

## Introducción

En líneas generales el proceso desde la producción hasta el consumo por el usuario final es el siguiente:

- La energía generada, ya sea hidroeléctrica o térmicamente, se transporta en grandes bloques a través de las Líneas de Transmisión, las cuales se interconectan por medio de subestaciones ubicadas tanto en los centros de generación, como en los sitios donde se hace la reducción que permite distribuir la energía a los consumidores finales.
- El transporte de grandes bloques de energía corresponde al negocio de Transmisión el cual se hace a altos niveles de voltaje.
- Antes de llegar al usuario final, la energía eléctrica se transforma a niveles de voltaje medios y a través de redes, nuevas subestaciones y nuevos transformadores, se lleva hasta los puntos de consumo. Este transporte de bloques menores de energía con destino al usuario final se denomina Distribución.
- La actividad de comercialización se encarga de comprar energía a los generadores, pagar el servicio de transporte a Transmisores y Distribuidores y venderla al usuario final.

La Transmisión eléctrica generalmente se transmiten mediante los sistemas de corriente alterna, pero también se pueden utilizar los sistemas de corriente continúa pero las más convenientes son mediante la corriente alterna.

Hoy en día, el nivel de voltajes de transmisión son generalmente considerados 110 kV y superiores. Voltajes inferiores como 66 kV y 33 kV generalmente se consideran voltajes de sub-transmisión, pero que son ocasionalmente se utiliza sobre largas líneas con cargas ligeras. Voltajes menos de 33 kV son generalmente utilizados para distribución.

Voltajes por encima de 230 kV son considerados extra alta tensión y requieren diferentes diseños en comparación con los equipos utilizados en Voltajes más bajos.

Líneas de transmisión aérea son de alambre no aislado, por lo que el diseño de estas líneas requiere mínimo autorizaciones a observarse para mantener la seguridad.

Una línea de sobrecarga eléctrica es una línea de transmisión de energía eléctrica suspendida por Torres o polos. Dado que la mayoría del aislamiento se proporciona por vía aérea, líneas eléctricas son generalmente el método de costo más bajo de la

transmisión de grandes cantidades de energía eléctrica.

Torres para Soporte de las líneas están hechas de acero (laminado), madera (ya sea celosía estructuras o tubulares polos), hormigón, aluminio y plástico reforzado ocasionalmente. El cable desnudo de conductores en la línea generalmente están hechos de aluminio (lana o reforzado con acero o materiales compuestos a veces), aunque algunos cables de cobre se utilizan en media tensión conexiones de distribución y de bajo voltaje para instalaciones del cliente.

## Sistemas de transmisión

Los sistemas de transmisión esencialmente constan de los siguientes elementos:

- Estaciones transformadoras elevadoras.
- Líneas de transmisión.
- Estaciones de maniobra.
- Estaciones transformadoras reductoras.

Hoy en día, para el transporte de grandes potencias se usan universalmente los sistemas de corriente alterna. Se ha llegado a ello como consecuencia de la simplicidad de los grandes generadores y transformadores de corriente alterna. La tensión de transmisión puede ser adaptada a las necesidades del servicio con mayor sencillez y economía que en caso de sistemas de corriente continua.

El sistema de uso más general en la actualidad es el trifásico. Los sistemas monofásicos solo se usan en ferrocarriles. Los sistemas de transmisión a alta tensión en corriente continua (sistema Thury) fueron usados en Europa desde 1890 hasta 1937.

## Sistemas Trifásicos

Se emplean de modo casi exclusivo para la transmisión de energía, gracias a su simplicidad y al mayor rendimiento de los conductores respecto a los demás sistemas de corriente alterna.

## Sistemas monofásicos

Estos sistemas no pueden, en general, competir con los sistemas trifásicos para la transmisión de energía y se usan tan solo para aplicaciones especiales. La más importante de ellas es la de los grandes ferrocarriles; si se tiene en cuenta el costo del conjunto del equipo, la transmisión monofásica resulta ser la más económica.

## Sistemas de alta tensión de Corriente Continua

Estos sistemas permiten reducir la tensión, en comparación con los sistemas trifásicos, como puede deducirse del peso relativo de conductor para una tensión máxima dada.

Los métodos para conseguir grandes potencias a tensiones elevadas en corriente continua no han progresado al mismo ritmo que los adelantos en corriente alterna, y hoy día, casi no existen sistemas comerciales de alta tensión en corriente continua.

## Torres

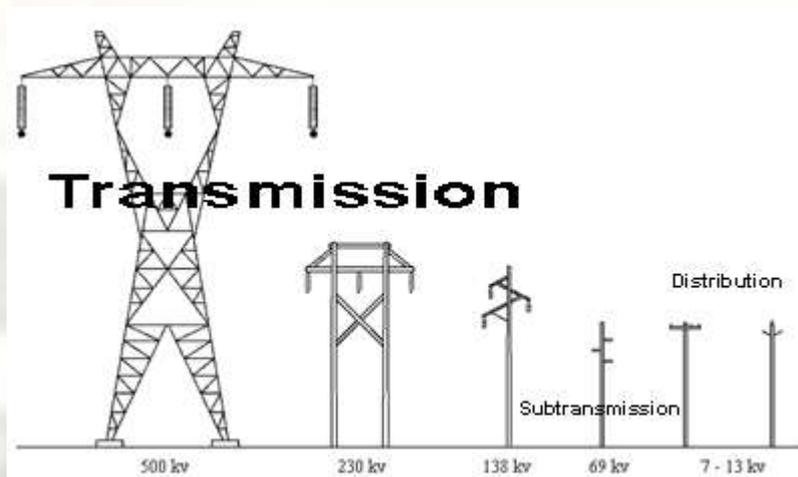
Líneas aéreas de transmisión de AC comparten una característica;

Llevan 3-fase de corrientes. Los voltajes varían según el sistema de red en particular y están adaptadas para voltajes de transmisión que varían entre 69 kv hasta 765 kv. Aproximadamente.

Los siguientes son ejemplos de estructuras de línea de transmisión aérea diferentes en uso hoy en día.

El voltaje DC Torre de transmisión tiene líneas en pares, en lugar de hacerlo en tres (para corriente trifásica) como en Líneas de voltaje AC.

La Línea DC: es la línea de corriente positiva y la otra es el negativa



## Consideraciones económicas

La elección de tensión es generalmente tema propio del proyecto del sistema, ya que el costo de la línea de transmisión es solamente uno de los muchos factores de importancia a considerar. En líneas importantes, la elección se hace mejor mediante presupuestos comparativos y tanteos respecto a una

determinada serie de aspectos que incluyen la totalidad del equipo, prestando la debida atención a las tensiones existentes, a las cargas futuras, a las interconexiones y la intercambiabilidad del equipo. Tales comparaciones resultan muy laboriosas, y justifican un programa cuidadosamente planeado. **La elección de la tensión queda generalmente limitada dentro de márgenes relativamente pequeños por la necesidad de conseguir una regulación satisfactoria sin prodigar excesivamente el equipo regulador. Esto depende en gran escala del número de Kilowatts que deben ser transmitidos a un número determinado de kilómetros.** En general, dentro unos límites dados de tensión, con la misma calidad de construcción, el costo de la línea *sola* disminuye ligeramente al aumentar la tensión. Esto es debido a la reducción conseguida en el peso del conductor, que es generalmente el factor más importante, aunque aumente el costo del aislamiento por aumento de tensión. Sin embargo, diversas consideraciones, tales como el efecto corona y la resistencia mecánica, pueden alterar esta conclusión teórica. El costo de la línea, sin incluir el equipo de sus extremos, no es, pues, una guía segura. Una parte del mayor costo de las líneas de tensiones más elevadas, especialmente si se consideran tensiones muy diferentes, se debe a la mejor calidad de construcción y mejor servicio, que generalmente acompañan (y con razón suelen exigirse) a las tensiones más elevadas.<sup>[1]</sup>

## Economía de los conductores

El conductor más económico se determina por tanteo sobre diversas secciones, y es aquel para el cual resulta mínima la suma del costo anual de las pérdidas de energía y de las cargas financieras anuales. Tal comparación, efectuada para condiciones fijas, es decir, para un determinado valor y carácter de la carga, tipo de construcción, distancia de transmisión y tensión, puede incluir todos los costos sin tener en cuenta lo poco o mucho que tales costos estén afectando por la sección del conductor. Pero *si la sección del conductor más económica se determina mediante fórmulas como las que se indican en el párrafo siguiente, es necesario que todos los costos afectados por la sección del conductor estén incluidos en P, costo por unidad de peso.*

Puede obtenerse una aproximación útil de la sección del conductor más económico mediante las siguientes fórmulas, en las cuales el costo total, incluyendo la erección y montaje y las variaciones en el costo de las estructuras, está incluido en costo por unidad de peso de conductor. Así expresado, el costo anual total de conductor puede expresarse en una ecuación la cual

C = Costo por kilowatt-año de energía perdida;  
r = resistencia por unidad de longitud;  
I = intensidad de la corriente;  
p = costo por unidad de peso de conductor;  
a = tanto por ciento de interés y amortización;  
w = peso de la unidad de longitud de conductor.<sup>[2]</sup>

$$\text{El costo total anual es} = \frac{C I^2}{1.000} + p \cdot w \frac{a}{100}$$

El conductor más económico para una carga dada transmitirá, en condiciones normales, una carga mayor con un mayor costo anual pero a un menor costo por kilowatt (con tal que no sea necesario añadir equipo de regulación). **Generalmente no es necesaria gran precisión al hacer los cálculos económicos de conductores, ya que es difícil prever las necesidades futuras, y el mejor conductor será, en realidad, el que resulte según la curva de cargas durante la totalidad de la vida útil de la línea.**

## Tipo de construcción

Es difícil valorar en dinero las ventajas e inconvenientes de los varios tipos de estructuras de apoyo, de tal manera que la comparación de costos anuales exprese verdaderamente el valor relativo a cada tipo. Tales comparaciones de costo deben ser tenidas por incompletas y solamente consideradas como uno de los factores de importancia a tener en cuenta al hacer la elección. Por ejemplo, la construcción flexible, a base de postes de madera con armazones en H y torres de acero de base estrecha en sentido longitudinal, que no están calculadas para resistir en caso de rotura de conductores, resultará casi siempre más barata que las estructuras rígidas, proyectadas para resistir en caso de rotura de un conductor; sin embargo, aunque de excelente servicio en muchos casos, la construcción flexible no ha sido aceptada para las líneas más importantes.

