

Tecnología de Materiales.

CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

Todos los cuerpos poseen en mayor o menor grado la propiedad de conducir electricidad, pero esta conductibilidad varía entre límites muy alejados entre sí por lo cual la distinción entre cuerpos buenos y malos conductores es con frecuencia bastante arbitraria. Todos los metales son buenos conductores de electricidad. Sus propiedades están perfectamente definidas tratándose de metales puros; pero en la práctica los metales empleados en la industria, contienen impurezas que pueden modificar muy sensiblemente sus características; la corrección que hay que aplicar a tales características resulta más delicada por la poca precisión con la que en general se conocen la cantidad de impurezas que tiene el metal.

Estas propiedades varían considerablemente con la composición de las aleaciones que a su vez no se conocen con suficiente exactitud.

Propiedades características de los conductores.

Estas propiedades pueden clasificarse en tres grupos:

1 - Propiedades eléctricas reducidas en este caso a la conductibilidad de los diferentes cuerpos. Su determinación consistirá en medir esta conductibilidad o su inversa, la resistividad para ello se deberá hacer mediciones de resistencia.

2 - Propiedades mecánicas, cuyos valores deberán determinarse conductibilidad vista al empleo de los materiales en las construcciones eléctricas. Estas propiedades son:

- a) Resistencia a la tracción (carga de ruptura y límites de elasticidad).
- b) Resistencia a la compresión (carga de ruptura y límite de elasticidad)
- c) Alargamiento en la rotura
- d) Módulo de elasticidad
- e) Resistencia a los choques.

Estas propiedades mecánicas se encuentran también en los aislantes y en la mayor parte en los materiales magnéticos; los métodos empleados para una determinación en los cuerpos conductores son igualmente aplicables en muchos casos a los demás materiales electrotécnicos.

Propiedades físicas en general.

Entre estas pueden seleccionarse por ser más interesantes las siguientes:

- a) Peso específico
- b) Coeficiente de temperatura (coeficiente de variación de resistividad con la temperatura)
- c) Calor específico
- d) Punto o temperatura de fusión
- e) Conductibilidad térmica
- f) Coeficiente de dilatación lineal

Propiedades eléctricas.

A- **Propiedades eléctricas** reducidas en este caso a la conductibilidad de los diferentes cuerpos. Su determinación consistirá en medir esta conductibilidad o su inversa, la resistividad para ello se deberá hacer mediciones de resistencia

Resistencia:

Se llama así a la mayor o menor dificultad que posee un conductor al paso de la corriente eléctrica, esta magnitud caracteriza el circuito en que pueda establecer una corriente.

La resistencia de un conductor es en general independiente de la fuerza electromotriz y la corriente que pasa por el circuito formado por este conductor; es en realidad una constante dependiente de la

naturaleza y las dimensiones del cuerpo empleado. Se define la resistencia como el cociente entre el potencial y la corriente $R=V/I$, cumpliéndose así la Ley de Ohm. Para un conductor cuya longitud es L la sección es S y el valor de la resistividad esta dado. La resistencia es igual a $\rho \cdot L/S$.

La unidad de medida de la resistencia es el Ohm (Ω).

Resistividad.

La resistividad de un cuerpo en cuya longitud, en la dirección de la corriente que la recorre y la sección normal a esta dirección son respectivamente iguales a la unidad de la longitud y a la unidad de sección. La resistividad ρ es por lo tanto una magnitud por cuyo valor relativo varia según los unidades adoptadas siendo su expresión $\rho = R.S/L$. las unidades que podemos encontrar son $\Omega.m$; $\Omega .mm$ y $\Omega.mm^2/ m$.

Conductancia.

Se llama así a la inversa de la resistencia y se denomina con la letra $G=1/R$.

En el circuito que esta recorrido por corriente alterna y el conductor que la forma tiene una resistencia R de una reactancia X se tiene que G va a ser igual : $G = \frac{R}{Z^2}$

Donde Z representa la impedancia o resistencia aparente del circuito cuyo valor es:

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

Variaciones de la resistencia con la temperatura.

La resistencia de calórica, la cantidad de calor desprendido en un tiempo T es $Q= I^2.R.T$ donde r es la resistencia del conductor; I la corriente y T el tiempo. La unidad resulta expresada en Joule y su valor cal / gr aplicando la constante de proporcionalidad siendo: $Q= 0,24. I^2.R. T$.

La formula anterior es llamada Ley de Joule o efecto Joule.

Propiedades mecánicas.

B- Propiedades mecánicas..

Los materiales utilizados en las construcciones electromecánicas deben poseer además de las propiedades eléctricas cierto numero de condiciones mecánicas que permite el empleo adecuado a los fines propuestos con su utilización. Por consiguiente veremos algunas de estas propiedades:

1- Resistencia mecánica: cuando se somete un sólido cilíndrico a un esfuerzo dirigido según sus generatrices, aquel se deforma por efecto de la fuerza exterior, y en sus moléculas se produce fuerza interna correspondiente a tal deformación. Si las fuerzas interiores sobrepasan por unidad de sección un valor limite determinado tendremos una deformación permanente y luego la rotura.

2- Limite de elasticidad: esta representado por las fuerzas interiores a partir de las cuales el cuerpo no vuelve a tomar su forma primitiva.

Para los materiales comunes es muy pequeño este limite al que no debe llegarse, para que el cuerpo no pierda elasticidad; pero este limite no debe estimarse como despreciable, porque no siempre corresponde a una tensión de carga considerable.

3- Fatiga: se llama fatiga elástica R' y también carga en un punto al valor de la carga P sobre unidad de superficie de la sección recta.

4- Carga limite de elasticidad: es la resistencia teórica que puede alcanzar por unidad de sección un cuerpo sometido a un esfuerzo a partir del cual se sobrepasa el limite de elasticidad R_e es igual a Pe/s .

5- Resistencia de ruptura: sí una vez pasado el limite de elasticidad se aumenta la carga se ve que disminuye la sección, el cuerpo se requebraja y en un instante dado se produce la rotura, P_r es la carga de rotura.

6- Resistencia practica.

En toda maquina no solo no debe llegarse a la rotura R_r sino que hay que quedar muy por debajo de la carga limite de elasticidad. A este efecto es llamado maximo de fatiga conocido también con el nombre de resistencia practica o carga de seguridad R_p .

El valor de R_p se toma una fracción de la resistencia de elasticidad R_e o de la resistencia de rotura. En muchos casos no se sabe determinar exactamente el limite de elasticidad mientras que la carga de rotura se obtiene muy fácilmente por ensayos experimentales, por esta razón la R_p se obtiene en función de la R_r .

