

CONTENIDO



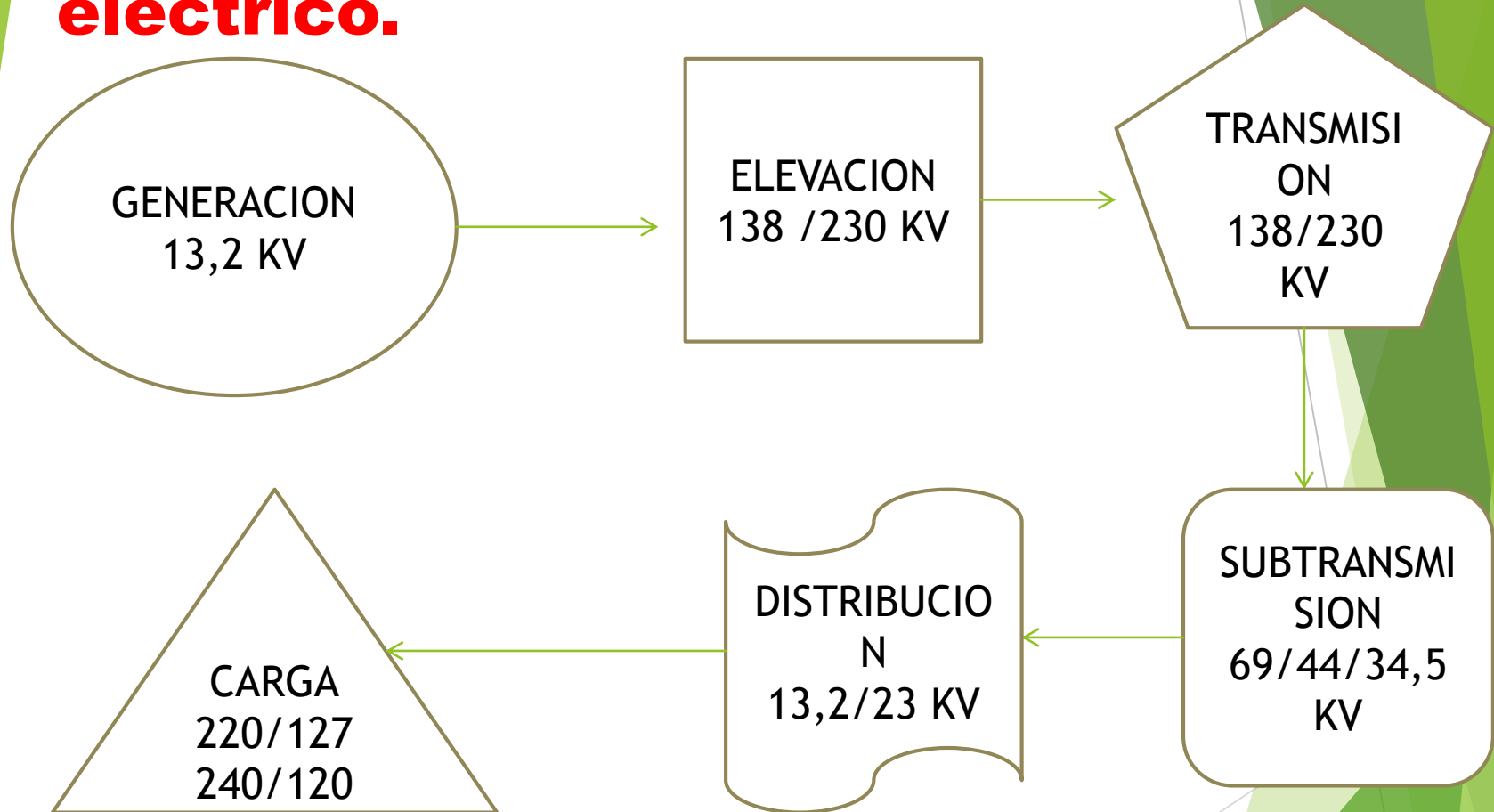
- 1. SISTEMAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA.**
- 2. MATERIALES UTILIZADOS EN LAS LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION.**
- 3. RESISTENCIA Y EFECTO SUPERFICIAL.**
- 4. INDUCTANCIA EN LAS LINEAS DE TRANSMISION.**
- 5. CAPACITANCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION.**
- 6. RELACION DE TENSION Y CORRIENTE EN LÍNEAS DE TRANSMISION.**
- 7. CALCULO MECANICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISION.**
- 8.COORDINACION DEL AISLAMIENTO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISION.**
- 9. NORMATIVIDAD APLICADA A LAS LÍNEAS DE TRANSMISION.**
- 10. GLOSARIO**
- 11.BIBLIOGRAFIA**

1. SISTEMAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA.

□ Definicion de lineas de transmisi3n y distribucion.

Es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energa elctrica desde una fuente de generaci3n a los centros de consumo (las cargas). Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energa elctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las perdidas por calor o por radiaciones las mas pequenas posibles

Elementos de un sistema de energía eléctrico.



El sistema de energía eléctrico consta de varios elementos esenciales para que realmente la energía eléctrica tenga una utilidad en residencias, industrias, etc.

Todo comienza cuando en las plantas generadoras de energía eléctrica de las cuales existen varias formas de generar la energía (plantas geotérmicas, nucleares, hidroeléctricas, térmicas, etc).

Después de ese proceso la energía creada se tiene que acondicionar de cierta manera para que en su transportación a los centros de consumo se tenga el mínimo de perdidas de esa energía, y para eso esta el proceso de elevación de voltaje.

Al transmitir la energía se tiene alta tensión o voltaje y menos corriente para que existan menores perdidas en el conductor, ya que la resistencia varia con respecto a la longitud, y como estas líneas son demasiado largas las perdidas de electricidad por calentamiento serian muy grandes.

Esa electricidad llega a los centros de distribución el cual estos ya envían la electricidad a los centros de consumo, donde estos reciben electricidad ya acondicionada de acuerdo a sus instalaciones ya sean 110, 127, 220 v, etc.

Características principales entre un sistema de distribución de C.A y C.C.

Corriente continua C.C.

- ☐ **No tiene perdidas por reactancias**
- ☐ **Tiene perdidas resistivas solamente.**
- ☐ **No tiene factor de potencia.**
- ☐ **No es fácil su transformación.**
- ☐ **Utiliza todo el conductor para conducir.**
- ☐ **Usa mayor amperaje, (I)**

Corriente alterna C.A.

- ☐ **Tiene frecuencia.**
- ☐ **Presenta una mayor caída de tensión.**
- ☐ **Tiene mayores perdidas por impedancias**
- ☐ **Es fácilmente transformable.**
- ☐ **Tiene factor de potencia.**

TAMAÑO DEL CONDUCTOR
CON LA MISMA POTENCIA
PERO CON DIFERENTE
VOLTAJE

KV	TAMAÑO
13,8	
69	
138	
230	

El desarrollo de las aplicaciones industriales de la electricidad que iniciaron a fines del siglo XIX, se orientaron sobre dos caminos, la corriente continua y la corriente alterna, esta última en distintas frecuencias exigidas en algunos casos por distintas necesidades. Pasado el tiempo se fueron unificando en las hoy difundidas 50 y 60 Hz. Si se analiza cual es la mejor frecuencia para la transmisión de potencia eléctrica a gran distancia, se observa que 50 Hz es mejor que 60 Hz, y si se intenta optimizar, se llega a la conclusión que a menor frecuencia, mejor transmisión.

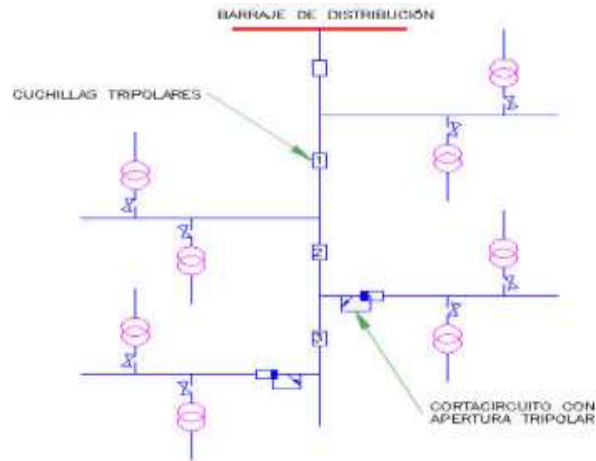
Dado que la transmisión de potencia eléctrica a distancia fue difundida hasta el año de 1930, la optimización en el aspecto de la frecuencia no fue tomada como un factor de diseño y cuando, en años posteriores, se comenzó a considerar dicho aspecto, la frecuencia a 60 o 50 Hz. era ya de uso estandarizado y difícilmente se cambiaría. Esto debido a que, tanto empresas como usuarios, contaban con sistemas que trabajaban en las frecuencias establecidas desde un principio.