## Longitud del vano

Para la construcción de líneas rectas, el costo menor corresponde generalmente a vanos más largos de lo que se ha considerado aceptable en la práctica. En los últimos años la longitud de los vanos ha sido aumentada gradualmente, a medida que eran estudiados y resueltos teóricamente y experimentados prácticamente, problemas tales como los debidos a oscilaciones, depósitos de hielo, vibraciones y desequilibrio de tensiones. Con vanos muy largos, la economía resulta pequeña por necesitarse mayores cuidados en el proyecto, disposición y construcción.

## Tensión mecánica de los conductores

El uso de conductores de muy alta resistencia mecánica y la admisión de esfuerzos elevados de tensión mecánica conduce a la adopción de tramos largos, con la correspondiente disminución del número de estructuras de apoyo y fundaciones, siendo generalmente más ventajoso en los casos en que las fundaciones y estructuras son muy caras. La ventaja de los tramos largos se obtiene, sin embargo, a expensas de estructuras más costosas, necesarias para sostener el conductor en caso de rotura. En condiciones usuales, un estudio comparativo demostrará generalmente que la economía de los tramos largos se alcanza mejor aumentando la altura de las estructuras de apoyo, que por el uso de conductores de muy alta resistencia mecánica.

En zonas compactas, donde existen muchos ángulos y se necesitan estructuras altas para cruzar por encima de obstáculos, puede resultar económico adoptar esfuerzos de tensión de conductor inferiores a los normales.<sup>[3]</sup>

## Altura de las estructuras de apoyo

El aumento de costo debido a un aumento moderado de la altura de las torres no es tan elevado como generalmente se supone.

## Otros datos del costo

Expresados como costo global por unidad de longitud para varios tipos de construcción, raramente son una base segura para presupuestos y tanteos por causa de las grandes variaciones que pueden existir en

casi todas las partidas que integran el total. No solo existe una gran variedad de condiciones locales, tales como derechos de paso, clima y necesidad de servicio, sino que, además, es posible elegir entre numerosos tipos y detalles de construcción, pudiendo existir diferencias en el costo unitario de los materiales. A menudo resulta que las líneas caras por naturaleza, debido a tener conductores de sección elevada, altas tensiones y costosos derechos de paso, deban ser, y sean, proyectadas sobre una base de mayor seguridad, y, por ello, más costosas que otras líneas de menor importancia. Las condiciones locales y las necesidades especiales que ocurran en el caso, solo pueden ser tenidas en cuenta sumando todas las partidas que integran el costo. El costo de las estructuras de apoyo puede calcularse con aproximación tomándolo de los presupuestos de los constructores formulados sobre los anteproyectos. Asimismo, el costo de aisladores y conductores podrá obtenerse de sus suministradores. Al fijar las cifras del costo por derecho de paso, debe tenerse en cuenta el valor de la leña o maderas comerciales. Existe una partida relativamente importante de gastos generales relacionados con la construcción de líneas de transporte, tales como equipo, carreteras y acarreos, campamentos, oficinas, mantenimiento de equipos motores y otras partidas, que puede calcularse más fácilmente como un tanto por ciento del total de la mano de obra y materiales. Los costos de dirección, ingeniería, inspección, y legales pueden estimarse generalmente basándose en datos de otras construcciones.

## Efecto corona

El efecto corona se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor. El efecto corona se manifiesta por luminiscencias o penachos azulados que aparecen alrededor del conductor, mas o menos concentrados en las irregularidades de su superficie.

La descarga va acompañada de un sonido silbante y de olor de ozono. Si hay humedad apreciable, se produce ácido nitroso. La corona se debe a la ionización del aire. Los iones son repelidos y atraídos por el conductor a grandes velocidades, produciéndose nuevos iones por colisión. El aire ionizado resulta conductor (si bien de alta resistencia) y aumenta el diámetro eficaz del conductor metálico.

En las líneas de transmisión, el efecto corona origina pérdidas de energía y, si alcanza cierta importancia, produce corrosiones en los conductores a causa del ácido formado.

El efecto corona es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura.

En un campo uniforme, a 25 °C y 760 mm de presión, la ionización por choque aparece al tener un valor máximo de 30 kv/cm, que corresponde a 21.1 kv/cm sinusoidal. En el caso de las líneas aéreas de transmisión de energías, se ha demostrado que el fenómeno depende del radio del conductor. El valor del gradiente de potencial para el cual aparece la ionización en la superficie del conductor se llama *gradiente superficial crítico* y varios investigadores indican que vale:

$$g_0 = 30(1 - 0.7r) \text{ kv/cm eficaz}$$

Donde  $r$  es el radio del conductor en  $cm$ . Existen fórmulas que nos suministran este valor en función de la presión barométrica y la temperatura ambiente. Pero estas fórmulas sirven para conductores de sección circular y perfectamente lisa. Los conductores de líneas aéreas están formados por varios alambres cableados y enrollados en hélice y tienen raspaduras propias de su fabricación e instalación. Esto hace aumentar el gradiente crítico, por encima de la estimaciones teóricas.

Los fenómenos descritos en forma somera hasta aquí, nos permiten afirmar que la superficie de un conductor libera iones de ambos signos. Como la tensión es alterna, algunos son atraídos hacia el conductor, conforme su polaridad en el momento en que se considere mientras que otros, son rechazados y se alejan hacia moléculas neutras para formar iones pesados. Los que se alejan, debido a que disminuye el gradiente. Al cambiar la polaridad del conductor se reinicia la ionización por choque.

Esta ligera descripción indica por un lado que la energía necesaria para producir la ionización y por otro la necesaria para producir los movimientos de las cargas. La primera es importante y la forma de estimarla es:

$$P_c = \frac{20.96 \times 10^{-6} f U_f^2 F}{\text{Log}_{10} \frac{|DMG|^2}{r}} \text{ Kw/km/fase}$$

$P_c$  = pérdidas por efecto corona en Kw/km/fase.

$f$  = Frecuencia en Hz

$U_f$  = Tensión eficaz, entre fase y neutro, en kv

$DMG$  = distancia media geométrica entre conductores, en m

$r$  = radio del conductor, en m

$F$  = factor función de la relación  $U_f/U_0$

$U_0$  = tensión eficaz, entre fase y neutro, en kv, que provoca la descarga

El valor de  $F$  se toma:

$U_f/U_0$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5
$F$	0.0011	0.014	0.018	0.025	0.036	0.053	0.085	0.150	0.950

Esta fórmula es para buen tiempo, en otras condiciones, es necesario hacer intervenir los efectos correspondientes.

Podemos cerrar este tema diciendo que las pérdidas por efecto corona se pueden mantener en valores tolerables manteniendo la tensión a la ocurre el fenómeno, más alta que la tensión entre fase y tierra en un 20 a 40%, para lo cual, es necesario que el diámetro del conductor sea grande o, en caso contrario, **formando cada fase por medio de más de un conductor.**<sup>[4]</sup> ( En nuestro país esta cantidad de conductores por fase indica la tensión de transporte de la línea, por ejemplo: **1** conductor por fase 132 KV, **2** conductos 220 KV, **4** conductores 500 KV.)

## Aislamiento de las líneas

El funcionamiento de una línea de transmisión depende en gran escala de su aislamiento. En buena práctica se requiere que la tensión de arco en seco de los aisladores completos sea de tres a cinco veces mayor que la tensión nominal de funcionamiento, y que la longitud de la línea de fugas sea aproximadamente el doble de la menor distancia entre puntos con tensiones el aire. Las modernas orientaciones tienden hacia los límites superiores, especialmente cuando se trata de tensiones muy

elevadas. Los casos especiales de nieblas, salinas, polvos, o aire químicamente cargado deben ser estudiados aparte.

Los aisladores no sólo deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar con amplio margen las cargas debidas al hielo y al viento que puedan esperarse razonablemente, sino que deben ser construidos de manera que puedan resistir condiciones mecánicas muy severas, descargas atmosféricas y arcos alimentados por la corriente de servicio, sin dejar caer el conductor. La producción de arcos por contorno del aislador debe ser evitada en todos los casos, con la sola excepción del rayo, cualquiera que sean las condiciones de humedad, temperatura, lluvia o nieve, y con la cantidad de polvo que habitualmente se acumula hasta ser limpiada por las lluvias.

## Materiales aislantes

Los aisladores se construyen con vidrio, pastas o “compound” patentadas y porcelana. Para líneas de transmisión los aisladores de vidrio solo son recomendables si están construidos con vidrio especial resistente al calor, tal como el Pirex. Los productos orgánicos, incluyendo los compuestos o pasta “compound” de origen orgánico, no resisten la acción prolongada de altas tensiones, especialmente si están expuestos a la intemperie, por lo cual su uso queda limitado a instalaciones de baja tensión al interior de edificios.

## Aisladores de soporte o aisladores rígidos

Estos aisladores se construyen para tensiones de arco hasta 200 kv a 60 hz, si bien es raro usarlos para tensiones de arco superiores a 180 kv (tensión nominal 75 kv). Estos últimos son equivalentes en tensión de arco, a algo menos de tres elementos de cadena de suspensión del tipo de 5 <sup>3</sup>/<sub>4</sub> de pulgada (14.6 cm). Lo reducido del margen de aislamiento y el riesgo de aplicar tensiones tan altas sobre un solo aislador, relativamente frágil, hace que estos aisladores no se usen con tensiones superiores a 66 kv.