Para los metales se toma generalmente $P_r = 1/5$ a $1/6 R_r$.

Ensayo de resistencia de los materiales.

La diferente clase de resistencias se obtiene experimentalmente. En el caso de los metales el mas importante es el ensayo a la tracción, a veces se completa con la prueba del metal a la torsión, al choque, flexión, etc.

Resistencia a la tracción.

Los ensayos a la tracción se hacen con una maquina especial donde con mordazas se sujetan los extremos de una muestra prismática, cortada en frío del material de prueba. La muestra tiene una sección conocida y lleva dos marcas separadas entre sí por una distancia determinada, pudiendo medir entre la marcas los sucesivos alargamientos durante la prueba.

Cuando se rompe la barra vasta con dividir la carga correspondiente por la superficie inicial para obtener así la resistencia a la rotura que mide la tenacidad del material.

Dureza.

Se llama a la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro mas duro. Existen varios métodos para medir la dureza pudiendo ser una aguja endurecida; una punta de diamante o una bolilla de acero.

Propiedades físicas generales.

Peso especifico y densidad.

Se llama peso especifico de un cuerpo al peso por unidad de volumen, en el sistema de medida C.G.S el peso especifico es el peso expresado en dynas de 1 cm^3 del cuerpo que se trata.

En la practica el peso especifico se expresa en gramos por cm^3 (gr./cm^3) o Kg./dm^3 en los dos casos se obtiene el mismo numero como expresión del peso especifico del cuerpo.

En ves del peso especifico se emplea con preferencia la densidad que es la relación entre la masa del cuerpo y el volumen igual de agua a 4°C a la presión de 1 ATM.

Calor especifico.

El calor especifico medio de un cuerpo entre dos limites de temperatura t_1 y t_2 es la relación que existe en la cantidad de calor necesario Q para elevar la unidad de masa del cuerpo de la temperatura t_1 a la t_2

También puede decirse que el calor especifico de un cuerpo a 0°C es la cantidad de calor necesario para calentar un grado 1°C a partir de la temperatura 0° un gramo de este cuerpo.

El calor especifico es para los metales simples un numero constante entre el limite de temperatura a veces muy distintos entre sí; en general el calor especifico aumenta con la temperatura. La determinación de calor especifico de las aleaciones es muy complicado y depende principalmente se la composición de las mismas.

Calor y temperatura o punto de fusión.

Se llama calor de fusión de un cuerpo a una temperatura t , la cantidad de calor que hay que comunicar a la unidad de masa de este cuerpo, supuesto sólido y a dicha temperatura t , para que pase al estado liquido a una temperatura " t ".

" t " es la temperatura o punto de fusión, a la presión atmosférica y se expresa en grados centígrados.

Las aleaciones no tienen en general calor de fusión propiamente dicho ya que la fusión no se produce a una temperatura fija pero algunas aleaciones bien definidas funden a temperatura determinada y constante.

A veces se trazan diagramas de fusibilidad de las aleaciones, que son generalmente muy complicadas porque resultan formadas casi siempre por curvas de diferentes clases, las cuales indicamos a continuación:

a- Curva de fusibilidad o liquidus enfriando suficientemente una mezcla fundida y homogénea de dos metales, se depositan cristales metálicos cuya cantidad aumenta a medida que aumenta la temperatura, hasta que toda la masa queda solidificada. Para trazar las curvas correspondientes a esta transformación se toma como abscisa la proporción de mezcla fundida al comenzar la operación y como ordenada la temperatura a que empieza la solidificación. A esta curva se la llama liquidus de las aleaciones de los cuerpos.

b - "Solidus": es la misma curva anterior pero en vez de tomar como ordenada la temperatura a que comienza la solidificación se toma aquella a que esta termina.

c - Las partes sólidas se depositan al enfriar la aleación fundida, que pueden ser cuerpos simples, combinaciones definidas o soluciones sólidas. En este último caso se acostumbra a indicar su composición sobre el diagrama de fusibilidad, por una tercera serie de curvas que dan la composición de los cristales en función de la temperatura de formación.

Conductibilidad térmica.

Se llama así a la propagación de calor a través de los cuerpos y tiene lugar cuando todos los puntos de este no están a la misma temperatura; el calor se propaga de molécula a molécula de los puntos más calientes a los más fríos.

Si consideramos una placa de caras paralelas de espesor finito y de dimensiones transversales infinitas, donde cada cara se mantenga a temperatura constante, se produce un paso de calor a través de la masa de la placa. Una vez establecido el régimen permanente, la cantidad de calor que atraviesa, durante un tiempo muy corto una pequeña sección paralela a las caras depende de la temperatura de estas últimas y del coeficiente de conductibilidad térmica de la sustancia que constituye la placa.

Este coeficiente expresado en unidad CGS es el número de calorías/gramo que atraviesa perpendicularmente en 1 segundo 1 cm^2 de lámina que tenga 1 cm de espesor y cuya cara se mantenga a temperatura que difieren entre sí un grado centígrado (1°C).

Superconductibilidad de los metales.

Se sabe que la resistencia de los conductores es una creciente de la temperatura; puede deducirse de ello que habrá una temperatura para la cual la resistencia sea nula. Esta temperatura está cerca del cero absoluto y de aquí se deduce que la resistencia sensiblemente es proporcional a la temperatura absoluta del conductor.

También se ha comprobado que la resistencia de algunos conductores se anula a baja temperatura antes de llegar a cero absoluto (valor absoluto) como sucede por ejemplo con metales como el mercurio, el plomo, el estaño, el talio y el tantalio. En otros metales como el oro, el cobre, la plata y el bismuto no se observa este descenso de la resistividad.

Este fenómeno llamado superconductibilidad se presenta también en las aleaciones formadas por metales no susceptibles a convertirse en superconductores, y hasta en materiales compuestos, malos conductores a temperatura normal de superconductibilidad no se establece bruscamente, el paso de una resistencia de valor finito a una resistencia nula se efectúa en un pequeño intervalo de temperatura pero de modo continuo. Es decir que en realidad se tiene una curva de transición a lo largo de la cual disminuye la resistencia muy rápidamente entre dos temperaturas próximas entre sí.

Resistencia residual o remanente

Para saber si la resistencia desaparece totalmente o si conserva su valor residual extremadamente pequeño se ha utilizado un método especial que consiste: se excita una corriente inducida en un anillo de superconductor suspendido en helio líquido por medio de un hilo de bronce fosforoso. De la medida del par ejercido sobre este anillo por un campo magnético exterior se puede deducir cada instante la corriente; se ve además que una vez producido la corriente en el circuito persiste por sí misma por un tiempo muy largo. Se ha observado corrientes que al cabo de tres días tienen aun la mitad del valor inicial.