Poco a poco las necesidades implicaban transmisiones de potencia eléctrica a través de canales o estrechos en el mar con distancias que superaban los 100 km, donde la transmisión de corriente alterna se hizo imposible. Dando como resultado, la aparición de las primeras transmisiones de corriente directa con dispositivos de gran tamaño con los que se contaba en la década de los sesenta.

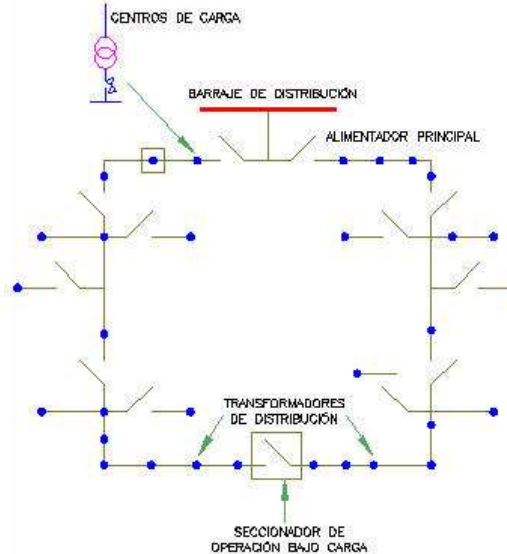
1) CALIDAD: continuidad en el servicio del voltaje.

INTERCONEXIÓN:

RADIAL



ANILLO O MALLA



Niveles de voltaje

Transmisión: 230 KV, 138 KV

Subtransmisión: 69 KV, 44 KV, 34,5 Kv

Distribución: 13,2 KV, 23 Kv

Consumo: 220/127 V trifásico ; 240/120 V monofásico

2. MATERIALES UTILIZADOS EN LAS LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION.

Existen varios materiales que son utilizados en las líneas de transmisión, esto de acuerdo a las necesidades de la línea. Por ejemplo el cobre duro es utilizado en las líneas aéreas donde se requiere mas propiedades mecánicas de tensión ya que si se pone cobre suave la línea tendera a pandearse debido a la gravedad y a su propio peso. Y en líneas subterráneas se utiliza el cobre suave, debido a que si utilizamos el cobre duro le quitaría la flexibilidad, que estas requieren para su instalación y manejo.

Material	Densidad gr/ cm3	Temp. de Fusion °C	Coef. de dilatacion $\times 10^{-4}^{\circ}\text{C}$	Temp. Ideal $R \approx 0 \, \Omega$	Resistividad Electrica(ρ) 20 °C $\Omega\text{-mm}^2/\text{km}$	Coef. termico de resistividad 20 °C	Conductividad Electrica en % con el cobre suave
Acero	7.90	1400	13	208.5	575-115	0.0016- 0.0032	3-15
Aluminio	2.70	660	24	228	28.264	0.00403	61
Cobre duro	8.89	1083	17	241	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1083	17	234.5	17.241	0.00383	100
Plomo	11.38	327	29		221	0.0040	7.8
Zinc	7.14	420	29		61.1	0.004	28.2
Estano	7.28	231.9	0.2270	269.42	120	.0046	

Usos de los materiales en la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Material	Aplicaciones	Tipo de poste	Herrajes
Aluminio	Se utiliza en distancias de 30 a 40mts.	Postes de Madera, estructuras pequeñas, concreto y hormigón	De 15000Lbs
Cobre	Se utiliza en distancias de 60 a 80 mts.	Postes de Madera, estructuras pequeñas, concreto y hormigón	De 15000Lbs
ACSR	Se usa en distancias de 100 a 120 mts.	Postes de Madera, acero y estructuras metálicas pequeñas	De 25 a 35KLbs
Cobre Hueco Aluminio Hueco	Se usa en distancias de 4 a 20 mts	Aisladores Soporte	De 3 ½ y 5 ½

EN RESUMEN LOS MATERIALES MAS UTILIZADOS SON:

- **COBRE DURO**(En líneas Aéreas)
- **COBRE SUAVE**(En líneas Subterráneas)
- **ALUMINIO o Aleación DURO**(En líneas Aéreas)
- **ALUMINIO Y ACERO ACSR DURO**(En líneas Aéreas)

Y SE RECOMIENDA USAR LOS SIGUIENTES MATERIALES EN LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

ZONA DE CORROSION	TIPO DE CABLE
LIGERA(L)	ALUMINIO CON NÚCLEO DE ACERO ACSR
MEDIA(M)	ALUMINIO CON NÚCLEO DE ALUMINIO ACSR/AW
FUERTE(F)	COOPERWELD Y COBRE (CW-CU)

Sección de los conductores utilizados en las líneas de transmisión

Existen varias formas de definir las características físicas de un conductor eléctrico, con respecto al diámetro, que tipo de aislamiento tiene, etc.

Clasificación de los conductores por la forma de su sección



1 solo hilo



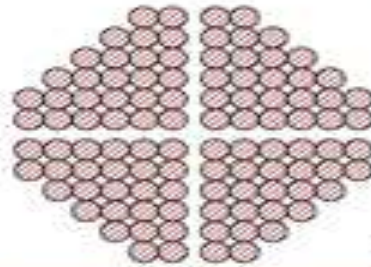
Mas de 2 hilos



Conductor hueco



Conductor seccionado



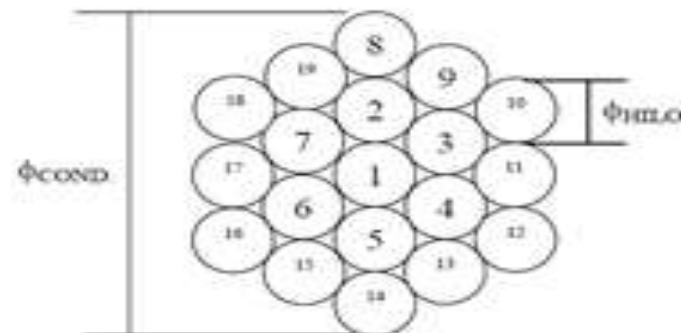
Determinación de # de hilos a través de la cantidad de capas para conductores concentricos

$$3x^2 - 3x + 1 = n$$

n = # de hilos

x = # de capas considerando al conductor central como 1

- 1) $3(1)^2 - 3(1) + 1 = 1$
- 2) $3(2)^2 - 3(2) + 1 = 7$
- 3) $3(3)^2 - 3(3) + 1 = 19$
- 4) $3(4)^2 - 3(4) + 1 = 37$

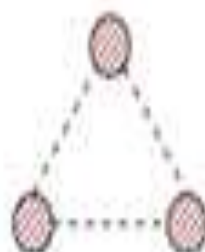


TRANSMISION POR CONDUCTORES MULTIPLES

$R_T = 1/2 R$; si $R_1 = R_2$ 2 conductores por fase



3 conductores por fase



4 conductores por fase

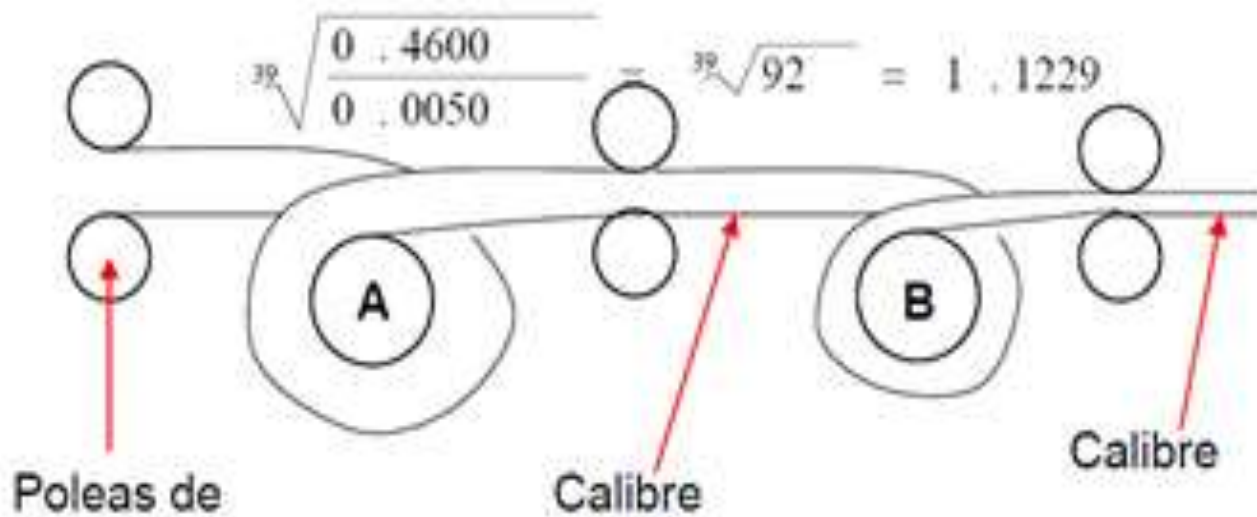


$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

Definición de AWG.