## Aisladores de suspensión

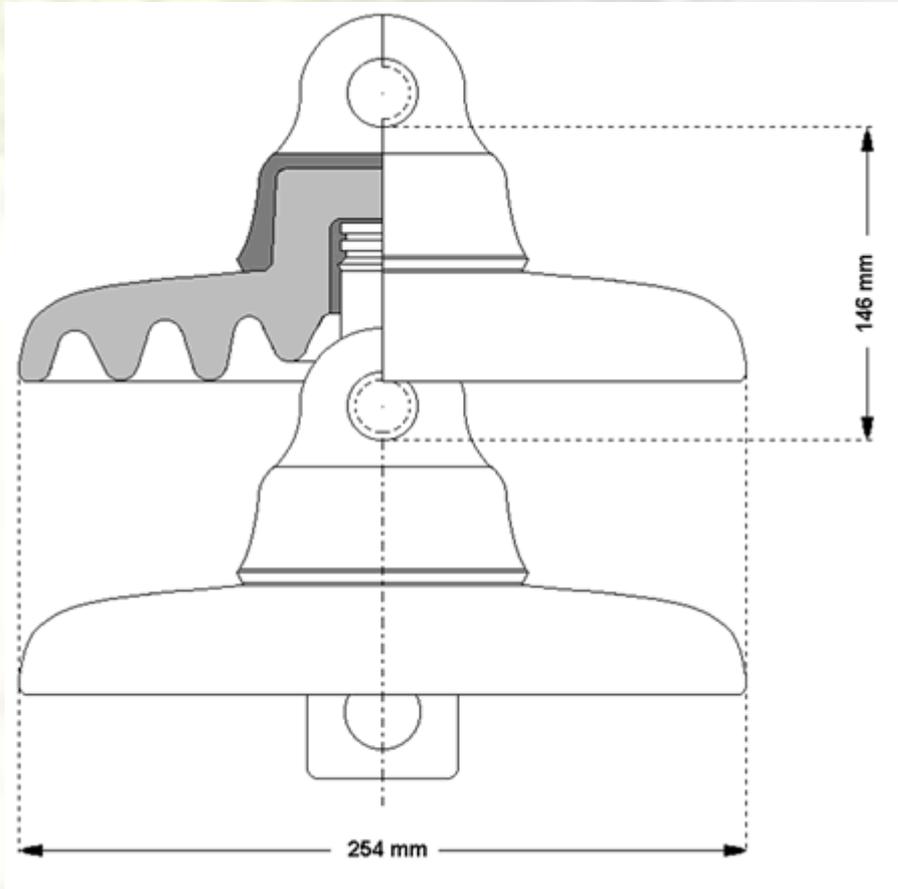
Estos aisladores se usan casi exclusivamente en líneas de tensión superior a 66 kv, en vanos largos y con conductores pesados. Las unidades o discos modernos de caperuza y vástago han dado resultados muy satisfactorios y se han adoptado progresivamente para hacer frente a las necesidades de las más altas tensiones y de la construcción más pesada, con simplicidad y economía.

La tensión de arco por contorno en cadenas de aisladores de suspensión es casi proporcional a la distancia a tierra en el aire y aproximadamente igual a la tensión de arco entre varillas con la misma distancia, a 60 hz y con las sobretensiones que se originan en las maniobras.

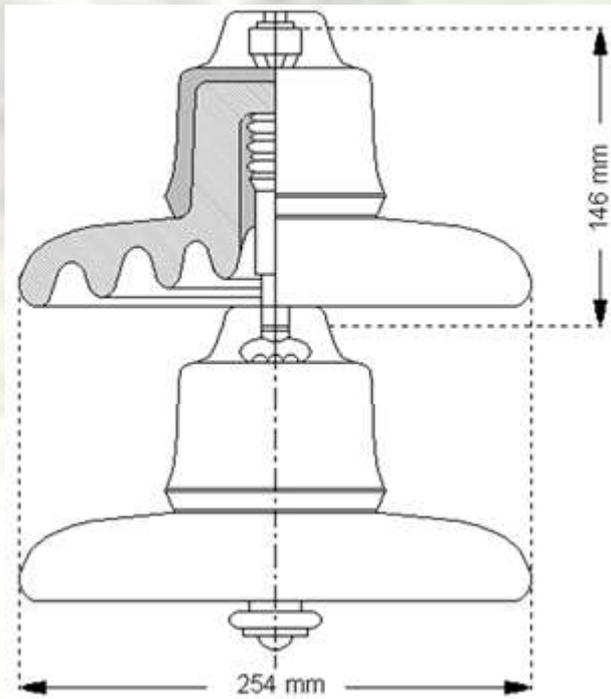
En la practica, el número de discos o unidades que conforman la cadena de aisladores es aproximadamente proporcional a la tensión, con ligero aumento para las tensiones mas altas y con cierto margen en la longitud de cada unidad.

Para la tensión de 66 kv se usan de 4 a 5 unidades, para 110 kv de 7 a 8, para 132 kv de 8 a 10, para 154 kv de 9 a 11, para 220 kv de 14 a 20.

Las unidades o discos más modernos tienen una resistencia máxima de 15.000 libras (6800 Kg). El promedio de cualquier partida de estos discos resiste generalmente una prueba a la tracción de 15000 libras (6800 Kg) y muchas unidades alcanzan un 25% mas que dicha cifra. Es probable que uno de estos discos, bien construido, resista una carga de 10.000 a 12.000 libras (de 4.536 a 5.400 kg) durante varios días sin fallar. Se recomienda una carga máxima de seguridad de 5.000 a 6.000 libras (2.270 a 2.700 kg), lo que representa un factor de seguridad de 2 sobre el mínimo de la prueba carga-tiempo.



1) Aislador de suspensión, cementado, tipo de charnela.



2) Aislador de suspensión, cementado, tipo de bola o rotula.

En la *figura 1* se representa una cadena de dos aisladores del tipo de caperuza y vástago cementados, del tipo 15.000 libras (6.800 Kg) de enganche de charnela y en la *figura 2* se representa el tipo de bola y casquillo. La elección entre uno y otro tipo es cuestión de preferencias personales, si bien el tipo de bola y casquillo, también llamado de rotula, es más popular por sus ventajas en trabajos urgentes.

## Aislador pirex

El aislador de suspensión de caperuza y perno con disco Pirex, emplea una aleación metálica en sustitución del cemento. Los constructores afirman que gracias al estudio de la distribución de esfuerzos, que solo es posible por la transparencia de semejante material, y también por el cuidadoso tratamiento térmico, estos aisladores alcanzan esfuerzos de tracción próximos al doble de los conseguidos con los aisladores corrientes del tipo de caperuza y perno.

## Aisladores de tensión o amarre

Un conjunto de unidades de suspensión dispuestas al extremo o final de una línea, en una estructura, se denomina aislador de amarre o de tensión. Estos aisladores deben soportar el pleno esfuerzo de tracción y han de ser calculados con un amplio factor de seguridad para la máxima cantidad de hielo y presión de viento; el esfuerzo máximo que pueden resistir los aisladores y sus herrajes debería ser equiparado al del conductor, con el fin de tener en cuenta posibles cargas externas, superiores a las supuestas en el proyecto general. Es práctica corriente proteger las cadenas de amarre o final de línea, especialmente contra deterioro debido a arcos, empleando dos o tres discos adicionales e instalando cuernos o anillos de guardia.

En casos de esfuerzos muy elevados o conductores muy pesados, se disponen cadenas dobles y triples en paralelo mediante piezas especiales (culatas) de acero (muy conocidas por su denominación inglesa “yoke”). Se construyen piezas de esta clase para doble y triple cadena, como accesorios o herrajes corrientes de aisladores. Para esfuerzos superiores sería preciso un estudio especial.



Figura 3

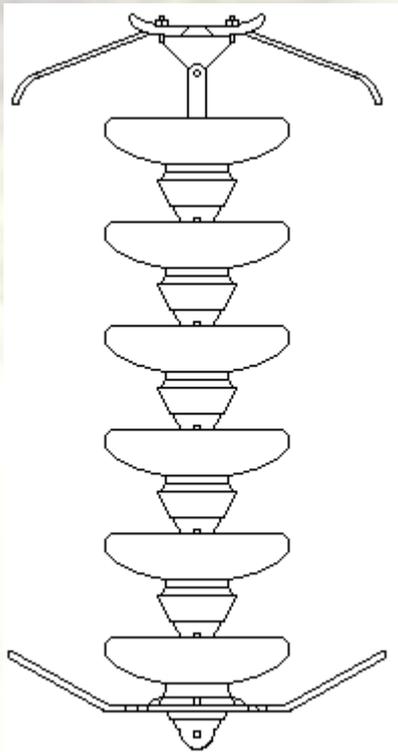
En la figura 3 se puede ver un aislador deteriorado, esta clase de problemas puede resolverse usando termografía, que es el único método por el cual se pueden detectar problemas de este tipo antes de verlos como en la figura, a veces los aisladores están en lugares accesibles para efectuar las mediciones termográficas, otras veces, por ejemplo: como suele suceder con las líneas de transmisión, los aisladores se encuentran a una distancia demasiado grande para efectuar la medición estándar, en ese caso se puede emplear las mediciones termográficas mediante el uso de helicópteros

### Dispositivos de protección

El daño recibido por los aisladores en caso de arco es un serio problema de mantenimiento, y se han ideado diferentes dispositivos para conseguir que en caso de saltar el arco, se mantenga apartado de la cadena de aisladores. Tales dispositivos han resultado útiles, pero los adelantos en los métodos de protección de líneas aéreas mediante cable a tierra y el uso limitado, pero relativamente afortunado, de los tubos de expulsión, no solo han reducido los daños en los aisladores, sino que han mejorado el comportamiento del conjunto de la línea.