La conductibilidad de los superconductores es tal que el cobre se comporta en comparación como un buen aislador.

Influencia de distintos factores sobre la superconductibilidad.

1- Densidad de la corriente:

Los cuerpos superconductores pueden ser recorridos por una corriente del orden de los $1000/\text{mm}^2$, para el plomo por ejemplo sin que desprender calor alguno apreciable.

Sin embargo sí se aumenta la corriente, se lleva a un valor límite llamado umbral de la corriente, a partir del cual el metal pierde el estado de superconductibilidad. Por debajo de este umbral no hay desprendimiento de calor, pero este aparece apenas se sobrepasa el umbral. El valor del umbral de la corriente baja con la temperatura.

2- Campo magnético:

Por el efecto de un campo magnético de suficiente intensidad la resistencia de un superconductor puede volver a tomar un valor normal. La intensidad del campo magnético necesario para producir este cambio es aproximadamente proporcional a la diferencia entre la temperatura del metal estudiado y la temperatura crítica a que se vuelve resistente en ausencia de todo campo magnético.

Además en estado de superconductor el calor específico del metal es mayor (50 veces en el estaño) que en estado normal, y si no hay campo magnético alguno no hay calor latente de transición entre los dos estados.

También se ha comprobado que la superconductibilidad no desaparece bruscamente para un cierto valor de campo magnético sino que la resistencia va apareciendo poco a poco para campos crecientes, así cuando al acercarse a ciertos valores una pequeña variación del campo produce un aumento considerable de resistencia. Se suele llenar curvas de transición magnética, la curva que es el diagrama de resistencia e intensidad de campo representa el paso del estado ordinario al superconductor.

PLATA.

La plata se encuentra dimensionada naturalmente sobre toda la tierra también existe en pequeñas proporciones en el agua de mar y en los meteoritos.

Las principales especies mineralógicas de profundidad son:

- plata nativa en cristales cúbicos o en octoedros.
- En sulfuro de plata.
- En sulfuro doble de plata y de cobre cristalizado en formas diferentes.
- Sulfuro complejo: plata antimonio, plata cobre, plata arsénico, etc.

Las principales especies mineralógicas de afloramiento son:

- Cloruro de plata o plata cornea, cubica a veces combinada con cloruro de sodio.

La gamela argentífera que es un disulfuro de plomo con plata nativa en filamentos, explotable a partir de los 500 gr. por tonelada.

Elaboración del metal.

Cualquiera que sea el mineral se empieza en pulverizarlo en trituradoras, bien en seco sí es rico en plata o en presencia de agua sí es pobre. El método más empleado actualmente para la extracción es el tratamiento con plomo; este sistema se presta especialmente para los minerales ricos pero puede también utilizarse para los pobres enriquecidos por flotación.

El procedimiento por amalgamación en la actualidad se encuentra en plena decadencia.

Otro método para el refinado de materiales es por vía electrolítica.

El procedimiento por el plomo se disuelve el mineral argentífero (que contiene plata) en plomo fundido agregando fundentes que precipitan las escoria y hace sobrenadar el metal. El plomo que así se obtiene se enriquece para compensar la pérdida debida a la fusión, después se calienta en una corriente de aire que oxida los diferentes metales en suspensión sin atacar a la plata. Se eleva después la temperatura lentamente y haciendo girar la cubeta de fusión se eliminan poco a poco los óxidos hasta que aparece la plata. Hacia los 1000°C se suspende el fuego, se enfría la masa recociéndola con agua y se desprende la plata con un cincel.

Para obtener la plata químicamente pura se refina generalmente por vía electrolítica.

Propiedades físicas en general.

La plata en trozos, bien limpia es de tono blanco puro con destellos metálicos dado su gran poder de reflexión; en laminas muy finas es de color azul vistas por transparencias.

Su densidad a 20° C es de 10,49. Su coeficiente de dilatación lineal a 40° C es de $1,92 \cdot 10^{-5}$.

La plata es buena conductora de calor; su conductibilidad térmica es algo menor que la del oro y es 1,35 veces la del cobre.

La plata es mejor conductor de la electricidad que se conoce actualmente superior en un 4% a la del cobre.

Propiedades mecánicas.

La dureza de la plata se allá comprendida entre el oro y el cobre. Su dureza absoluta es 91, la dureza aumenta al agregarle cobre hasta un 10%.

La plata es muy maleable y muy dúctil, siguiendo inmediatamente al oro en estas cualidades. La plata puede soldarse consigo misma por martilleo (latido) a una temperatura menor a la de fusión.

Principales aplicaciones.

La plata se utiliza principalmente como cortocircuito (fusible), por ser muy pequeña su constante de tiempo ofrece gran seguridad sobre todo en alta tensión.

También se emplea en la construcción de piezas de aparatos eléctricos donde se requiera cierta inalterabilidad al calor o al arco (contactos de ruptura, interruptores, relevadores sensibles, etc.).

Otra aplicación de la plata la tenemos en instrumentos médicos eléctricos termocauterios.

La plata se utiliza con excelentes resultados en la construcción de hilos de torsión, para galvanómetros y espirales de llegada de corriente en instrumentos de medida y finalmente se usa la plata como revestimiento de protección por galvanostegia sobre ciertos conductores (hilos plateados).

Aluminio.

Obtención:

El aluminio es un metal que se extrae de la bauxita, óxido de aluminio que contiene alúmina, sílice, óxido de hierro, óxido de titanio y agua. Hay 4 especies de bauxita: la blanca, la gris siliciosa, la gris y la roja, siendo los siguientes porcentajes de sus composiciones:

bauxita blanca: del 50% al 70% de alumina.

Del 6% al 20% de sílice.

Del 3% al 8% de óxido de hierro.

Bauxita blanca: del 52% al 62% de alumina.

Del 8% al 15% de sílice.

Del 8% al 14% de óxido de hierro.

Bauxita gris siliciosa: del 40% al 45% de alumina.

Del 25% al 30% de silicio.

Del 8% al 14% de óxido de hierro.

Bauxita roja: del 40% al 60% de alumina

Del 2% al 12% de silicio.

Del 18% al 25% de óxido de hierro.

El óxido de titanio entra generalmente en un porción del 2% al 4% y el agua del 10% al 15%.