(Fuente Selección de Cables de Energía de CONDUMEX)

La "American Wire Gage", también conocida como la "Brown and Sharpe Gage", fue ideada en 1857 por J.R. Brown. Esta escala de calibres, así como algunas otras de las escalas usadas, tiene la propiedad de que sus dimensiones representan con aproximación los pasos sucesivos del proceso de estirado del mismo.



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

Definición de circular mil.

• **Es el área de área del conductor en milésimas de pulgada.
Donde un KCM = 1000CM = 0.5067 mm².**

$\phi = .001'' \phi$

Para conductores mayores a calibre 4/0 AWG

Mil: para diámetros, siendo una unidad de longitud igual a una milésima de pulgada.

Circular Mil: para áreas, unidad que representa el área del círculo de un mil de diámetro. Tal círculo tiene un área de 0.7854 mils cuadrados. Para secciones mayores se emplea la unidad designada por las siglas KCM, antiguamente MCM, que equivale a mil circular mils. Reglas prácticas. Existen una serie de reglas útiles que deben recordarse, aplicables a la escala de calibres AWG:

**Escala Milimétrica INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC**

La escala de la "International Electrotechnical Commission" es la más usada en la actualidad, excepto en países como Estados Unidos y la mayor parte de los latinoamericanos. En sí, la escala consiste en proporcionar la medida directa de las áreas transversales de los conductores, en milímetros cuadrados.

En las tablas siguientes se muestran los valores correspondientes de la escala AWG, su equivalente en mm² y el calibre en la escala milimétrica IEC

Designación mm ² o KCM		Área de la sección transversal mm ²	Número de alambres	Diámetro exterior nominal mm	Peso nominal kg/km
—	8	8.37	7	3.40	75.9
—	6	13.30	7	4.29	120.7
—	4	21.15	7	5.41	191.9
—	2	33.60	7	6.81	305.0
—	1	42.40	19	7.59	385.0
50	—	48.30	19	8.33	438.0
—	1/0	53.50	19	8.53	485.0
—	2/0	67.40	19	9.55	612.0
70	—	69.00	19	9.78	626.0
—	3/0	85.00	19	10.74	771.0
—	4/0	107.20	19	12.06	972.0
—	250	126.70	37	13.21	1,149.0
150	—	147.10	37	14.42	1,334.0
—	300	152.00	37	14.48	1,379.0
—	350	177.30	37	15.65	1,609.0
—	400	203.00	37	16.74	1,839.0
240	—	239.00	37	18.26	2,200.0
—	500	253.00	37	18.69	2,300.0
—	600	304.00	61	20.60	2,760.0
—	750	380.00	61	23.10	3,450.0
—	800	405.00	61	23.80	3,680.0
—	1,000	507.00	61	26.90	4,590.0

CLASIFICACION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

Cortas: Con una longitud menor a los 80 km.

Medianas: Con longitudes entre los 80 y 220 km.

Largas: Con longitudes mayores a los 220 km.

COMPONENTES DE UN LINEA DE TRANSMISION

Las líneas aéreas están constituidas por:

- ☐ **Conductores**
- ☐ **Estructuras metálicas (torres)**
- ☐ **Aisladores**
- ☐ **Herrajes**
- ☐ **Banco de capacitores**
- ☐ **Apartarrayos**
- ☐ **Seccionadores**
- ☐ **Cuchillas e interruptores**
- ☐ **Pararrayos**
- ☐ **Hilos de guarda**

El aislamiento entre conductores lo proporciona el aire y el aislamiento entre los conductores y tierra se obtiene por medio de las cadenas de los aisladores.

❑ Conductores

Para la construcción de L/T generalmente se emplea conductores tipo ACSR que están compuestos de un alma de acero que tiene principalmente funciones mecánicas y externamente una o más capas de hilos de aluminio devanadas en forma de espiral. En las líneas de 230 KV se usan dos conductores por fase con el objetivo de reducir la inductancia y el efecto corona.



ACSR 720/50

Los tipos y calibres de conductores normalmente usados en las líneas de transmisión son los siguientes:

- ❑ Para 400 KV: ACSR 1113 KCM**
- ❑ Para 230 KV: ACSR 900 KCM, ACSR 795 KCM, ACSR 1113 KCM**
- ❑ Para 138 KV: ACSR 477 KCM, ACSR 795 KCM**

Desde el punto de vista eléctrico, los factores que se deben considerar para la selección de un determinado tipo de conductor son:

- Capacidad de conducción de corriente**
- Máxima caída de tensión permisible**
- Límite económico de pérdidas**
- Límite de pérdidas por efecto corona**
- Nivel máximo permisible de ruido**

Para la operación de una L/T, se puede hacer un estudio de cargabilidad en una línea de transmisión.

La cargabilidad se expresa por medio de curvas que relacionan la longitud de la línea con la carga de la misma, el término cargabilidad no se refiere específicamente a las propiedades físicas del conductor, como por ejemplo el límite térmico, más bien se analizan ciertos criterios que definen esta cargabilidad y que básicamente son los siguientes:

- ✓ **El límite térmico permisible**
- ✓ **La máxima caída de voltaje permisible en la línea**
- ✓ **El margen de estabilidad en estado permanente**

Este tipo de aislador o llamado también tipo disco es el más empleado en redes de transmisión de energía eléctrica, se utilizan cadenas de aisladores para suspender el conductor, el número de elementos aisladores que debe tener la cadena se determina por la tensión de servicio en la línea de transporte de energía. Así, en las líneas a 110 kV, las cadenas suelen tener 6 ó 7 elementos aisladores y en las líneas a 220 kV, 10 a 12. Existen aisladores de suspensión de 6"y 10" los cuales soportan un esfuerzo mecánico de 10.000 y 15.000 libras.

❑ Estructuras metálicas (torres)

La normalización que se lleva a cabo permite contar con cuatro torres que podrán utilizarse en forma segura y económica en el diseño de líneas de transmisión de 138, y 230 KV en cualquier zona del país bajo condiciones climáticas y topográficas diversas, y así reducir los costos de diseño, fabricación, instalación y mantenimiento.

❑ **Torres de Acero**

Las torres o estructuras metálicas como se sabe constituyen el soporte mecánico de las líneas de transmisión y económicamente hablando representan la mayor inversión, se construyen principalmente de acero o cemento armado para distribución y subestación.

Por su tipo, pueden ser:

- Torres autosoportadas por celosía.**
- Torres autosoportadas tubulares.**
- Torres con retenidas.**
- Torres Autosoportadas por Celosías**

Las torres autosoportadas constituyen prácticamente la totalidad de las estructuras usadas en líneas de transmisión en alta tensión. Su nombre se debe a que mecánicamente no requieren apoyos adicionales para trabajar como elementos sujetos a los esfuerzos de tensión y compresión debidos a cargas de conductores, aisladores y elementos externos de presión de viento, carga de hielo en algunas regiones, etc., además del tensionado normal para montaje; distancia interpostal (es decir distancia media entre dos torres también conocidas como horizontal).

Clasificación:

- **Tipo Suspensión.**
- **Tipo Tensión.**
- **Tipo Remate.**
- **De Transposición.**

■ **Estructuras tipo suspensión**

Son las más usadas en las líneas de transmisión.