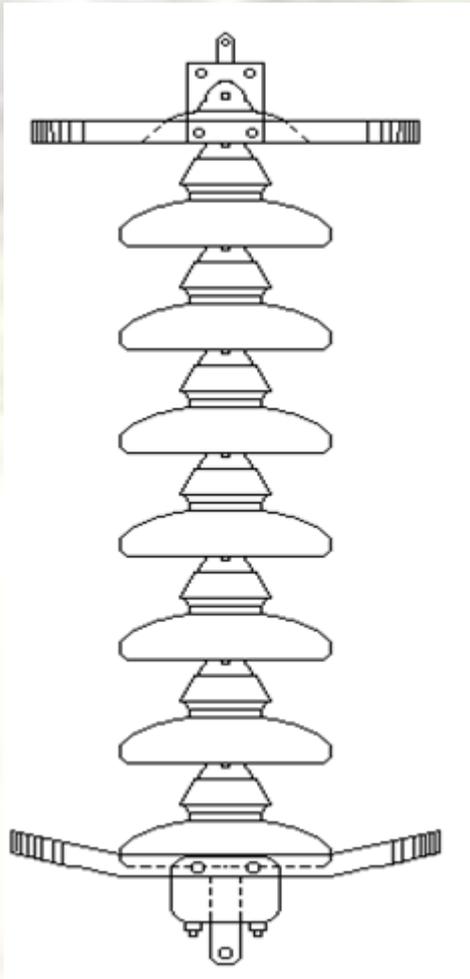
La primera medida de precaución consistió en pequeños cuernos o antenas fijados a la grapa. Se encontró, sin embargo, que para obtener resultados eficaces era necesario disponer de antenas bien abiertas, no solo en la grapa, sino también en la parte superior del aislador (Fig. 4). Bajo tensiones de choque o descargas atmosféricas, especialmente, el arco tiende a saltar en cascada en la cadena de aisladores, y las pruebas demostraron que la separación entre los cuernos debía ser considerablemente inferior a la longitud de la

cadena de aisladores. Por ello, la protección con cuernos o antenas produce una reducción de la tensión de arco o exige un aumento del número de unidades y de la longitud de la cadena de aisladores.



*Figura 4.* Cadena de aisladores de suspensión con antenas o cuernos de protección

Los anillos de protección, pantalla reguladora del gradiente de potencial mostrados en la figura 5, resultan mas eficaces. Los ensayos con tensión de choque o impulso demuestran que si el diámetro de los anillos guarda la debida proporción con la longitud de la cadena, puede evitarse la descarga en cascada sobre los aisladores, incluso con ondas de frente muy recto o escarpado. La eficacia de estos anillos consiste en que tienden a igualar el gradiente a lo largo del aislador y a producir un campo mas uniforme. Con ello la protección conseguida no se limita simplemente a ofrecer una distancia explosiva mas corta para el arco, como en el caso de las antenas. Los anillos eficaces son de diámetro mas bien ancho, y, tratándose de cadenas de suspensión, debe comprobarse que la distancia a las torres o estructuras sea por lo menos igual que al distancia entre anillos.<sup>[5]</sup>



*Figura 5.* Anillos de protección, reguladores de gradiente de potencial, en una cadena de aisladores de suspensión

Una variante del sistema anterior en la que el anillo superior está sustituido por un juego de dos a cuatro tubos con fusible. La distancia entre los tubos y el anillo inferior puede reducirse, porque en general el arco se apaga en dos o tres periodos de la corriente sin dar lugar a que se dispare el disyuntor de la línea. Es decir, este sistema no solo constituye una protección del aislador, sino que constituye a evitar los disparos o interrupciones de la línea. El inconveniente que limita el uso de este sistema es la necesidad de reponer los fusibles

En general la aislación de una línea se logra por medio de los aisladores simples, o por medio de cadenas de aisladores. En los primeros, el conductor se apoya y fija sobre el mismo aislador, empleándose este modelo para tensiones bajas y medias. Pero en los sistemas de alta tensión, es necesario hacer una cadena con aisladores campana. Se compone de una pieza de porcelana o vidrio templado, con adecuadas piezas metálicas que permiten el empalme. Para 132kv y suspensión simple, es suficiente armar una cadena de 9 aisladores, para 33 kv. alcanza una cadena de 3 aisladores. Para tensiones muy altas, de 500 kv. vemos cadenas de hasta 25 aisladores. Esta cantidad depende de si la cadena es de suspensión o de retención y otros detalles. Las dimensiones y forma del aislador, dependen de la tensión límite que puede soportar, sin que se forme un arco en su superficie, alcanzando ambos extremos. Como estos elementos están expuestos a los agentes atmosféricos, las prescripciones indican la llamada tensión de flameo, la que

provoca el salto de chispa bajo condiciones normalizadas de lluvia, humedad, precio o nieve, que se pueden reproducir en laboratorio.

La morsetería a que hemos aludido antes, son los accesorios que sirven para fijar las cadenas de aisladores a las torres y los conductores a la cadena de aisladores. En este último uso, la morsetería está sometida a la tensión de ejercicio, que trae aparejada una serie de fenómenos relativos al campo eléctrico. Los tornillos, tuercas, pernos y demás piezas componentes, tiene bordes que pueden ser agudos y por lo que se estudia en la teoría del campo eléctrico, en esos puntos, el gradiente de potencial es elevado. Esto produce una serie de fenómenos indeseables, que es necesario eliminar. Por otra parte, el citado gradiente de potencial afecta también al conductor, que cuanto menor es su diámetro, mas se acentúa (Integración con física II – campo eléctrico).

## Nivel de aislamiento de las líneas

El nivel de aislamiento se define por las tensiones soportadas bajo lluvia, a 50 Hz, durante un minuto y con onda de impulso de 1.2/50 microsegundos, según Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional.

Los niveles de aislamiento mínimos correspondiente a la tensión mas elevada de la línea, serán mostrados en la tabla siguiente

Categoría de la línea	Tensión mas elevada KV eficaces	Tensión de ensayo al choque KV cresta		Tensión de ensayo a frecuencia industrial KV eficaces.	
		Neutro tierra	a Neutro aislado	Neutro tierra	a Neutro aislado
3 <sup>a</sup>	3.6	45		16	
	7.2	60		22	
	12	75		28	
	17.5	95		38	
	24	125		50	
2 <sup>a</sup>	36	170		70	
	52	250		95	
	72.5	325		140	
1 <sup>a</sup>		Neutro tierra	a Neutro aislado	Neutro tierra	a Neutro aislado
	100	380	450	150	185
	123	450	550	185	230
	145	550	650	230	275
	170	650	750	275	325
	245	900	1050	395	460
	420	1550	--	680	--

## Grado de aislamiento de las líneas

Se llama grado de aislamiento a la relación entre la longitud de la línea de fuga de un aislador (o la total de la cadena) y la tensión entre fases de la línea.

La longitud de la línea de fuga de un aislador se mide sobre la superficie del mismo.

La de una cadena de aisladores, es la de un solo aislador multiplicada por el número de los que la componen.

Como tensión entre fases de la línea, se tomara el valor de la “tensión más elevada” de la tabla de tensiones.

Los grados de aislamiento recomendados, según las zonas que atraviesen las líneas, son los siguientes:<sup>[6]</sup>

Zonas	Grados de aislamiento
Forestales y agrícolas	De 1.7 a 2 cm/KV
Industriales y próximas al mar	De 2.2 a 2.5 cm/KV
Idem y muy próximas al mar	De 2.6 a 3.2 cm/KV
Idem, íd., con fabricas de productos químicos, centrales térmicas, etc.	Mas de 3.2 cm/KV

## Protección contra descargas atmosféricas

### Sistemas de protección.

Los métodos para proteger los sistemas de transmisión contra las interrupciones debidas a descargas atmosféricas son:

- Conductores aéreos de tierra.
- Tubos de expulsión.<sup>[7]</sup>

Se persiguen dos objetivos: protección contra largas interrupciones, reducción del número de interrupciones momentáneas causadas por descargas atmosféricas. Ambos objetivos no son siempre compatibles, de modo que en algunos casos la protección contra daños debe realizarse a expensas del número de interrupciones y viceversa.

Los conductores de tierra y tubos de expulsión proporcionan la protección contra daños y la reducción de las descargas a tierra; pero ambos ocasionan un considerable aumento en el coste de la línea.

### Conductores aéreos de tierra (cables de tierra)

Hoy día se está de acuerdo en que, para que la protección con cables de tierra sea efectiva, es necesario que estos cables apantallen a todos los conductores de la línea, que la resistencia de puesta a tierra sea baja, que el aislamiento sea relativamente elevado y que, en general, la distancia entre los cables de tierra y los de línea sea algo mayor de la que se acostumbraba hace algunos años.

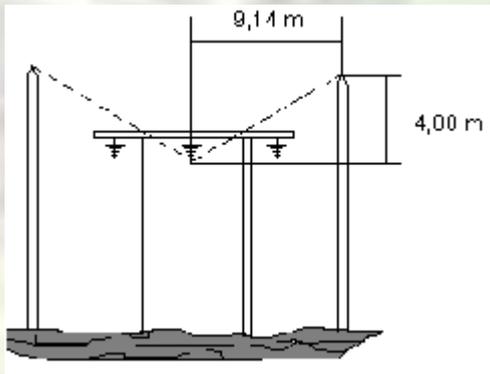


Figura 6

## Tubos protectores

Son considerados como equivalentes al cable de tierra para protección contra daños e interrupciones, con tal que se instalen en todas las estructuras de apoyo de la línea. Los tubos, han sido experimentados durante pocos años; se ha obtenido un excelente resultado. Se han aplicado en pocos casos para tensiones superiores a 110 kv., y se ha restringido su uso en que la intensidad de corto circuito es especialmente elevada. No se han construido estos tubos para las tensiones más altas, siendo especialmente convenientes para protección a tensiones menos elevada. La ventaja de la protección con tubos se apreciaría si se efectuase un serio intento de reducir las descargas a tierra en una línea, hasta una cifra determinada; una línea de 44 kv. estudiada para 5 descargas anuales, por ejemplo, resultaría en distancias, estructura y aislamiento parecida a una línea de 110 kv.

En líneas de 26 kv. se ha aplicado con éxito el sistema de equipar uno de los conductores con tubos de protección, usándolo para apantallar a los demás conductores.<sup>[8]</sup>

## Estudio de la protección mediante conductor aéreo de tierra

La baja resistencia de puesta a tierra es el factor más importante en el proyecto de instalaciones de cable de tierra.