La bauxita roja es la única que se emplea actualmente para la fabricación de aluminio. Se utiliza también para la obtención de aluminio menos rojo que el aluminio de hierro pero más resistente a los ácidos.

La obtención del aluminio por los procedimientos actuales se efectúa por dos modos:

1-a partir de la bauxita.

2-A partir de la alumina.

Obtención a partir de la bauxita.

El sistema ordinariamente es el de Bayer que comprende seis operaciones:

- a- pulverización de la bauxita.
- b- tratamiento por una lejía de soda cáustica en caliente
- c- separación por filtración de líquidos claro (solución de aluminato de rosa de las impurezas)
- d- descomposición del aluminato de rosa con la formación del hidrato de alumina y un aluminato de rosa mas pobre en aluminio
- e- separación por filtrado de aluminio precipitado en la solución de aluminato de rosa.
- f- calcinación del hidrato de aluminio

La cantidad de bauxita para la obtención de una tonelada de aluminio es aproximadamente de dos toneladas.

Obtención a partir de la alumina.

Este sistema consiste en la reducción por la corriente eléctrica de una mezcla fundida de alumina anhidra y criolita; el cloro necesario para la fusión de esta mezcla es proporcionado por la misma corriente de reducción.

Esta operación se verifica a temperatura variable entre los 920° C y son atravesadas por una corriente que varia entre 10000 y 30000 A; se cargan varias veces al día con alumina y a intervalos mas largos con criolita. El gasto de energía es de unos 25 Kw/h por cada kg. de aluminio obtenido.

Forma comercial del aluminio.

El aluminio obtenido es un metal homogéneo y con muy pequeñas cantidades de hierro y silicio.

Se divide en tres grupos:

- a- aluminio al 98%-99%
- b- aluminio al 99%-99,5%
- c- aluminio mas de 99,5%.

Para ciertos usos especiales se utiliza con cierta garantía aluminio al 99,7% y hasta el 99,9% de pureza. El aluminio comercial se prepara en forma de lingotes de sección trapezoidal y en placas para el laminado, además de las barra de sección circular y cuadrada.

Propiedades físicas en general.

El aluminio tiene las sig. características físicas:

- peso atómico 27
- densidad a 20° C-2,70
- densidad a 700° C-2,38
- punto de fusión 658° C
- punto de ebullición a la presión atmosférica 1800° C
- coeficiente de dilatación lineal 23.10-6
- calor especifico de 0 a 6° C 0,22 cal/gr.°C
- conductibilidad térmica 0,50 cal/cmm².°C
- resistividad eléctrica a 20° C 2,78°C.cm²/cm
- coeficiente de temperatura a 20° C 0,004

Estas características varían algo al variar la pureza por efecto de la corrosión, el batido y según el espesor.

Propiedades químicas.

No obstante su gran afinidad por el oxígeno, el aluminio es prácticamente inalterable al aire en condiciones normales. Este fenómeno da lugar a la formación de una capa de aluminio fina y transparente muy impermeable y resguarda al conductor de toda oxidación ulterior.

Si se pone en contacto el aluminio con una solución salina (en particular agua de mar) se produce una corrosión mas o menos localizada en forma de picadura en los puntos mas débiles de la capa protectora. El aluminio se corroe tanto menos cuanto mas puro es.

Cuando el aluminio se encuentra en contacto con un metal mas noble por ej.: con el hierro, y sobre todo con el cobre y sus aleaciones, en presencia de humedad se produce un par galvánico cuyo efecto es tanto mas marcado cuanto mas conductor sea el medio, mas elevada sea la diferencia de potencial y mas pequeña sea la superficie del objeto de aluminio con relación al otro metal (entra en estado de corrosión mas rápidamente).

Aleaciones del aluminio.

Se divide en dos grupos las aleaciones para fundición:

a- los que no suponen tratamientos térmicos

b- los que sí necesitan un tratamiento térmico especial para comunicarle determinadas características o propiedades mecánicas.

El tratamiento térmico consiste en un temple en agua o en aire después de haber elevado la temperatura de la aleación a unos 500 o 550(C, para facilitar la disolución sólida de ciertos componentes; el enfriamiento rápido tiene por objeto mantener en frío el estado estable que tenia a determinada temperatura, modificando así las características de la aleación. A veces el temple va seguido por un recocido del metal, que se mantiene varias horas a una temperatura comprendida entre 100° C y 200° C con el fin de endurecer la aleación y elevar su carga de ruptura o de rotura.

Aleaciones para conductores eléctricos.

Las aleaciones de aluminio empleadas para conductores eléctricos se conocen en Francia con el nombre de almelec y en Alemania con el nombre de aldrey. La composición de ambos es muy parecida con pequeñas cantidades de magnesio y silicio. Sus elevadas características mecánicas se obtienen por la culminación de tratamientos térmicos y mecánicos. Esta característica alcanza para hilos de 3mm de diámetro y el valor de 33 a 36 kg. por mm².

Se utiliza como conductores para líneas eléctricas aéreas, aleaciones de aluminio, con las especiales características de que, con una conductibilidad eléctrica algo menor que la del aluminio puro, se obtiene una resistencia mecánica bastante mayor, gracias a tratamientos térmicos y mecánicos especiales

Estas aleaciones se conocen comercialmente con los nombres de Aldrey, Almelec y otros y aunque sus procedimientos de fabricación son distintos, todas tienen en común una composición química muy semejante y características eléctricas y mecánicas muy parecidas. Su composición química aproximada, es la siguiente:

Magnesio	0,5 %
Silicio	0,5 %
Hierro	0,3 %
Aluminio .	98,7 %

A este respecto las aleación de aluminio para conductores de líneas eléctricas ha de tener una composición que integre el aluminio como elemento fundamental, con adición de magnesio y de silicio. El resto de los elementos constituyentes se consideran como impurezas y no debe exceder de 0,5 % y la proporción de cobre, en ningún caso, debe exceder de 0,01 % Su resistencia a la tracción no ha de ser menor de 30 kg./mm², con una densidad de 2,7 gr./cm³ a 20° C. De acuerdo con estas indicaciones en la Tabla siguiente, se exponen las características generales de la aleación Aldrey,

Tabla características generales de la aleación de aluminio aldrey

Peso específico	p = 2,7 glcm ³
Resistividad a 20°	P20° = 3,13 microohmios-centímetro
Conductibilidad a 20° (cobre recocido 100).....	55 %.
Coefficiente de temperatura.....	y = 0,0036.
Módulo de elasticidad	E = 6.500 kglmm ² .
Carga de rotura	35 kg./mm ² .
Límite de elasticidad	28 kg./mm. -
Alargamiento a La rotura.....	de 2 a 5 %.