▪ Estructuras tipo tensión

Las torres de tensión se aplican en menor número para cambios de dirección, cruzamientos y zonas en donde se requiere obtener una mayor altura de los conductores.



▪ Estructuras tipo remate

Se usan en las llegadas o salidas de subestaciones eléctricas y pueden ser de suspensión o de tensión dependiendo del ángulo de llegada o salida a la subestación preferentemente se usan de tipo suspensión.



▪ Estructuras tipo transposición

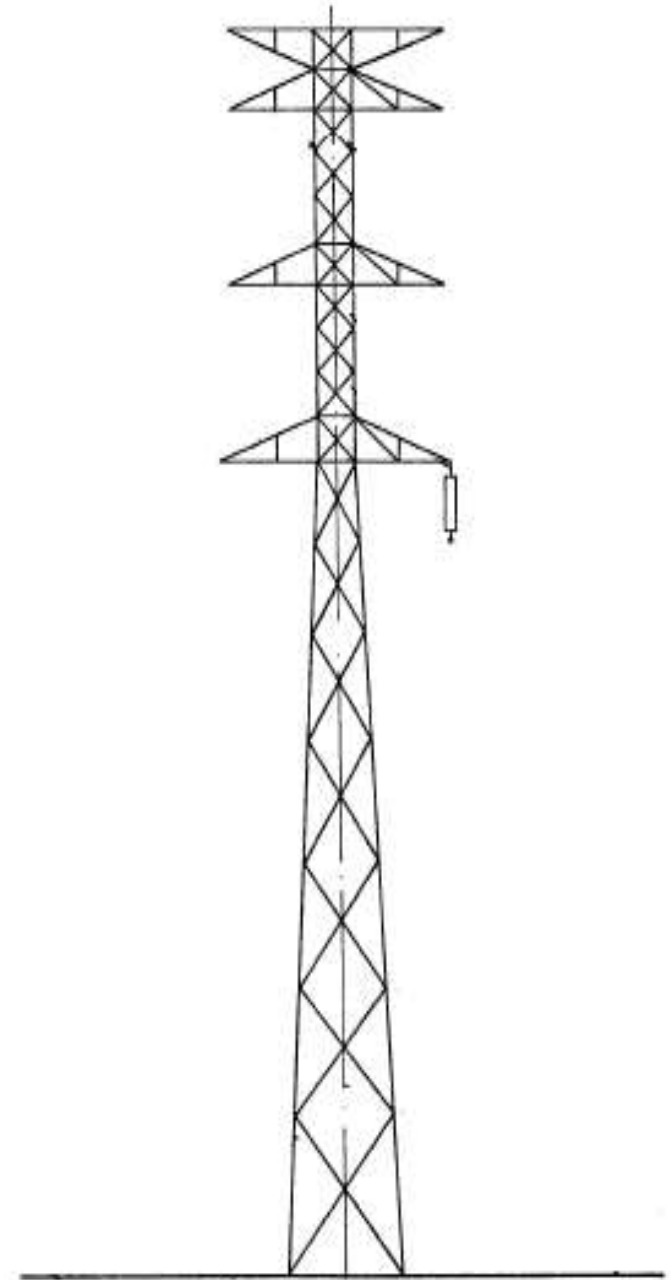
Estas torres tienen un diseño similar a las de suspensión y se usan para alternar la posición de los conductores de fase de las líneas de transmisión, se aplican pocas en una línea de transmisión y dependen en cierto modo de la longitud de las mismas.



▪ **Torres Autosoportadas Tubulares**

Estas también son soportadas en el mismo concepto de las tipo celosía, la diferencia está en que no se construyen como las de celosía con ángulos o perfiles, sino que se usa un tubo de acero, lo que hace que sean más compactas pero también su costo es superior a igualdad de condiciones de operación, son diseñadas para trabajar en suspensión o tensión al igual que las de celosía.

Debido a su alto costo, su uso está restringido a zonas donde se tienen problemas de disponibilidad de terreno para construir la línea y de estética, es decir, se aplican preferentemente en zonas urbanas con diseños compactos en donde se usan aislamientos sintéticos, es decir, un aislamiento no convencional a base de discos de vidrio o porcelana.



▪ **Torres con Retenidas**

Se usan con un trabe horizontal sostenida con uno o dos puntos que trabajan exclusivamente a compresión, la estabilidad mecánica se asegura por medio de tirantes (retenidas) con la disposición apropiada.



❑ AISLADORES

El aislamiento en líneas de transmisión comprenden principalmente dos elementos:

- El aire y
- Los aisladores.

Los factores que se deben tomar en cuenta en las líneas de transmisión para un buen desempeño del aislamiento son:

- Espaciamientos mínimos línea-estructura,
- Espaciamientos línea-tierra
- Espaciamientos entre fases,
- El grado de contaminación del entorno,

❑ EL AIRE EN EL AISLAMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISION

El aire es sin lugar a dudas el más usado de los aislantes para líneas de transmisión de energía. Los factores que pueden influir a la rigidez dieléctrica del aire son:

- Densidad del aire.
- Altura sobre el nivel del mar.
- Humedad y presencia de partículas contaminantes.

Este último factor adquiere gran importancia en el diseño y manutención de los elementos aisladores.



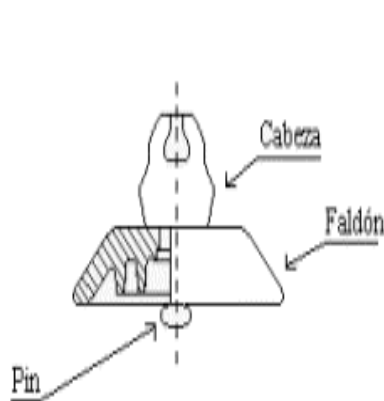
RIGIDEZ DIELECTRICA.swf

❑ AISLADORES DE LÍNEA.

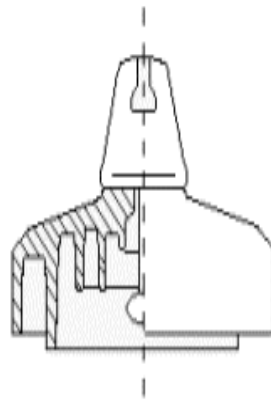
En las líneas de transmisión se distinguen básicamente tres tipos de aisladores:

- Suspensión.
- Barra larga.
- Poste.

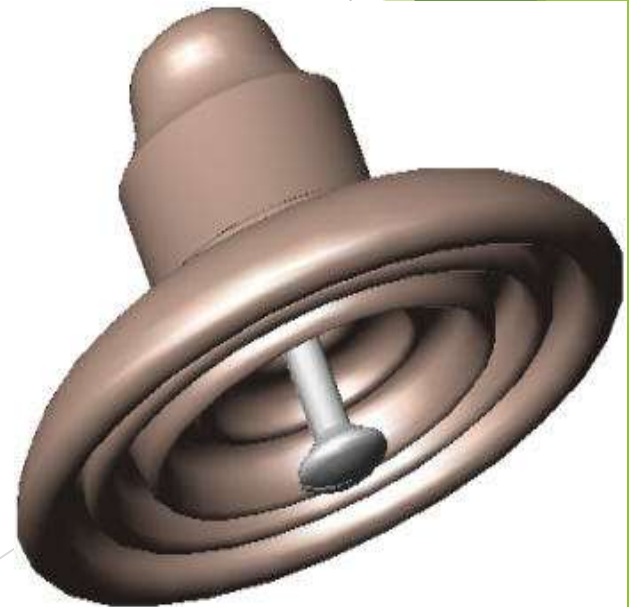
❑ Los aisladores de suspensión o disco ANSI 52-1, son los más empleados en las líneas de transmisión, se fabrican de vidrio o porcelana uniéndose varios elementos para conformar cadenas de aisladores de acuerdo al nivel de tensión de la línea y el grado de contaminación del entorno.



Aislador de disco standard
(254 x 146 mm)



Aislador de disco para nieblas



❑ **Los aisladores de barra larga** comenzaron a desarrollarse hace 30 años. Constituyen elementos de una sola pieza y se fabrican de porcelana o de materiales sintéticos (composite insulators). Estos aisladores requieren menos mantenimiento que los del tipo disco, no obstante su costo es más elevado. En estas figuras se aprecia aisladores de barra larga sintético.



❑ **Los aisladores tipo poste** se fabrican con porcelana o materiales sintéticos. Se utilizan poco en líneas de transmisión y para tensiones por sobre 230 kV. Su principal aplicación está en aparatos de subestaciones.