Hay una gran variedad de opiniones sobre este tema, pero en la que más coinciden los expertos es, en que el material y la conductividad de los cables de tierra son de importancia secundaria, y lo más ventajoso es disponer varios pasos o circuitos en paralelo. El estudio teórico, indica que sería muy útil unir los dos cables de tierra en el centro de vano, lo mismo que en las estructuras.

Debe tenerse en cuenta que la protección aportada por los cables de tierra tiene el inconveniente del peligro mecánico que constituyen estos cables unidos directamente a tierra, situados encima del conductor, debiendo tomarse los mayores cuidados en su disposición mecánica y su emplazamiento, para evitar la posibilidad de contacto entre conductores en cualquier condición.

Los métodos de proyectar una línea con un nivel de protección determinado y de establecer las proporciones correctas de aislamiento, separación entre conductores en el centro del vano y resistencia de puesta tierra, no han sido sistematizados en forma precisa y manejable. Tales cálculos requieren

estimaciones aproximadas, cuidadosamente hechas, de número de factores que solamente pueden resolver de manera acertada los que están muy familiarizados con los aspectos teórico y experimental.

## Apantallamiento

La posición relativa de los conductores de tierra y de la línea para obtener el apantallamiento completo ha sido motivo de algunas discusiones. Algunos especialistas han sugerido que los conductores exteriores quedasen dentro de una línea que, pasando por el cable de tierra, forme un ángulo de  $20^\circ$  con la vertical. Los conductores interiores, situados entre dos cables de tierra, quedan protegidos aun en el caso de que los conductores de tierra resulten muy distantes. La experiencia en el tipo representado en la figura 5 demuestra que el apantallamiento es completo dentro de una zona limitada por líneas pasando por los cables de tierra con una inclinación de uno (vertical) por dos (horizontales). Este tipo de apantallamiento parece ser el único que ofrece posibilidades de conseguir protección completa, es decir, líneas a prueba de rayo en tensiones relativamente bajas.

## Separación en el centro del vano

La separación necesaria entre los conductores de tierra y los de línea para asegurar que una descarga que haya alcanzado un conductor de tierra no salte a los conductores de línea, se denomina separación en el centro del vano. Esta separación es considerablemente inferior a la correspondiente a la plena tensión del rayo, gracias al potencial del mismo siglo inducido en los conductores aislados paralelos. El valor de esta tensión inducida y la consiguiente reducción de diferencia de potenciales, viene determinado por una serie de factores, entre los cuales figuran la distancia entre los conductores de servicio y los de tierra, la altura sobre el plano del terreno y la tensión en el cable de tierra. La tensión del cable de tierra aun sufre otra reducción gracias a una sucesión de ondas reflejadas, extraordinariamente rápidas, procedentes de las torres adyacentes. Esta reducción se realiza rápidamente en vanos cortos que en vanos largos.

## Pararrayos

La aplicación de pararrayos en sistemas con el neutro conectado a tierra es algo más difícil que en los sistemas con neutro aislado. Los pararrayos normales que figuran catalogados por sus constructores para uso en sistemas con el neutro directamente unido a tierra, tiene señalada una tensión nominal eficaz máxima (tensión de ruptura) del 80 % de la tensión eficaz máxima entre fases del sistema. Esta tensión no debería ser rebasada en caso de tensiones anormales ocasionadas por la pérdida de la carga o por sobrevelocidad de los generadores. Los defectos a tierra, en determinadas condiciones, pueden ocasionar tensiones excesivas para los pararrayos.<sup>[9]</sup>

## Conductores de contra peso o contraantena

Tratando de disminuir la resistencia de las tomas de tierra o de conseguir un efecto equivalente, requisito necesario para el buen funcionamiento de la protección por cables de tierra, se ha recurrido a tender largos trozos de cable, enterrados, unidos a los pies de las torres. Este dispositivo se ha adoptado en terrenos rocosos o arenosos donde las varillas, placas o estacas usuales de toma de tierra resultan poco eficaces. Los conductores mencionados han sido denominados de contrapeso. Como indica su nombre, además de la reducción de la resistencia, se espera obtener alguna ventaja de la capacidad a tierra de los

conductores y conseguir una reducción en la diferencia de potencial entre los conductores de línea y de tierra, debido a la inducción mutua entre los conductores de línea y los de tierra con los de contrapeso. Se calcula que dos conductores enterrados, paralelos, tendidos de torre a torre, han de producir una protección equivalente a la conseguida con tomas en tierra de 10 ohm, aun en casos de terrenos de alta resistividad.

Las instalaciones de contrapeso o contraantena, tanto las de tipo radias, que se extienden diagonalmente desde la torre, como las de tipo paralelo, han resultado, en general, completamente satisfactorias, si bien los datos de ensayo, hasta la fecha, indican que el efecto de acoplamiento mutuo puede ser de menor importancia.

Las teorías propuestas por diversos investigadores como medio de calcular el número, disposición y longitud más convenientes de los conductores de contrapeso son complicadas, y es necesario confirmarlas con la experiencia. Para disminuir la resistencia de fugas, que es la que se obtiene efectuando mediciones con puente de corriente continua, hay que aumentar la longitud total del contrapeso, mientras que la impedancia ofrecida a las ondas de impulso o de choque se disminuye mejor aumentando el número de conductores que salen de la torre.

## Estudio mecánico de vanos aéreos

### Cargas en los conductores

El proyecto de un vano consiste en determinar la flecha que debe dejarse al tender los conductores, de modo que los vientos fuertes, la acumulación de nieve o hielo y las bajas temperaturas, aun cuando se mantengan durante varios días, no sometan a los conductores a esfuerzos superiores a su límite elástico, causen un alargamiento permanente considerable, o produzcan la rotura por fatiga como consecuencia de vibraciones continuadas.

El peso propio del conductor y el peso del hielo acumulado actúan verticalmente; la carga debida al viento se supone que obra horizontalmente, formando ángulo recto con el vano; la resultante es la suma vectorial. Bajo la combinación de los esfuerzos vertical y horizontal, el conductor se balancea, colocándose en un plano inclinado que forma con la vertical el mismo ángulo que la resultante. La flecha resultante se mide en este plano inclinado.

La presión del viento,  $p$ , en función de la velocidad efectiva del viento, está expresada por la fórmula de Buck para superficies cilíndricas y aceptada generalmente en cálculos de vanos:

$$p = 0.000471 V^2$$

en donde  $p$  viene dado en gramos por centímetro cuadrado y  $V$  en kilómetros por hora.

La presión sobre superficies planas se toma generalmente:

$$p = 0,000754 V^2 \text{ gramos por centímetro cuadrado, siendo } V \text{ la velocidad en kilómetros por hora.}^{[10]}$$

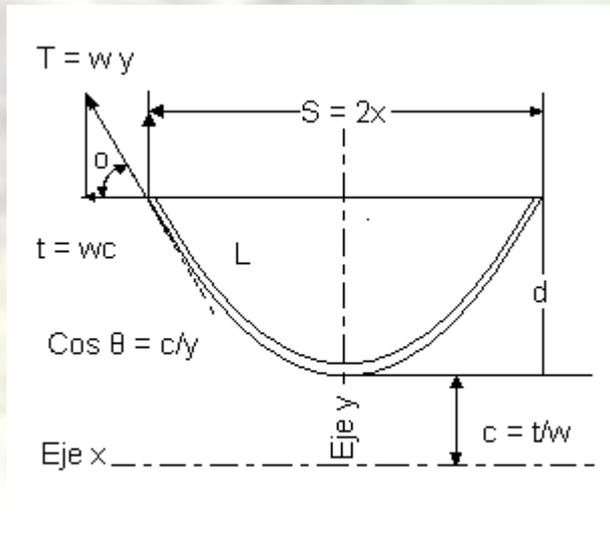


Figura 7

## Esfuerzos en un vano

Los elevados esfuerzos de tracción que se producen en los conductores, son consecuencia de soportar una carga vertical con un medio, el conductor, que se halla en posición casi horizontal, es decir, formando un ángulo casi recto con la dirección de la carga. El ángulo del conductor con la horizontal, en el soporte, es de pocos grados, y por ello la tracción experimentada por el conductor es muchas veces múltiplo del peso soportado. Según la Mecánica, la tracción horizontal en el conductor  $t$ , es igual el peso soportado  $V$  (producto de la mitad de la longitud del vano,  $L/2$ , por el peso por unidad de longitud  $w$ ) dividido por la tangente del ángulo de inclinación  $\alpha$ . Figura 7.

## Conductores

Los conductores de cable de aluminio-acero más utilizados en España en líneas de transmisión de energía, son los de la siguiente tabla:

Designación	Sección del cable en $\text{mm}^2$	Sección equivalente de cobre en $\text{mm}^2$	Diámetro del cable mm	Resistencia eléctrica a $20^\circ\text{C}$ W/km
HALCON (Hawk)	281.1	152.01	21.8	0.119
GAVIOTA (Gull)	381.55	212.31	25.4	0.0851
CONDOR (Cóndor)	455.1	253.96	27.76	0.0721
CARDENAL (Cardinal)	546.06	304.03	30.38	0.0597
PINZON (Finch)	653.48	354.70	32.84	0.0512

## Normas reglamentarias

### Tensiones

Se entiende por “tensión nominal”, el valor convencional de la tensión eficaz entre fases con que se designa la línea y a la cual se refieren determinadas características de funcionamiento, y por “tensión mas elevada” de la línea, al mayor valor de tensión eficaz entre fases, que puede presentarse en un instante en un punto cualquiera de la línea, en condiciones normales de explotación, sin considerar variaciones de tensión de corta duración debidas a defectos o a desconexiones bruscas de cargas importantes.

Las tensiones nominales normalizadas, así como lo valores correspondientes de las tensiones mas elevadas, según las normas CEI, se incluyen en el cuadro siguiente.

Únicamente en el caso de que la línea objeto del proyecto sea extensión de una red ya existente, podrá admitirse la utilización de una tensión nominal diferente de las anteriormente señaladas.