Coeficiente de dilatación lineal . . $\alpha = 23 \times 10^{-6}$.

Sección nominal mm ²	Numero de alambres	Diámetro de cada alambre mm	Diámetro aparente del cable	Carga de rotura kg.	Resistencia eléctrica a 20° C ohm/km.	Peso kg./km.
11,8	3	2,24	4,83	390	2,80	32,6
14,7	3	2,50	5,39	486	2,25	40,6
18,5	3	2,80	6,03	610	1,79	50,9
22,0	7	2,00	6,00	726	1,51	60,6
27,6	7	2,24	6,72	910	1,20	76,0
34,4	7	2,50	7,50	1.134	0,965	94,6
43,1	7	2,80	8,40	1.422	0,769	118,7
54,6	7	3,15	9,45	1.800	0,608	150,0
59,7	19	2,00	10,00	1.970	0,561	166,0
74,9	19	2,24	11,20	2.471	0,447	208,0
93,3	19	2,50	12,50	3.078	0,359	259,0
117,0	19	2,80	14,00	3.861	0,286	325,0
148,1	19	3,15	15,75	4.886	0,226	412,0
131,6	37	2,50	17,50	5.993	0,185	508,0
228,0	37	2,80	19,60	7.518	0,148	637,0
288,0	37	3,15	22,05	9.516	0,117	806,0
366,0	37	3,55	24,85	12.086	0,0918	1.023,0
475,0	61	3,15	28,35	15.688	0,0708	1.328,0

De acuerdo con las características expuestas en la tabla anterior, podemos decir lo siguiente:

- a) A igualdad de flecha, teniendo en cuenta los efectos del viento y temperatura, los cables de aleación de aluminio, permiten construir vanos de mayor longitud que con cables de cobre y de aluminio de la misma resistencia eléctrica.
- b) A igualdad de vano, los cables de aleación de aluminio tienen flechas menores. Por lo tanto, si se conserva la igualdad de flecha, se reducirá al número total de apoyos de la línea y el de aisladores, con la consiguiente economía y desaparición de puntos débiles. Si se mantiene la igualdad de vano, los apoyos serán de menor altura (ya que la flecha es menor) con el correspondiente ahorro de material en los apoyos.

Por otro lado, la aleación de aluminio tiene una resistencia a la corrosión, por lo menos igual a la del aluminio comercial. Los alambres de aleación de aluminio se utilizan en las líneas eléctricas aéreas. Las características de los cables normalizados de aleación de aluminio

Soldadura de aluminio.

Los diferentes métodos de soldadura aplicados al aluminio y sus aleaciones requieren una técnica algo especial. La bondad de la soldadura depende ante todo de la eliminación de la película de alumina que recubre el metal tanto si es puro como si está en aleación. Por ello es necesario quitar esta capa de óxido en el sitio en que a de soldarse ya sea por procedimientos mecánicos o químicos.

Soldadura autógena.

Es el procedimiento más usado que da resultado perfecto y permite la confección de soldadura. Se utiliza generalmente en sopletes oxiacetilénicos u oxhidrico, cuya potencia depende del espesor de la pieza que hay que soldar.

La varilla que se emplea es de la misma composición química que el metal del que está formada la pieza que se quiere unir, sobre todo si se trata de aluminio puro. Para la soldadura de aleaciones de aluminio y en particular tratándose de trabajos delicados como por ej.: cuando existe una gran diferencia de espesor entre pieza a soldar, conviene emplear un metal que contenga silicio y disponer estas piezas para que no altere la soldadura el grado de dilatación de una o de la otra.

El éxito de la soldadura autógena depende en gran parte de la utilización de un buen flujo desoxidante (para lo que hay desde hace tiempo excelentes composiciones); se toman algunas precauciones a causa de las grandes dilataciones y contracciones del aluminio y sus aleaciones.

El trabajo del aluminio requiere más delicadeza que el del acero pero en cambio se logra una ejecución más rápida y más cuidadosa. Una vez terminada la soldadura debe lavarse todo con cuidado

preferentemente con agua caliente para hacer desaparecer todo rastro del fúndente, que luego puede atacar al aluminio con ayuda de la humedad.

La soldadura autógena de ciertas aleaciones y muy especialmente de aquellas de tratamiento térmico requieren una ejecución mas cuidadosa porque da la posibilidad de disminuir las propiedades mecánicas a causa del recocido a la zona cercana a la soldadura.

La pieza de fundición conviene calentarla previamente a una temperatura que no exceda los 400° C y dejarla enfriar muy lentamente luego de soldarla.

La soldadura de arco voltaico se extiende cada vez mas, es mas rápida su ejecución que la hecha con soplete, pero no da una línea de soldadura fina. La soldadura eléctrica es de especial aplicación cuando se trata de chapas extensas o en el caso de las uniones de las piezas, necesita considerable cantidad de metal de aportación. el buen éxito de la operación depende en mucho del revestimiento de los electrodos, que debe ser ejecutado con gran cuidado y con un flujo especial. La corriente a utilizar es corriente continua.

La soldadura eléctrica por resistencia permite la unión de varillas por sus extremos y el acoplamiento de piezas por medio de un punto de soldadura. Los dispositivos empleados ofrecen algunas variaciones con respecto a los utilizados para la soldadura de acero , ya que la corriente a de ser mayor, la presión mas pequeña, la dimensión del paso de la corriente mucho menor y constante sí se quiere una soldadura homogénea.

Soldaduras blandas.

Se llama así a las soldaduras que emplean metales distintos a los que se sueldan y que tiene un punto de fisión relativamente bajo como decir el estaño, etc. La soldadura blanda se diferencia esencialmente de la autógena en que:

A- Los extremos de los elementos que se tratan de soldar no llegan al punto de fusión, siendo el metal de aportación el único que se funde.

B- El metal de aportación tiene una composición muy distante de las piezas que se sueldan siendo la composición tal que el punto de fusión sea inferior al de las piezas que se sueldan.

Aluminio en la industria eléctrica.

Propiedades eléctricas del aluminio.

La resistividad del aluminio varia algo con su grado de endurecimiento, es mas pequeña para el metal recocido que para el metal endurecido mecánicamente. Los valores siguientes han sido fijados para los alambres de aluminio:

a- aluminio endurecido mecánicamente: 0,0284(/mm².m a 20° C.

b- aluminio recocido: 0,0278(/mm².m a 20° C.