Desde el punto de vista de condiciones ambientales los aisladores se fabrican de dos tipos:

- **Normales.**
- **Para ambiente contaminante (tipo niebla).**

Por su construcción los aisladores pueden ser:

- **Tipo alfiler.**
- **Tipo suspensión.**

Los aisladores de porcelana vidriada por lo general contienen un 50% de caolín, 25% de feldespatos y 25% de cuarzo, la porcelana debe ser moldeada por los procedimientos en húmedo, homogénea, compacta sin porosidad y toda la superficie después de armado debe ser verificada

PRUEBAS

Se clasifican de la siguiente manera:

- **Pruebas eléctricas de fabricación**
- **Pruebas de aisladores simulando condiciones ambientales y de polución**
- **Pruebas de campo.**
- **Pruebas mecánicas.**

a) Pruebas eléctricas de fabricación

Estos ensayos incluyen las pruebas para determinar las tensiones disruptivas en aisladores a frecuencia industrial y ante impulso. Estas pruebas se describen con detalle en la norma ANSI C 29.1-1982.

Otro ensayo realizado en el proceso de fabricación de aisladores es la detección de descargas parciales, sean estas descargas externas e internas. Para la primera se emplea el método de detección visual de corona y para las descargas internas se aplica la técnica de la radio interferencia.

b) Pruebas de aisladores simulando condiciones ambientales y de polución.

Estos ensayos se llevan a cabo en cámaras especiales y simulan las distintas condiciones a las que se vería sometido un aislador a la intemperie. Los ensayos más empleados son:

Prueba de la lluvia artificial.

Método de la neblina normal.

Método de la neblina salada.

Últimamente han surgido nuevos ensayos desarrollados por la STRI (Swedish Transmission Research Institute) y que pretenden simular de manera más fidedigna las condiciones de polución a las que se sometería el aislador en la realidad. entre estos métodos destacan:

Método de la capa de sal seca.

Método del ciclo de polvo.

El primer método constituye un ensayo que permite simular, de manera más real que la técnica de la neblina salada, el aire marino propio de las zonas costeras. Por su parte, el método del ciclo de polvo fue desarrollado con el fin de habilitar una técnica que simule distintas condiciones ambientales de contaminación para aisladores cerámicos y sintéticos por medio de un solo método.

c) Pruebas de campo.

Estos ensayos se realizan en el mismo lugar donde se ubica el aislador o cadena de aisladores a probar, por lo general se llevan a cabo en línea viva, vale decir sin necesidad de desenergizar la línea de transmisión a la cual pertenecen estos elementos. los ensayos de campo de aisladores incluyen a los siguientes:

- **Monitoreo de la corriente de fuga a través de la superficie del aislador.**
- **Detección de fallas mediante métodos acústicos.**
- **Detección de fallas mediante medición y registro de campo eléctrico.**

El objetivo principal de estas pruebas es detectar aisladores defectuosos o dañados en servicio y prevenir eventuales fallas en estos mediante un control periódico.

d) Pruebas mecánicas.

Las pruebas mecánicas a las que se someten los aisladores tienen el objetivo de determinar si el elemento tendrá la suficiente resistencia mecánica en el sostenimiento del peso de la línea de transmisión, viento, lluvia, nieve y acciones vandálicas.

□ HERRAJES DE L/T

Los herrajes y los accesorios son elementos importantes en las L/T eléctricas, son los elementos encargados de realizar la fijación del aislador a la torre, al conductor, para asegurar a la estructura con las partes indispensables de la L/T como los aisladores y conductores; entre los cuales podemos mencionar los siguientes:



GRAPA REMATE ALUMINIO Y HIERRO MALEABLE

Usadas en líneas de distribución. Para cables de aluminio ACSR y cable de cobre.



GRAPA DE SUSPENSION DE ALUMINIO Y HIERRO DUCTIL

Usadas en líneas aéreas de distribución y transmisión.

Para cables de aluminio ACSR, y cable de cobre.



GRAPA REMATE DE ALUMINIO Y HIERRO MALEABLE

Usadas en líneas aéreas de Distribución y transmisión.

Para cables de aluminio ACSR, y cable de cobre



EMPALME DE COMPRESION

Con manguito exterior de Aluminio y manguito interior de acero cadminizado.

Usados para líneas de transmisión. Para unir dos cables de aluminio ACSR.



CADENA DE SUSPENSIÓN

Varios rangos de voltaje y resistencia mecánica. Las grapas dispondrán de una arandela y un pasador de seguridad para impedir la salida del bulón.



CADENAS DE ANCLAJE

Para remate de cable de guarda.



Grapas de Suspensión

Fabricados En aluminio de alta resistencia para conductores de aluminio.



Cadenas de Anclaje

Varios rangos de voltaje y resistencia mecánica.



Remates de Compresión

Alta Confiabilidad y fácil instalación.



Horquillas de Bola

En acero forjado varios tipos y tamaños. según sea el tipo de enlace entre el vástago y la caperuza. Dispondrá de un pasador de seguridad adecuado para garantizar la fijación de la tuerca.



Yugos

Sencillos, múltiples y especiales de acero galvanizado en forma de triángulo, rectángulo y Yugos trapecio.



Grapas Mecánicas

De aluminio en varios calibres.



Grilletes

De hierro y acero forjado varios tipos y tamaños. Cuando se desee dar mayor longitud a la cadena , en vez de la horquilla bola, se utilizará el grillete normal y la anilla bola. Dispondrá de una arandela y un pasador de seguridad adecuados para impedir la salida del burlón.



Horquillas

De hierro y acero forjado en varias medidas con entrada bola o calavera.

Amortiguadores espaciadores

Recomendaciones generales



El amortiguador está diseñado para soportar las fuerzas y los movimientos ocasionados por condiciones transitorias tales como cortos circuitos, congelación diferencial y carga de vientos, sin causar daño a los subconductores o daño sostenido a estos mismos.

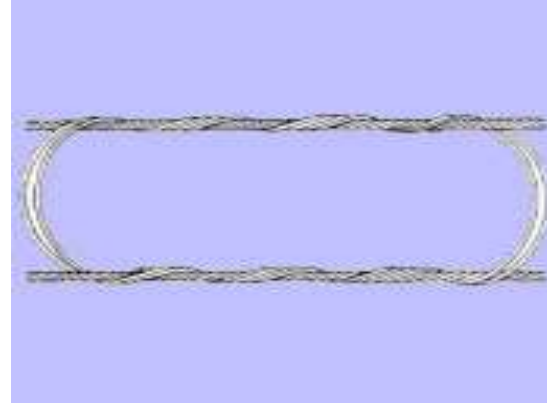
Los amortiguadores espaciadores controlarán tanto la vibración a eólica como la oscilación de los subconductores a niveles que se reconoce son aceptables para la industria y para las necesidades expresas del cliente. Corona y Voltajes de radio interferencia (RIV)

Los amortiguadores espaciadores están diseñados para proporcionar un rendimiento satisfactorio al voltaje de operación de las líneas de transmisión.

Estos movimientos son posibles debido a las propiedades de los elementos elastoméricos amortiguadores. Hay dos por brazo, uno a cada lado. Están compuestos especialmente para proporcionar una larga vida bajo condiciones de presencia de ozono, luz ultravioleta, extremas temperaturas y movimiento continuo de los conductores.

Amortiguadores de horquilla

Recomendaciones generales



Los espaciadores de horquilla proporcionan un espaciamiento uniforme, características eléctricas consistentes, tienen un efecto atenuador en los movimientos inducidos por el viento tales como la vibración aeólica y la oscilación de los subconductores. Previene que los subconductores se enreden por efectos galopantes, cargas de hielo y corrientes de falla. Los espaciadores de horquilla están diseñados para no presentar el efecto corona a voltajes de operación hasta de 500 y 750 KV. .

Ubicación

El movimiento de conductores es amplia y variada y la ubicación del espaciador es para la protección contra fuerzas puramente electromecánicas debido a corto circuitos, las longitudes de separación debe limitarse a 83 metros (250 pies).

Sin embargo, dependiendo de varios factores críticos relativos a las tensiones, al terreno, a los criterios de velocidad y dirección del viento, la recomendación para la ubicación de cada espaciador de horquilla requerirá un cierto grado de asimetría dependiente de la instalación específica usando la información manifestada por el usuario.