De entre ellas se recomienda la utilización de las tensiones que a continuación se indican:

20 – 66 – 132 – 220 y 380 KV

Categoría de la línea	Tensión nominal KV	Tensión mas elevada KV
3 <sup>a</sup>	3	3.6
	6	7.2
	10	12
	15	17.5
	20	24
2 <sup>a</sup>	30	36
	45	52
	66	72.5
1 <sup>a</sup>	132	145
	220	245
	380	420

**Nota:** Cabe destacar que en nuestro país no se utiliza la tensión de 380 KV, sino que se pasa directamente de 220 KV a 500 KV.

Según lo indicado en el cuadro anterior, las líneas quedan clasificadas en la siguiente forma:

- Primera categoría: Las de tensión nominal superior a 66 KV
- Segunda categoría: Las de tensión nominal comprendida entre 66 y 30 KV, ambas inclusive.
- Tercera categoría: Las de tensión nominal inferior a 30 KV, e igual o superior a 1 KV.<sup>[11]</sup>

### Líneas aéreas de alta tensión

Generalidades : En redes de media tensión y hasta las mas altas usadas en Argentina de hasta 500 kv., se emplean torres de hormigón y reticulado de acero. En la figura 11 vemos los esquemas más corrientes de estas torres. La elección del tipo de torre se hace sobre la base de criterios económicos, de sismicidad y en

base el vano, que es la distancia entre dos torres. Los estudios técnico-económicos, que tienen en cuenta los factores técnico, climáticos y precios, permiten generar programas de computación con los cuales se determina lo que se denomina vano económico, que es la distancia entre torres que hace mínimo el costo por kilómetro. Las estructuras de soporte, torres o postes, pueden ser de suspensión o de retención.

Las primeras se instalan en los tramos rectos de las líneas, mientras que las segunda son para los lugares en que, además, la línea debe soportar esfuerzos laterales, producto del cambio de dirección (ángulo) o finales de línea. La figura 12 nos enseña dos tipos de torres de hormigón centrifugado.

Nótese que tanto en la ultima figura 10 y la 11, las torres tienen el llamado hilo de guardia, marcado con las letras HG. Este elemento es de acero

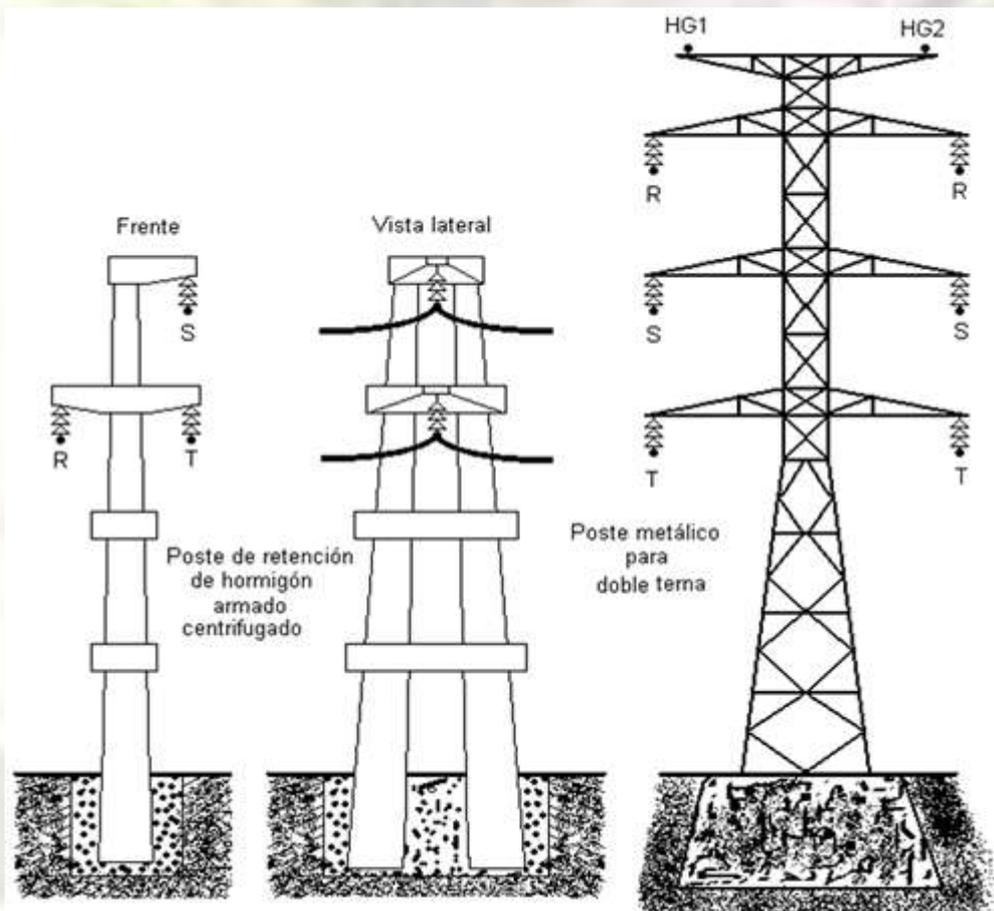


Figura 10

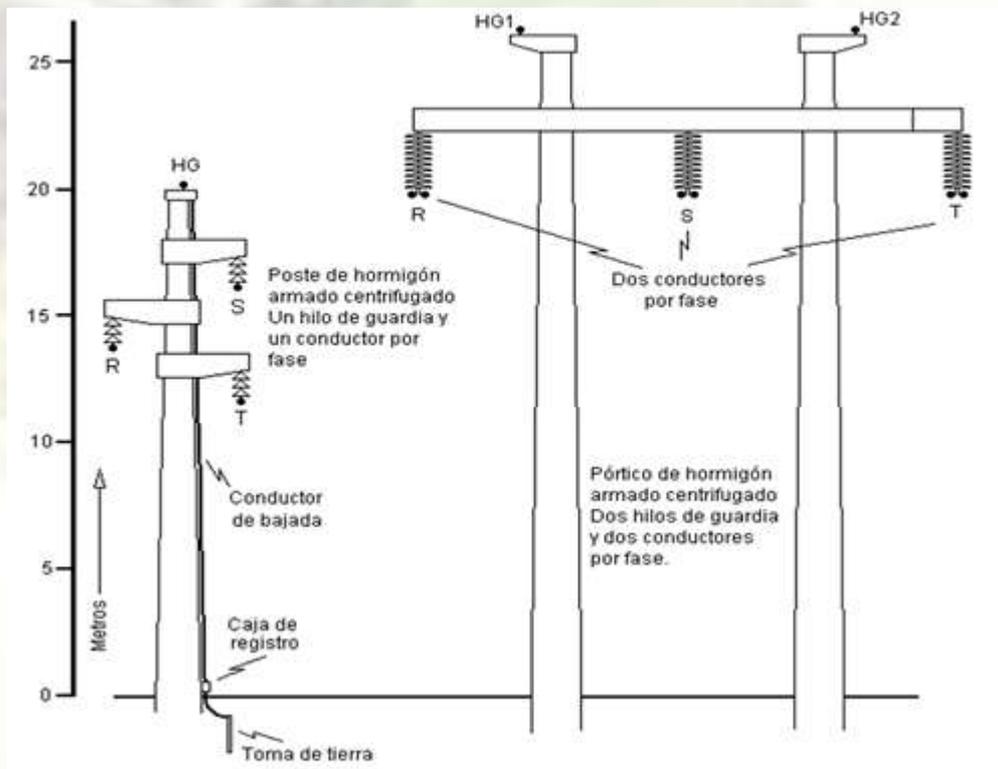


Figura 11

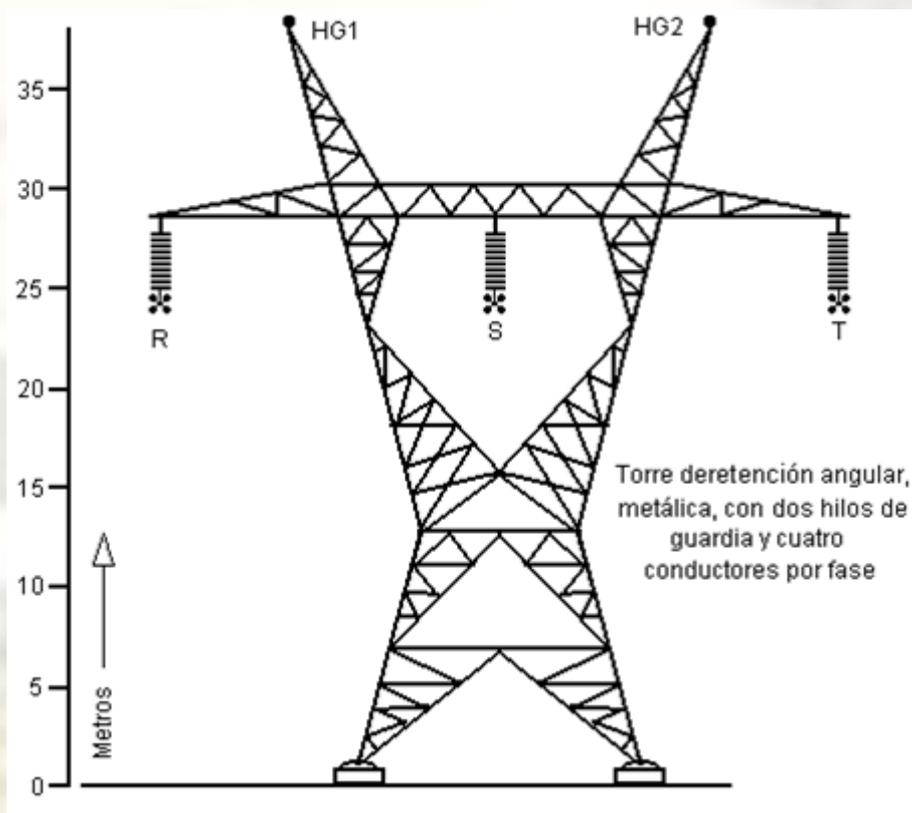


Figura 12

galvanizado. Las torres metálicas son estructuras de perfiles ángulos, vinculados directamente entre sí o a través de chapas, mediante uniones abulonadas. Para mejor mantenimiento, son galvanizadas y el acero es de alta resistencia. Las estructuras se dimensionan por medio de sistemas computarizados que minimizan el peso de las estructuras. Los postes de hormigón, en cambio, serán del tipo armado, centrifugado o pretensado. Las crucetas o ménsulas, serán del mismo material en la mayor parte de los casos.