Un conductor de cobre de esta sección puede ser sustituido por consiguiente por un conductor de aluminio de 1,6 de sección , teniendo que el cobre templado tiene solamente entre el 97% y 98 % de la conductibilidad del cobre patrón.

Se llama alambre recocido de aluminio a un alambre de diámetro igual o superior a 1 mm , presenta una carga de ruptura de 9,5 kg./mm² y un alargamiento de 20%.

Se llama aluminio endurecido mecánicamente al aluminio en forma de hilo que presenta una carga de ruptura superior a 15kg/mm².

Composición y características de los conductores empleados en la distribución de la energía.

1- Alambres de aluminio endurecidos mecánicamente:

por aluminio se entiende el metal que contiene por lo menos el 99,5% de pureza, y que ofrece una resistencia a la rotura por lo menos igual a 15kg/mm².

La serie de diámetros normales expresados en mm es:

1,40- 1,60- 1,80- 2- 2,225- 2,50- 2,80- 3,15- 3,55- 4- 4,50- 5.

Se tolera además el empleo de los diámetros: 2,69- 2,86 y 3,70, para los cada a la torsión:

Antes de hacer el cable deben soportar los hilos una torsión de 25 vueltas por lo menos, sí el ensayo se hace sobre una longitud entre señales de 100 diámetros, y de 12 vueltas como mínimo sí el ensayo se hace sobre una longitud de 50 diámetros.

2 - Resistencia a la tracción:

La resistencia a la rotura y el alargamiento después de producida esta última, y medida sobre una longitud de 200 mm se expresa en tablas estandarizadas.

3 - Resistencia a la torsión:

Antes de hacer el cable deben soportar los hilos una torsión de 25 vueltas por lo menos, si el ensayo se hace sobre una longitud entre señales de 100 diámetros, y de 12 vueltas como mínimo si el ensayo se hace sobre una longitud de 50 diámetros.

4- Resistencia a los dobleces:

Los hilos antes de ajustar el cable deben soportar dobleces en uno y otro sentido.

TABLA DE VALORES.

5- Resistencia al arrollamiento:

los hilos deben poderse arrollar y desarrollar sin romperse dos veces consecutivas formando un devanado de 6 espiras bien juntas sobre un mandril (soporte) de diámetro igual al del hilo. El arrollamiento debe hacerse con una tracción de 1 Kg./mm²

Diámetros normales y tolerancias.

La serie de diámetros normales expresados en mm es: 1,4-1,6- 1,8- 2- 2,25- 2,50- 2,80- 3,15- 3,55- 4- 4,50 y 5.

La tolerancia de los diámetros es la sig.:

de un (1,5% para los alambres de diámetro igual o superior a 2 mm.

de un (0,03 mm para los hilos de diámetro inferior a 2 mm.

Aspecto exterior.

La superficie del metal no debe presentar asperezas, poros ni rebabas.

Cables de aluminio homogéneos.

Los cables normales son aquellos cuya sección y constitución están tabulados en tablas.

La sección nominal del cable es por definición la suma de las secciones rectas nominales de los hilos que lo componen.

La propiedad de los hilos antes de formar el cable, los hilos deben reunir las condiciones establecidas según el modo de elasticidad , coeficiente de dilatación y el coeficiente de temperatura de la resistividad. De todos modos la resistividad media de todos los hilos con que se construye los cables no debe exceder a la temperatura de 20(C de 0,02828 (.mm²/m.

Después del cableado también son aplicables a los hilos ya en el cable las condiciones de tolerancia (en el diámetro) y en el aspecto exterior. Teniendo en cuenta la resistencia a la rotura con respecto a sus valores mínimos.

Para todos los hilos en el cable la resistividad no debe pasar a los 20(C de temperatura de 0,02856 (mm²/m.

Cables de acero aluminio.

Los cables normales son cables equiramales, es decir cables constituidos por hilos de aluminio y de acero del mismo diámetro, cuyas secciones y composición son detalladas en tablas. Los cables no equiramales con la condición que entre la relación entre sección de acero y de aluminio sea mayor al 10% de los valores correspondientes a los cables equiramales.

Módulo de elasticidad de los cables de 7 hilos7650 kg./mm².

Módulo de elasticidad de los cables de 37 hilos..... 8000 kg./mm².

Coeficiente de dilatación de los cables de 7 hilos..... 18,7.10⁻⁶.

Coeficiente de dilatación de los cables de 7 hilos..... 18.10⁻⁶.

Coeficiente de temperatura de la resistividad..... 0,004.

Resistencia eléctrica de los cables..... se calcula con la misma forma que con los cables homogéneos, pero con K= 1,015 para cables de 7 hilos y K= 0,125 para cables de 37 hilos.

El peso teórico kilométrico expresado en kg. de un cable limpio se obtiene de multiplicar la sección nominal en mm² por los siguientes coeficientes:

3,48 para cables de 7 hilos

3,76 para cables de 37 hilos.

Sobre el peso teórico así calculado se admite la siguiente tolerancia:

2,5 para los ensayos efectuados sobre un metro de cable.

2% para el peso teórico correspondiente a la longitud del cable contenido en una bobina.

Características de los Conductores Aluminio Acero

La presencia de los hilos de acero no tiene más efecto, tratándose de corriente continua, que un aumento de la conductancia del cable calculada teniendo en cuenta solamente el aluminio. Teóricamente, no sucede lo mismo con la corriente alterna, a causa del magnetismo. Pero, en la práctica, con las frecuencias y las densidades de corriente empleadas, el efecto del acero es despreciable. El efecto película sensible solo en grandes secciones, no es afectado de modo apreciable por la presencia de un núcleo magnético.

La resistencia aparente de un conductor aluminio-acero podría aumentar por las pérdidas magnéticas en el núcleo; en realidad, este aumento sólo es sensible para los cables de mucha sección con una sola capa de hilos de aluminio, produciéndose un efecto solenoide, que se anula con dos capas de hilo cableados en sentido inverso, las medidas efectuadas han puesto de manifiesto, en este caso, que los cables de aluminio-acero tienen la misma resistencia con una corriente alterna de 50 ciclos, que con corriente continua.

La inductancia de los conductores de aluminio-acero, sí bien es verdad que aumenta por efecto del magnetismo del núcleo, también es verdad que disminuye por el efecto pelicular a que da lugar este núcleo poco conductor. Este último efecto no produce acción alguna con las frecuencias industriales.

CABLES DE ALMELEC Y DE ALMELEC-ACERO.-

El almelec es una aleación a base de aluminio, con el 0,6 a 0,7 por 100 de magnesio y de silicio, y que, gracias a una combinación de tratamientos térmicos y mecánicos, adquiere una carga de rotura casi el doble de la del aluminio puro batido y una conductibilidad inferior solamente en un 15 % a la de este último.

