres, pueden existir fuerzas que determinan oscilaciones muy grandes de las cadenas de aisladores debido a la fuerza del viento. Estos dispositivos se utilizan en los ángulos flexibles y en las torres a un nivel más bajo, para limitar la inclinación de las cadenas de suspensión de aisladores, bajo el efecto del viento transversal. Están constituidos por discos de fundición o de plomo suspendidos por medio de un estribo a la parte inferior de la cadena.

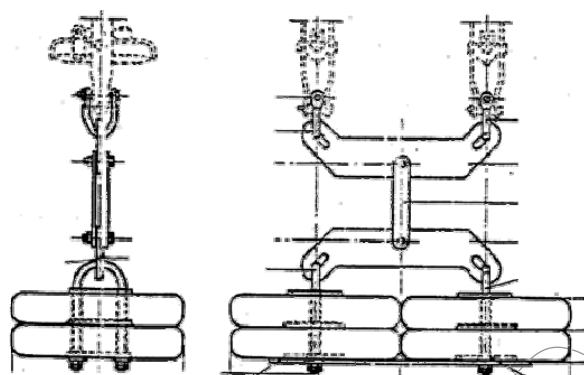


Figura 72. Contrapeso Doble

En Francia se emplean discos elementales de 80 Kg. que se pueden apilar uno encima de otro. Generalmente no se excede de contrapeso de más de 320 Kg. (4 discos) en las líneas de 63 kV y 90 kV, y de 640 Kg. para las líneas de 225 kV. En las líneas de 765 KV, venezolanas, la empresa EDELCA, selecciono contrapesos del tipo Copperweld, #4 de clase 30 HS, (*High Stretght*, 30% de conductividad), conforme a la norma ASTM B-227, que es una especificación para conductores cilíndricos de cobre cubiertos de acero.

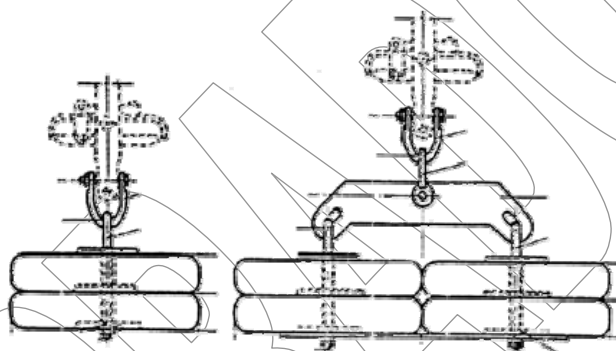


Figura 73. Contrapeso Doble

1.12.3. Esferas de Balizaje

Las esferas de balizaje se colocan generalmente distribuidas en el trayecto de las líneas entre dos torres, con el fin de advertir a las aeronaves de la existencia de las líneas. Normalmente estas esferas son de aluminio o de material plástico, en colores llamativos. Para la fijación a las líneas se emplean unos herrajes especiales que fijan las esferas al conductor de manera segura y permanente.