En la figura 12 tenemos la silueta de una torre autoportante o de retención.

En la figura 13 tenemos una torre de suspensión o arriendada, que es más económica.

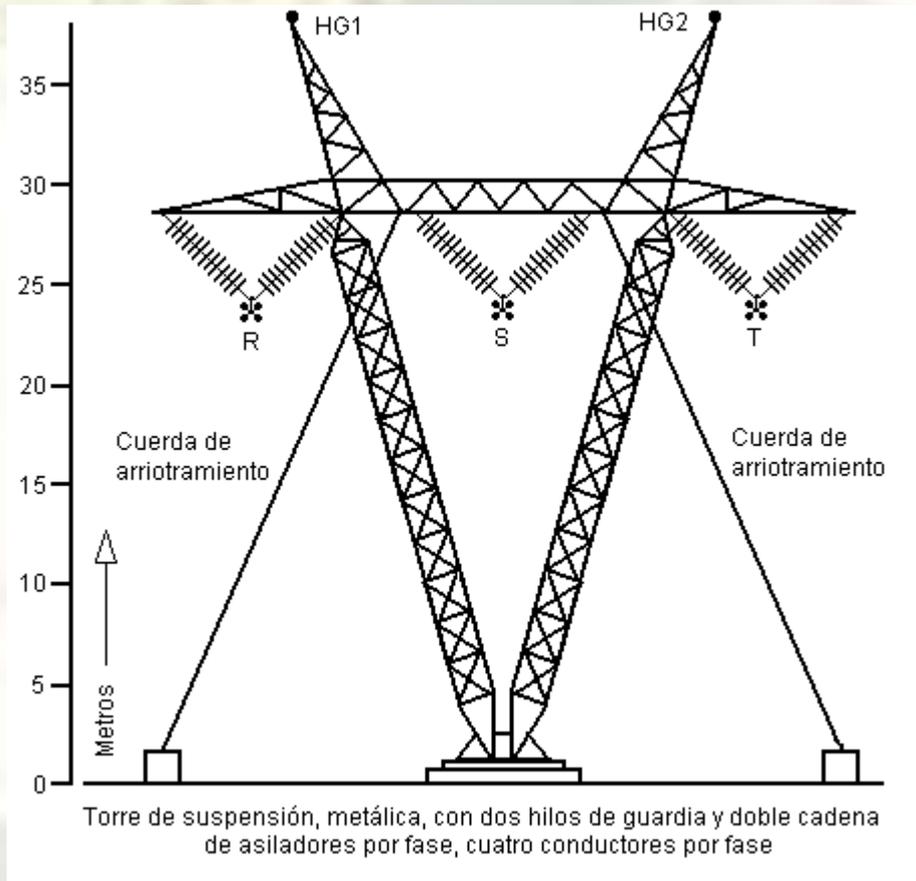


Figura 13

En todos los casos, las fundaciones representan un papel importante en la seguridad y en el costo de una línea de transmisión, y deben permitir la fácil colocación de las tomas de tierra que vemos en la figura 14.

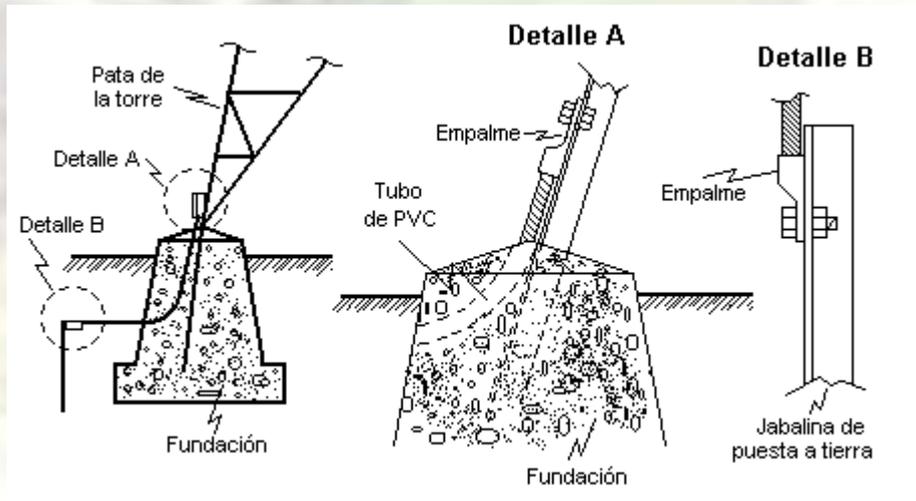


Figura 14

El tipo de terreno, por su agresividad, determina el cemento que se debe emplear. Hay torres de tipo especial, ya que en ellas se produce la transposición.

A fin de hacer aproximadamente igual a los valores de las constantes de las líneas, para cada fase, en tramos adecuados, se hacen cambios en el orden en que se encuentran las fases. En las figuras 12 y 13 se ve que las fases R, S y T están en un plano, lo que determina que la capacidad, la autoinducción y las pérdidas, no sean de igual valor. Por lo tanto esto se resuelve cambiando dos veces a lo largo del recorrido la posición relativa de esas fases. Pero el punto en que esto se produce, requiere de una torre particular, con disposiciones típicas para estos casos.

Los conductores de las líneas aéreas de alta tensión se construyen con un núcleo de alambres de acero que contribuyen a la resistencia mecánica, rodeado de una formación de alambres de aleación de aluminio tal como ilustra la figura 15. Los valores mas corrientes suelen ser:

300/50 mm <sup>2</sup>	240/40 mm <sup>2</sup>	150/25 mm <sup>2</sup>	120/20 mm <sup>2</sup>
95/15 mm <sup>2</sup>	70/12 mm <sup>2</sup>	50/8 mm <sup>2</sup>	

La primera cifra es la sección útil del aluminio y que conduce la corriente. La segunda es el acero.

Es muy común que para cada fase, se utilice mas de un conductor. En las figuras 12 y 13 se puede apreciar que cada fase se compone de 4 conductores, como los de la figura 15. Esto hace necesario el empleo de accesorios metálicos, la morsetería o grapería, que en tensiones muy alta, requieren un delicado diseño.

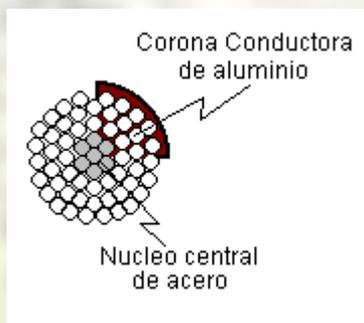


Figura 15

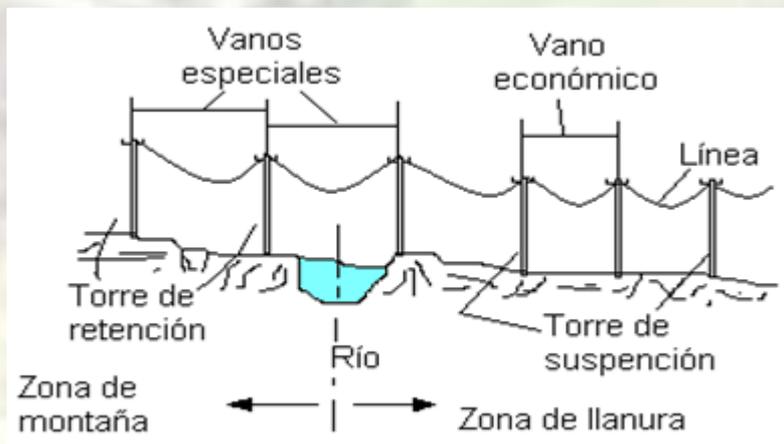


Figura 16

Una línea importante de transmisión de energía es una obra de ingeniería, que tiene mucho que ver con la ingeniería eléctrica y la ingeniería civil. Cuando se decide ejecutar esta obra entre dos puntos distantes, lo primero que se debe examinar, es la traza, o sea, el recorrido. Esto implica un cuidadoso estudio topográfico para encontrar la mejor solución, junto con el estudio de suelos, para poder dimensionar las fundaciones. Con los elementos se optimiza el problema y se determina el vano económico que se ha de usar, que hace mínimo el costo. En la figura 18 vemos un ejemplo de traza, en que para el cruce de un río y la subida de una sierra, hay que adaptarse al terreno, lo que obliga a la adopción de torres de tipo especial, de retención, mas caras. En los tramos lineales se pueden usar torres de suspensión, todas iguales, con ventaja en los costos.

El estudio de la topografía del recorrido permite determinar el lugar exacto donde se instalara cada torre. Se evitan los cambios de dirección, porque ello obliga a la colocación de torres de retención en esos puntos.

Los esfuerzos o solicitaciones que deben resistir las torres son, además del peso propio y los efectos de la naturaleza sobre las mismas, las que les transmiten los conductores. En la figura 17 vemos el croquis de una torre como la de la figura 11 derecha, que cumple la función de ángulo, es decir, desvío de la dirección de la línea. Se observa que la torre debe soportar los efectos de las solicitaciones de los conductores, que se componen del peso propio del conductor mas el peso de las cadenas de aisladores, a lo que se suma la acción del viento. Al peso propio se debe sumar el peso del manguito de hielo que se forma luego de una nevada y que expuesto, al viento, ofrece una superficie lateral apreciable. Todos estos defectos, sumados, componen las solicitaciones sobre la torre. Por otra parte, el proyecto de una línea implica el adecuado diseño del hilo conductor, que es una catenaria, que se muestra en el ejemplo de la figura 18, en que el hilo conductor aparece suspendido entre dos puntos de distinta cota. La distancia entre el punto mas elevado y el punto mas bajo se llama flecha y es un número importante, sea para el dimensionado del conductor, como en los trabajos de instalación y montaje.