A continuación damos las características que pueden exigirse a los hilos de almelec:

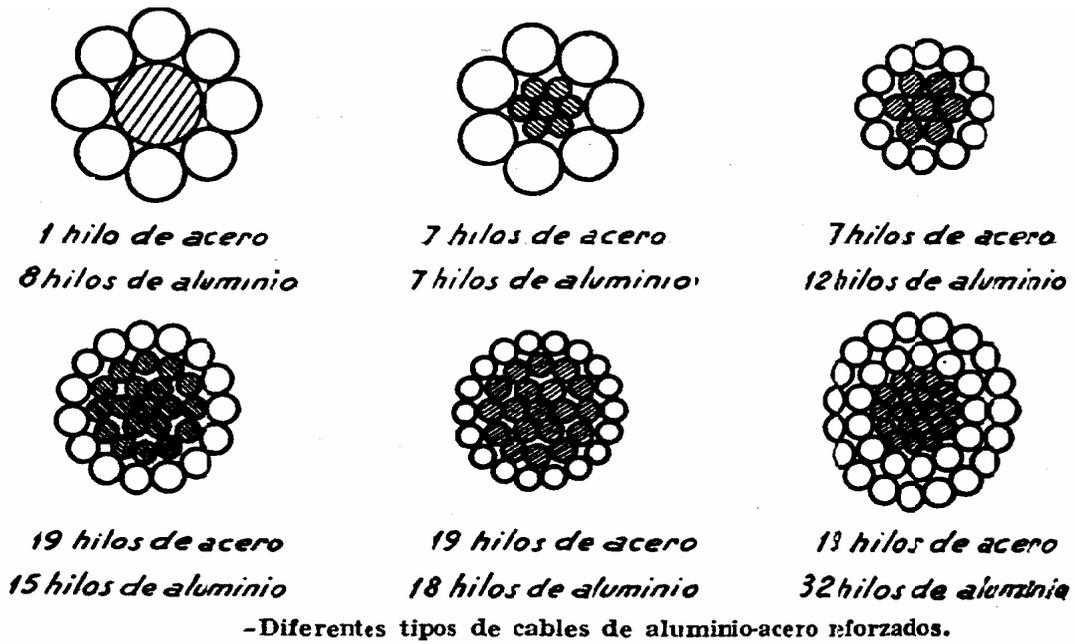
Peso específico	2,70
Carga de rotura	33 Kg./mm ²
Alargamiento	3 %
Límite de elasticidad	28 Kg./mm ²
Resistividad a 200 C	3,25 μΩ cm ² /cm
Coefficiente de temperatura	0,0036
Coefficiente de dilatación	23X 10 ⁻⁶
Módulo de elasticidad	6700

El ensayo al doblar debe satisfacer la condición siguiente:

Diámetro nominal	Nº de dobleces	Radio del doblar mm
1,6 a 2	5	5
2,1 a 2,5	4	5
2,6 a 3	8	10
3,1 a 3,5	7	10

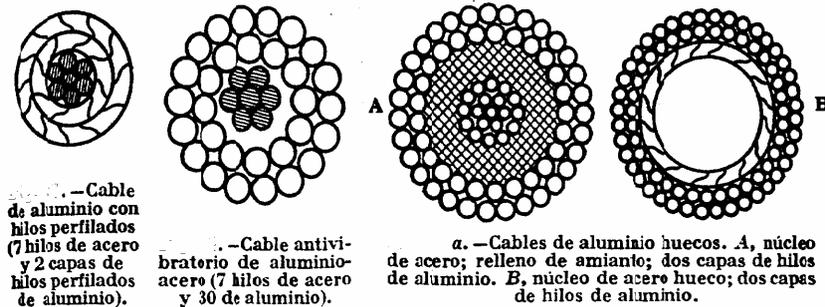
fig. 1

El almelec permite reducir considerablemente las flechas, respecto a las que resultan con el empleo del cobre. Combinado con el acero, el almelec permite también preparar conductores de gran resistencia mecánica, especialmente ventajosos en casos en que, a causa de grandes formaciones de hielo, el conductor pueda quedar cargado hasta su límite de elasticidad.



CABLES ESPECIALES PARA - REDES AÉREAS-

a) Cables de aluminio-acero reforzados: Estos cables contienen una proporción de acero mas elevada que los cables normales con objeto de aumentar su carga de rotura, y se utilizan en casos especiales de gran luz (distancia entre postes), de sobrecargas de hielo) importantes o también montar un conductor de cierta sección en los mismos soportes que otro conductor de sección mayor que aquélla. En la figura 1 se ven seis ejemplos de cables reforzados.

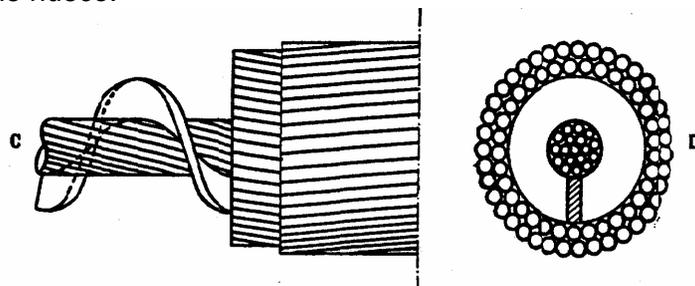


(fig 2)

b) Cables compactos de hilos perfilados.- Se construyen cables de aluminio y aluminio acero, con hilos perfilados (fig 2). No parece que esta construcción mejore de modo apreciable la resistencia a la corrosión, porque los cables de aluminio-acero ordinarios, compuestos de hilos redondos, han demostrado que el núcleo de acero estaba perfectamente resguardado contra toda oxidación. La periferia regular del cable compactos se presta muy bien a los contactos eléctricos, por su gran superficie; pueden ser utilizados ventajosamente estos cables para conexiones.

c) Cables antivibratorios. -Para luchar contra las vibraciones producidas por el viento se han aprovechado las diferencias entre las propiedades físicas del aluminio y del acero, construyéndose cables en que el núcleo de acero está en libertad, por dentro de la capa envolvente de aluminio (fig-2)- Por no ser nunca iguales las frecuencias de vibración propias de ambos metales, no pueden entrar al mismo tiempo en resonancia. (fig 2)

d) Cables huecos:- Con las tensiones muy elevadas de las líneas de interconexión puede ser necesario, para evitar el efecto corona, dar a los conductores un diámetro exterior que corresponda a una gran sección conductora, y por razones de economía se emplea el cable hueco. En las figuras 3 c y d se ven tres clases de cable hueco.