Amortiguadores hueso de perro



Los amortiguadores hueso de perro (dogbone) están diseñados para eliminar el daño por fatiga del conductor y los costos de mantenimiento de línea al disminuir efectivamente la vibración aeólica, por lo que se admite aumentar las tensiones de línea.. La impedancia mecánica del amortiguador está hecha para coincidir con el conductor y optimizar el rendimiento. Las masas desbalanceadas de la forma del hueso de perro introduce un modo de vibración torsional amortiguando que no se presenta en los amortiguadores convencionales del tipo Stockbridge. Los amortiguadores hueso de perro están diseñados para no presentar el efecto corona a ningún voltaje de operación.

Amortiguadores espirales de vibración



La hélice más pequeña está diseñada para sujetarse por compresión al conductor. La hélice mayor está diseñada para la amortiguación.

El amortiguador espiral de vibraciones se considera como el método más efectivo para reducir la vibración aeólica de alta frecuencia en el conductor y la estática en tamaños inferiores a $\frac{3}{4}$ de diámetro.

Las siguientes recomendaciones se deben adoptar a las condiciones específicas. Se les debe dar especial consideración a los amortiguadores espirales de vibración cuando las distancias excedan 100 metros o 350 pies o a una tensión del 15% a 15 oC (60oF).

Se recomienda instalar un amortiguador espiral de vibración en ambos lados del punto de apoyo a aproximadamente una distancia igual al ancho de la mano desde los extremos de las varillas de armadura de los accesorios.

Boyas marcadoras Spanguard



Las boyas marcadoras se construye de ABS rovel, un material que tiene 10 veces la capacidad ambiental y la retención de color que la fibra de vidrio. El ABS Rovel es mucho mas durable y a diferencia de la fibra de vidrio no se fractura si se le impacta con tiros de armas de fuego. Las marcadoras SpanGuard están disponibles en tres colores: Naranja, blanco y amarillo.

**Se recomienda utilizar marcadoras de 36" en altos cruces peligrosos de los ríos. Se permiten marcadores menores, de 20", en líneas de energía menos extensas o en líneas en la proximidad de aeropuertos a menos de 16 metros (50 pies).
Revestimiento VEA**

Las marcadoras de línea SpanGuard normales sin tratamiento con revestimiento para VEA (voltajes extremadamente altos) se han utilizado muy exitosamente al montarse en líneas hasta de 200 KV o cuando se han montado en cable de tierra estático en sistemas de alto voltaje. Las pruebas han arrojado que por arriba de los 220 KV se inicia el efecto corona desarrollandose en los bordes y bridas afiladas. Por lo tanto, se desarrollaron las bridas de 24 y 36 pulgadas sin revestimiento VEA y con un revestimiento superficial interno carente de corona. El revestimiento VEA se recomienda para todas las instalaciones en las que la marcadora se monte en una línea por arriba de 200 KV. Los modelos VEA han sido instalados exitosamente en 500 KV.

3. Características de una Línea de Transmisión

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas, como la conductancia y la constante dieléctrica del aislante, y sus propiedades físicas, como el diámetro del cable y los espaciamientos entre conductores.

Estas propiedades, a su vez, determinan las constantes eléctricas primarias:

- ☐ **Resistencia.**
- ☐ **Inductancia.**
- ☐ **Capacitancia en derivación.**
- ☐ **Conductancia en derivación.**

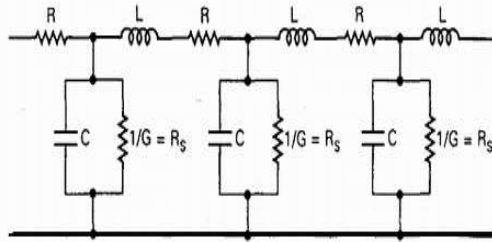
La resistencia y la inductancia se presentan a lo largo de la línea, mientras que entre conductores y tierra ocurren la capacitancia y la conductancia.

Las características de una línea de transmisión se llaman constantes secundarias y se determinan con las cuatro constantes primarias.

□ Tipos de líneas de transmisión

Se clasifican generalmente como balanceadas y desbalanceadas

- **Líneas balanceadas de dos cables**, ambos conductores llevan una corriente; un conductor lleva la señal y el otro es el regreso, también llamada diferencial.



C = capacitancia - dos conductores separados por un aislante
 R = resistencia - oposición al flujo de corriente
 L = autoinductancia (inductancia propia)
 $1/G$ = resistencia de dispersión del dieléctrico
 R_s = resistencia de dispersión en derivación

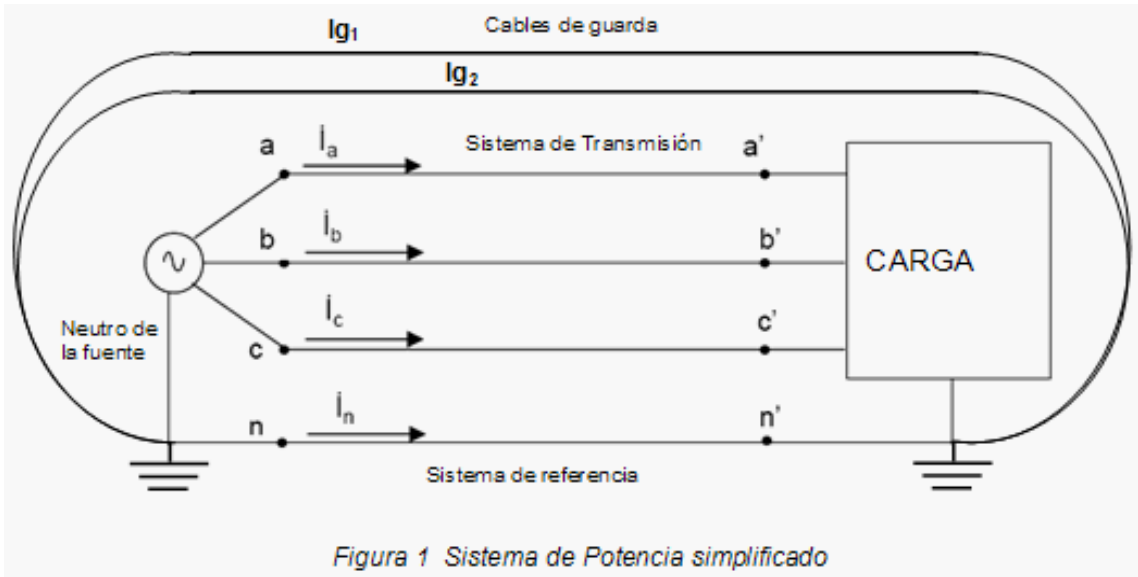
Figura 8-9 Línea de transmisión de dos cables paralelos, circuito equivalente eléctrico.

La señal que se propaga a lo largo del cable se mide como la diferencia de potencial entre los dos cables. Las corrientes que fluyen en direcciones opuestas por un par de cable balanceados se les llaman corriente de circuito metálico.

Las corrientes que fluyen en las mismas direcciones se llaman corrientes longitudinales. Un par de cables balanceados tiene la ventaja que la mayoría de la interferencia por ruido (voltaje de modo común) se induce igualmente en ambos cables, produciendo corrientes longitudinales que se cancelan en la carga.

Cualquier par de cable puede operar en el modo balanceado siempre y cuando ninguno de los dos cables esté con el potencial a tierra, La cubierta metálica generalmente se conecta a tierra para evitar interferencia estática al penetrar a los conductores centrales

▪ **Línea de transmisión desbalanceada**



Un cable se encuentra con el potencial de tierra, mientras que el otro cable se encuentra en el potencial de la señal. Este tipo de transmisión se le llama transmisión de señal desbalanceada o de

terminación sencilla. Con la transmisión de una señal desbalanceada, el cable de la tierra también puede ser la referencia a otros cables que llevan señales.

Líneas de Transmisión de Cable Abierto

Una línea de transmisión de cable abierto es un conductor paralelo de dos cables. Consiste simplemente de dos cables paralelos, espaciados muy cerca y sólo separado por aire. Los espaciadores no conductivos se colocan a intervalos periódicos para apoyarse y mantenerse a la distancia entre las constantes entre los conductores. Las distancias entre los dos conductores generalmente están entre 2 y 6 pulgadas.