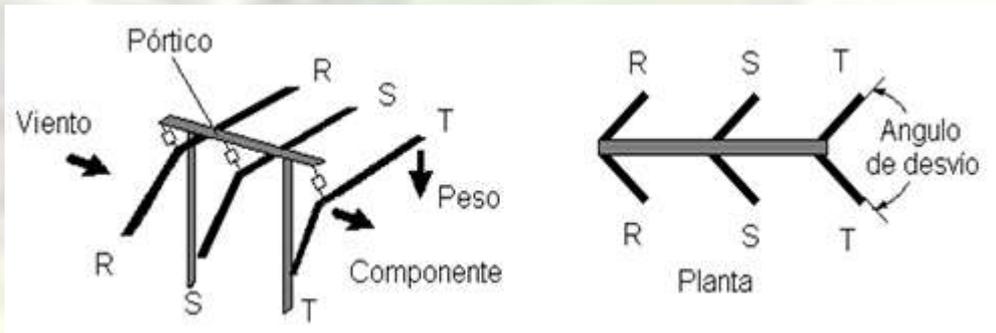


Figura 17

Como la temperatura de trabajo cambia, lo mismo que el viento a que esta sometido el conductor, la flecha es un número variable. La teoría de estas catenarias permite conocer el valor de la tensión  $T_x$  en cada punto de su recorrido  $X$ , ocasionada por sus componentes horizontales y verticales, con lo cual se determina la sección resistente y el valor de la tensión  $T$  en el punto de apoyo permite conocer el esfuerzo que transmiten a la grapería de sujeción a la torre.

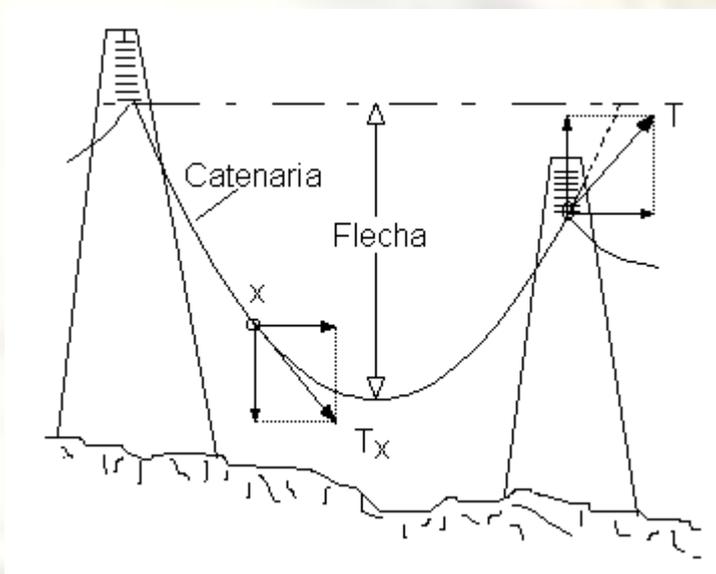


Figura 18

**Fundaciones de tierra:** Los anclajes de acero colocados con revestimientos de protección son económicos y se han usados con éxito para torres de sustentación o alineación. El tipo más satisfactorio de anclaje de acero es el piramidal, bien sea triangular, bien sea cuadrado, construido con hierro ángulo y con una reja abulonada en la cara interior. Los anclajes de acero galvanizado enterrados en el suelo durarán casi tanto como la estructura en suelos de condiciones ordinarias, pero no son satisfactorios, sin protección especial, en terrenos con algún contenido de azufre, tales que los rellenos de escoria o carbonilla.

**Fundaciones de hormigón:** Estas fundaciones se usan generalmente en torres de ángulo y de amarre o final de línea y para las estructuras especiales que requieren gran resistencia, como son las de cruce de ríos, y torres en los extremos de vanos extraordinariamente largos.

**Anclajes en roca:** Estos anclajes pueden sustituir a los de acero con rejillas o bases de hormigón, en terrenos de rocas firmes. Se practican en la roca taladros de diámetro algo superior al de los pernos y se colocan los pernos, rellenando seguidamente. Los pernos de anclaje deberían abrirse en su extremo y ser colocados con cuñas.

*Estructuras especiales:* Cuando no es factible realizar la transposición de conductores en torres normales mediante crucetas adecuadas, son necesarias torres especiales. Los tramos largos sobre ríos y bahías y los cruces de carreteras principales y líneas principales y líneas más importantes de ferrocarril, requieren torres mucho más altas que las normales o torres con un factor de seguridad mayor.

## Revestimientos de protección para estructuras de acero

*Galvanización :* Para las líneas de transmisión de importancia, en las que se desea una larga duración, es practica casi universal galvanizar las torres y postes de acero, se trata de estructuras construidas en el taller y montadas con tornillos sobre el terreno, caso en el cual el galvanizado es más económico que la pintura. El método de galvanizado en baño caliente se emplea también para pernos y tuercas, repasando las roscas después del galvanizado. Las estructuras situadas cerca de industrias en que se produzcan gases sulfúricos no deben ser galvanizadas.

*Pintura :* Se recurre a la pintura en algunos casos para torres o postes preconstruidos. En general se pintan los postes construidos con remaches o soldadura y los postes especiales. En las torres situadas en zonas industriales y de humos es preferible la pintura. Para conservar las estructuras en buen estado es necesario pintarlas cada 2 o 3 años.

En estructuras enterradas en el suelo se presenta a veces un problema al nivel de terreno en donde exista humedad. En este punto, el galvanizado puede deteriorarse en poco tiempo, especialmente si el suelo contiene algún sulfuro o ácido. En estos puntos acostumbra a dar buen resultado una pintura asfáltica.

## Accesorios para las líneas

Grapas o mordazas de suspensión. En grapas de suspensión existen tipos normalizados para los conductores usuales. Se fabrican grapas sencillas, ligeras, bien proyectadas, en acero forjado y en fundición maleable para casi todas las clases de conductores. El asiento y las superficies que efectúan la presión deben ser lisos, sin codos pronunciados, para soportar el conductor según curvas suaves, largas aun en los ángulos agudos que puedan existir en la línea en caso de cambios de dirección.

Las grapas de pivote están proyectadas para constituir una unión casi completamente flexible, mediante el sistema de soportar la grapa por un pivote en la mitad de su longitud, aproximadamente en el eje del conductor. En esta forma, cualquier vibración del conductor tiende a ser transmitida por la grapa, eliminándose gran parte del esfuerzo producido con soportes fijos.

Grapas deslizantes. Ya que en las líneas mas pesadas no puede conseguirse razonablemente que las grapas de suspensión retengan el conductor con absoluta seguridad, algunas líneas especialmente pesadas se han proyectado sobre la base de que las grapas sostendrán el conductor en todas las condiciones ordinarias, pero permitirán que se deslice si su tensión es del orden de la mitad de la tensión máxima, en caso de una rotura.

Forros de cobre. Tanto las grapas de suspensión como las grapas de amarre con tornillos se suministran frecuentemente con un forro de cobre que constituye una protección para el conductor y evita toda posible acción electrolítica entre el cobre del conductor y el zinc del galvanizado de la grapa.

## Conclusión

Mediante el anterior informe pudimos dejar en claro que el funcionamiento de una línea de transmisión depende de muchos factores, no solo constructivos (aislamiento de los conductores, tipos de torre) sino también socioeconómicos. Por lo cual se deben efectuar diversos estudios para poder realizar un correcto proyecto de una línea determinada. También es de suma importancia estudiar todo el territorio por donde pasará la línea, ya que si en el transcurso de esta se encuentra una zona urbana muy concurrida, se deberá adoptar una línea subterránea por ser en estos casos la más conveniente por razones de seguridad.

Otro factor importante que se debe destacar es el de proteger la línea contra factores externos e internos, ya que estos determinan en gran medida el rendimiento continuo y adecuado de la misma.

## Bibliografía

- Libro de instalaciones de potencia. Marcelo A. Sobrevila. Editorial Marymar. 1987
- Líneas de Transporte de Energía. Luis María Checa. Editorial. Dossat S.A. 1983.
- Manual Standard del ingeniero electricista. Somaruca, Mario. Editorial Litenia. Bs. As. 1970.
- Libro Instalaciones de Potencia de Marcelo A. Sobrevila año 1987, paginas 228,229.

## Contenido

Introducción .....	1
Sistemas de transmisión .....	1
Sistemas Trifásicos .....	1
Sistemas monofásicos .....	2
Sistemas de alta tensión de Corriente Continua .....	2
Torres.....	2
Consideraciones económicas .....	2
Economía de los conductores.....	3
Tipo de construcción .....	4
Longitud del vano .....	4
Tensión mecánica de los conductores.....	4
Altura de las estructuras de apoyo.....	4
Otros datos del costo.....	4
Efecto corona.....	5
Aislamiento de las líneas .....	6
Materiales aislantes.....	7
Aisladores de soporte o aisladores rígidos.....	7
Aisladores de suspensión .....	7
Aislador pirex.....	9

Aisladores de tensión o amarre.....	9
Dispositivos de protección.....	10
Nivel de aislamiento de las líneas.....	13
Grado de aislamiento de las líneas.....	13
Protección contra descargas atmosféricas.....	14
Sistemas de protección.....	14
Conductores aéreos de tierra (cables de tierra).....	14
Tubos protectores .....	15
Estudio de la protección mediante conductor aéreo de tierra .....	15
Apantallamiento .....	16
Separación en el centro del vano .....	16
Pararrayos.....	16
Conductores de contra peso o contraantena.....	16
Estudio mecánico de vanos aéreos .....	17
Cargas en los conductores.....	17
Esfuerzos en un vano.....	18
Conductores.....	18
Normas reglamentarias.....	19
Tensiones.....	19
Líneas aéreas de alta tensión .....	19
Revestimientos de protección para estructuras de acero.....	26
Accesorios para las líneas .....	26
Conclusión .....	27
Bibliografía.....	27