El dieléctrico es simplemente el aire, entre y alrededor de los conductores en donde se propaga la onda transversal electromagnética. La única ventaja real de este tipo de línea de transmisión de cable abierto es su construcción sencilla. Ya que no hay cubiertas, las pérdidas por radiación son altas y susceptibles a recoger ruido. Por lo tanto, las líneas de transmisión de cable abierto normalmente operan en el modo balanceado.

❑ Cables Protegido con Armadura

Para reducir las pérdidas por radiación e interferencia, frecuentemente se encierran las líneas de transmisión de dos cables paralelos en una malla metálica conductiva. La malla se conecta a tierra y actúa como una protección.

La malla también evita que las señales se difundan más allá de sus límites y evita que la interferencia electromagnética llegue a los conductores de señales.

❑ Pérdidas en la línea de transmisión

Las líneas de transmisión frecuentemente se consideran totalmente sin pérdidas. Sin embargo, en realidad, hay varias formas en que la potencia se pierde en la línea de transmisión, son:

- ❑ Pérdida en el conductor**
- ❑ Pérdida por radiación por el calentamiento dieléctrico**
- ❑ Pérdida por acoplamiento**
- ❑ Descarga luminosa (efecto corona)**

Debido a que la corriente fluye a través de una línea de transmisión y la línea de transmisión tiene una resistencia finita, hay una pérdida de potencia inherente e inevitable. Esto a veces se llama pérdida del conductor o pérdida por calentamiento del conductor y es, simplemente, una pérdida por Efecto Joule ($I^2 \cdot R$)

Debido a que la resistencia se distribuye a lo largo de la línea de transmisión, la pérdida por calentamiento del conductor es directamente proporcional a la longitud de la línea. Además, porque la disipación de potencia es directamente proporcional a la corriente, la pérdida del conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica.

Para reducir las pérdidas del conductor, simplemente debe acortarse la línea de transmisión, o utilizar un cable de diámetro más grande, debe considerarse que al cambiar el diámetro del cable, también cambia la impedancia característica y en consecuencia, la corriente.

Las propiedades de los materiales también son utilizadas para seleccionar el tipo de conductor según las necesidades de la instalación y se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Determinación de la resistencia por material.
- Corrección por trenzado.
- Corrección por temperatura.
- Corrección por efecto piel o superficial.

❑ Determinación de la resistencia por material

▪ Resistencia de la Línea

La resistencia en conductores de una línea es causa de las pérdidas por transmisión, las cuales están dadas por la expresión I^2R , donde I es la corriente que fluye a través de conductor y R es la resistencia del mismo. Estas pérdidas tienen que ser mínimas, lo cual depende de un diseño adecuado de la línea, tomando en consideración factores como el calibre de conductores, número de los mismos por fase, tipo de material e influencia del medio ambiente, entre otros.

❑ Resistencia Ohmica del conductor

Es la oposición que presenta el conductor al paso de la corriente y debido a esto es que existe pérdidas de potencia y energía que tienen que ser cuantificados

La resistencia Ohmica al paso de la cc. se caracteriza por tener una densidad de corriente distribuida uniformemente en toda la sección transversal del conductor, la cual puede calcularse mediante la expresión siguiente donde:

$$R_0 = \frac{\rho l}{A} \quad \Omega$$

ρ = *resistividad del material conductor ($\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$)*

l = *longitud del conductor (m)*

A = *área efectiva de la sección transversal del conductor (mm^2)*

El ρ eléctrico varía con la temperatura y esta variación es aproximadamente lineal dentro de los niveles de energía de la L/T y está expresada por la ecuación:

$$R = R_0(1 + \alpha (t_2 - t_1))$$

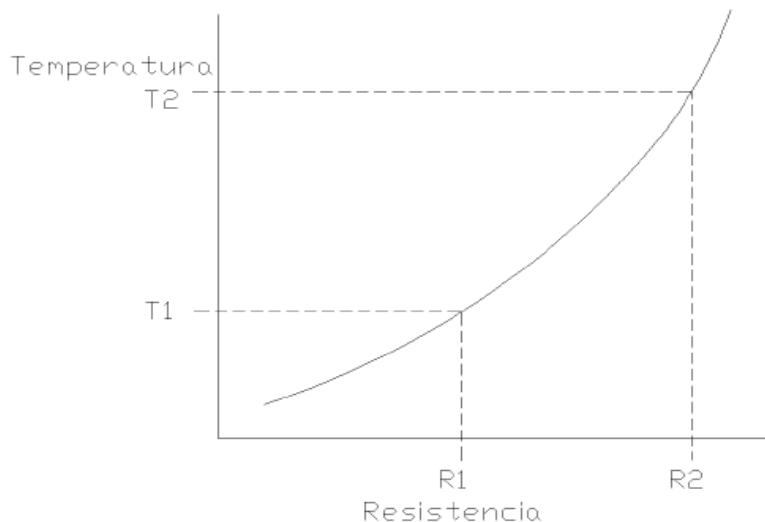
R_0 = Resistencia Ohmica con c.c. (dado a 0°C a 20°C) a la temperatura t_1

α = Coeficiente característica de cada material de variación de la resistencia eléctrica en función de la temperatura es decir es un coeficiente de variación de temperatura.

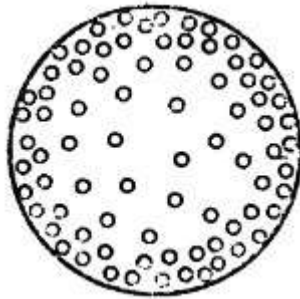
R_2 = resistencia óhmica con c.c. a la temperatura t_2

Un conductor a mayor temperatura este presenta mayor resistencia. A menor temperatura tiene menor resistencia, así lo podemos ver en la grafica.

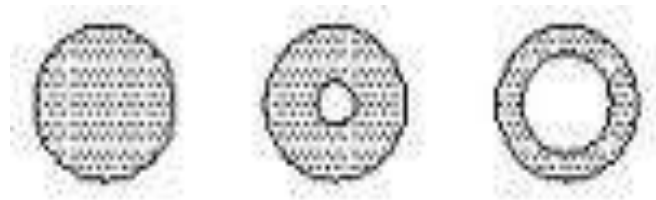
C. Correccion por temperatura.



Con c.c. la distribución de la corriente en la sección del conductor es uniforme



Con c.a. conforme se aumenta la frecuencia, la corriente trata de circular más por las capas exteriores del conductor, disminuye la resistencia del conductor



Efecto superficial o pelicular (Kelvin) o Skin

Por lo tanto en este caso se pueden utilizar cables huecos.

❑ Resistencia Efectiva: es la resistencia real que presente el conductor tomando en cuenta el fenómeno skin.

Ref=Pérdidas de Potencia/I²

$$R_{ef} = R \times K$$

R= Resistencia Ohmica de c.c.

K= Coeficiente superficial

Para conductores menores a 4/0 el efecto pelicular no es muy importante.

$$K = f(x)$$

$$X = 2 \pi r \sqrt{\frac{2f \cdot \mu}{\rho \cdot 10^9}}$$

r= radio del conductor (cm)

f= frecuencia (ciclos/seg)

ρ = resistividad volumétrica (Ω/cm^3)

μ = Permeabilidad relativa del material

INDUCTANCIA EN LAS LINEAS DE TRANSMISION. (L)

► Al circular corriente por un conductor se produce un campo magnético y las líneas de fuerza de este campo forman un anillo cerrado alrededor del conductor, una variación de la corriente produce una variación de las líneas de fuerza del campo magnético y esa variación del campo produce una fuerza electromotriz (f.e.m)



La inductancia es una relación entre la f.e.m. inducida y la corriente que la produjo y está dada mediante la expresión:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} * l_n \frac{D}{\text{RMG}} \left(\frac{\text{Henrios/m}}{\text{conductor}} \right)$$

$\mu_0 =$ **Permeabilidad del vacío** $= 4\pi * 10^{-7}$

D = Distancia de separación entre conductores (m)

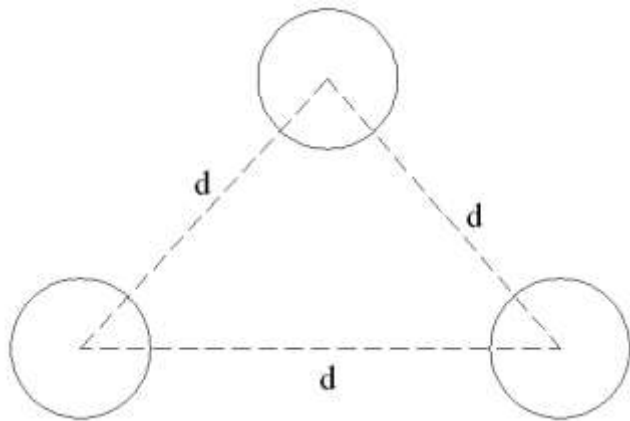
RMG = Radio Medio Geométrico del conductor (m)

RMG = radio equivalente del conductor eje: cuando el conductor de la L/T es cilíndrico

RMG = $0,7788 * r$

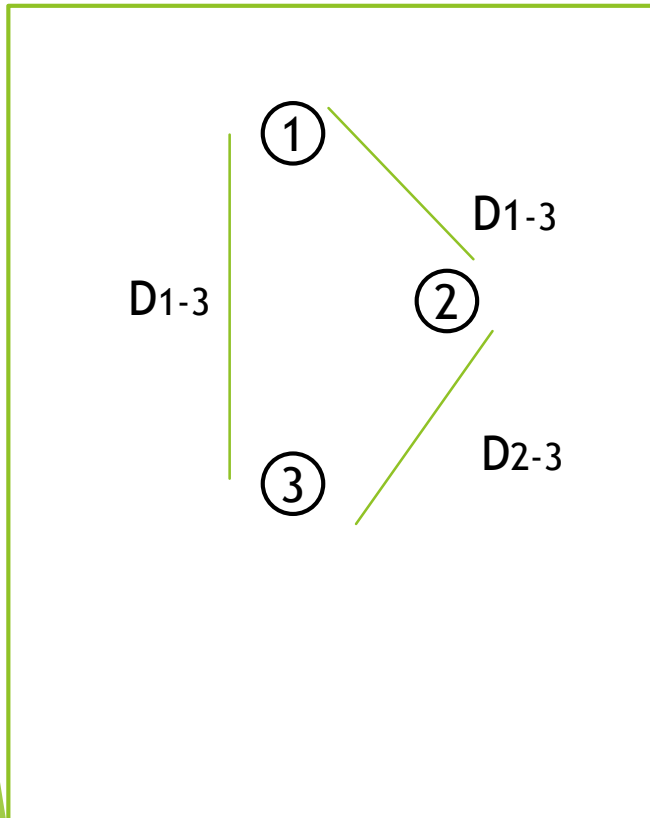
r = radio físico del conductor

Cuando se trata de un cable por ejemplo no obedece a la expresión anterior

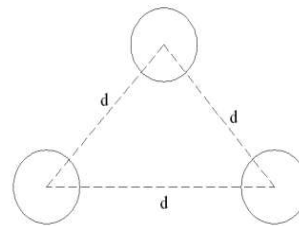


- ▶ ***L = Inductancia/conductor (Henrio/m)***
- ▶ ***L/T es trifásica (normalmente)***
- ▶ ***Disposición simétrica (L) es la misma es decir:***
- ▶
$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} * \ln * \frac{D}{RMG} \quad \left(\frac{H/m}{fase} \right)$$

En general la L/T es trifásica tiene una disposición asimétrica. Debido a la asimetría (L) es diferente para cada fase



- Teóricamente le hacemos una disposición equilátera



DMG= (d) Distancia equivalente

RMG= Distancia
media geométrica

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln^* \frac{DMG}{RMG} \quad \left(\frac{\text{Henrios/m}}{\text{fase}} \right)$$

valor promedio por fase

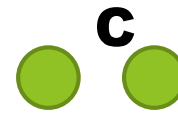
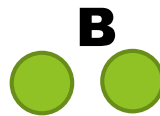
$$DMG = \sqrt[3]{D_{1-2} * D_{1-3} * D_{2-3}}$$

Distancia equivalente para obtener la (L) promedio de una disposición asimétrica

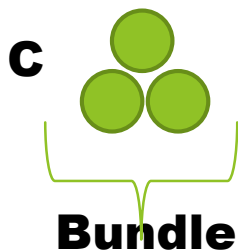
Para transmitir grandes bloques de energía y al entregar grandes voltajes se utilizan L/T compuestas por varios conductores en cada fase.

❑ Líneas de Transmisión con conductores en Bundle

Eje: 2conductores/fase (Disposición asimétrica horizontal)



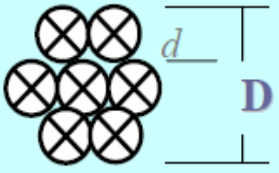
Eje: 3conductores/fase (Disposición asimétrica en triángulo)



Los conductores que forman el BUNDLE van unidos por todo el largo de la L/T mediante espaciadores para mantenerlos paralelos



Tabla. Areas para las diferentes secciones.

<i>Forma de la seccion</i>	<i>Area de la seccion</i>	<i>Area nominal.</i>
	$A=(\pi D^2/4)$	$A=(\pi D^2/4)$
	$A=(\pi d^2/4)(\#hilos)$	$A=(\pi D^2/4)$

❑ Corrección por trenzado.

Esta corrección se hace porque el conductor en su estado normal no esta totalmente estirado, por lo que al medir se mide el conductor con algunos dobleces.

<i>Seccion del conductor</i>	<i>% de correccion</i>
<u>3 hilos</u>	<u>1%</u>
<u>7 hilos o mas</u>	<u>2%</u>
<u>Conductores huecos</u>	<u>3% + 2% por ser mas de 7 hilos</u>



□ Efecto Piel

Para el análisis de este efecto, será necesario considerar lo siguiente:

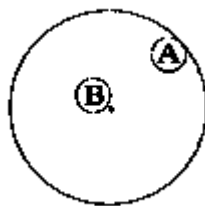


Figura 1.1. Sección transversal de un conductor mostrando dos de sus filamentos.

- 1. A partir de la Figura 1.1, donde se muestra un conductor seccionalizado transversalmente, en el cual se ha dibujado dos filamentos hipotéticos iguales además del centro, se hará el análisis.**
- 2. Las dimensiones del conductor son uniformes, es decir, si se secciona el conductor en diferentes tramos, todas las secciones transversales resultarán ser iguales**

- 3. La corriente será la misma para toda la longitud del conductor, esto es, la corriente que entra por un extremo del conductor, será la misma que saldrá por el otro extremo.**
- 4. Apoyándose en las dos suposiciones anteriores, puede suponerse que cualquier sección transversal del conductor será una superficie equipotencial.**

El resultado final es que la energía electromagnética no se transmite en el interior del conductor sino que viaja en las regiones que rodean el conductor debido a que la distribución de densidades de corriente a través de la sección transversal del conductor no es uniforme, siendo este fenómeno conocido como efecto piel, el cual causará que la resistencia de c.d. se incremente ligeramente. Esta es la llamada resistencia de c.a. Por otro lado, la inductancia debida al flujo interno en el conductor se verá disminuida.

Si se expresa tales conclusiones mediante fórmulas, se tendrá lo siguiente:

$$R_{ed} = R_{ad} \alpha_R$$

y para la inductancia interna:

$$(L_i)_{ed} = (L_i)_{ad} \alpha_L$$

donde α_R y α_L son ligeramente mayor y menor que la unidad, respectivamente.

❑ Efecto Corona



Aunque este fenómeno no afecta a la resistencia en una forma directa, sí influye en la eficiencia de operación de la línea de transmisión, debido a que su existencia producirá pérdidas adicionales.

Este efecto está relacionado con la producción de campos eléctricos debidos a altas densidades de carga cuya intensidad es capaz de ionizar el aire circundante a los conductores de fase de la línea de transmisión. Una ionización extrema resultará en la presencia de arcos eléctricos entre conductores. Este efecto puede detectarse audiblemente por el zumbido que produce y visualmente por el aura luminosa que se presenta en cada conductor de fase.

El efecto corona producirá pérdidas e interferencias radiofónicas. Tales pérdidas serán relativamente pequeñas en ambientes secos y tienden a incrementarse en ambientes más húmedos, llegando inclusive a magnitudes 15 veces mayores.

Comúnmente, estas pérdidas se expresan en kW/km, pero resulta difícil de obtener un modelo analítico que permita calcularlas de manera exacta, debido a la gran cantidad de variables involucradas. Los resultados son obtenidos usando relaciones empíricas y métodos estadísticos. Sin embargo, el efecto corona debe tomarse en cuenta para diseñar adecuadamente las líneas de transmisión.