- Cable de aluminio hueco. C, núcleo de acero; espiral de cinta de aluminio. D, dos capas de hilos de aluminio.

(fig 3)

e) Cables antigiratorios.- En este tipo de cables se hace el cableado de modo que se equilibren los pares de torsión que se presentan en las diferentes capas por efecto de la tracción . Estos pares, cuando no están equilibrados y el cable no está perfectamente amarrado en sus dos extremos, provocan una

rotación del cable sobre sí mismo, apretándose por unas partes y aflojándose por otras, dando lugar a un reparto desigual de la carga. El cable antigiratorio lleva hilos de diámetros diferentes, con los más finos en la periferia

d). Cables armados.- El empleo del aluminio en vez del cobre en los cables subterráneos no siempre resulta económico, a causa del aumento consiguiente de diámetro del conductor, y por el consumo de material aislante.

Claro está que en ciertos casos puede resultar ventajoso el aumento de diámetro interior, como cuando la potencia que se transporta es pequeña, y para limitar la acción dieléctrica del aislante se aumenta la sección del conductor por encima de su valor normal.

El empleo del aluminio puede resultar igualmente ventajoso en el caso de cables a muy baja tensión y gran intensidad, en los cuales el espesor de aislamiento sea relativamente pequeño.

Configuración de los conductores empleados en líneas aéreas

Generalmente, los conductores para líneas aéreas se presentan en forma de hilos o en forma de cables; vamos a definir ambos conceptos.

Se llama hilo o alambre a una varilla metálica cuya longitud es muy grande respecto a su diámetro. Será hilo desnudo sí está desprovisto de aislamiento, e hilo aislado sí está cubierto con una sustancia aislante; en este caso aunque el término « hilo » se refiere al metal, la denominación « hilo aislado » incluye también el aislamiento. En líneas aéreas casi siempre se emplean hilos desnudos.

Se denomina cable o conductor cableado a un conductor constituido por un grupo de hilos o por una combinación de grupos de hilos. Los hilos constituyentes de los cables casi siempre son trenzados o retorcidos juntos. también hay cables desnudos y cables aislados, empleándose en líneas aéreas casi siempre los cables desnudos. Los cables pueden ser monoconductores cuando incluyen solamente un conductor o policonductores (también llamados multiconductores) sí incluyen dos o más conductores, aislados entre sí. En líneas aéreas se utilizan casi exclusivamente los cables monoconductores.

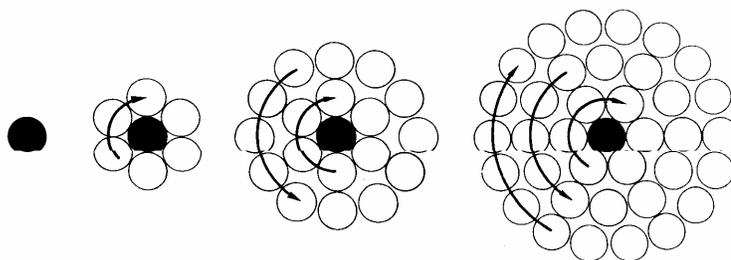
Además de los conductores que hemos citado (hilos y cables), en líneas aéreas se emplean también conductores de características especiales (cables de haces, cables huecos, etc...)

Características generales de los cables utilizados en líneas aéreas

Los cables están constituidos por hilos de la misma calidad que sería necesaria sí los conductores fueran a utilizarse bajo dicha forma de hilos. Alrededor de un hilo central o de un grupo de hilos centrales, que se denomina *alma* C o *núcleo*, se trenzan helicoidalmente una o varias capas de hilos de la misma sección, constituyendo el cable.

Cuando el alma está constituida por un solo hilo, la primera capa trenzada helicoidalmente está constituida por 6 hilos; la segunda capa se trenza en sentido inverso a la primera y está constituida por 12 hilos; las siguientes capas se trenzan alternativamente, con hélice de paso hacia la derecha y hacia la izquierda y cada una de las capas está constituida por 6 hilos más que la capa precedente; en el siguiente gráfico se indica la formación de los sucesivos cables.

Si el alma central está constituida por 3 hilos, la primera capa en tendrá 9 hilos, la segunda capa , 15 hilos, la tercera capa 21 hilos y así sucesivamente (véase figura siguiente)



De una forma general, el número total de hilos en un conducto cableado, se calcula como sigue:

Para cables de alma unipolar (1, 7, 19, etc...):

$$N=3 n (n+1)+1$$

Para cables de alma trifilar (3, 9, 15, etc...):

$$N = 3 n (n + 2) + 3$$

donde n es el número de capas sobre el alma, que no es contada como capa.

En todos los caso únicamente los hilos que constituyen el alma del cable son rectilíneos. Los restantes hilos se van superponiendo según una hélice de determinado paso, con lo cual aumenta la longitud del cable fabricado, tanto más cuanto mayor sea el paso. Debe tenerse en cuenta est aumento de la longitud para el cálculo de la resistencia óhmica y del peso lineal.

La mayor ventaja de los cables sobre los hilos de la misma sección, es su mayor flexibilidad. Cuanto menor sea el diámetro de los hilos que constituyen el cable, más flexible será éste; pero existe un límite para dicho diámetro, ya que la resistencia eléctrica del cable crece con el número de hilos que lo constituyen.

Sección: Se denomina sección efectiva o sección útil de un cable a la suma de las secciones de los hilos constituyentes. Esta sección vale

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} N \quad [\text{mm}^2]$$

d = diámetro de los hilos constituyentes, en mm

N = número total de hilos

La sección nominal : es la sección efectiva redondeada, comprendida entre los límites de tolerancia admitidos para cada hilo; la sección nominal es la que se emplea para designar el cable.-

Diámetro de los hilos constituyentes : Los cables se fabrican en secciones comerciales, expresadas en milímetros cuadrados . Esta circunstancia hace que los hilos constituyentes se fabriquen en diámetros que, en general, discrepan de los diámetros normalizados para conductores que deben emplearse como hilos. En un cable de sección dada, el diámetro de cada hilo está expresado por

$$d = 1,128 \sqrt{\frac{S}{N}} \quad [\text{mm}]$$

S = sección del cable en mm²

N = número de hilos

Paso: la longitud axial de una vuelta o hélice del hilo se denomina paso. Este se expresa generalmente por la relación de paso, es decir la relación entre la longitud de la hélice y el diámetro del hilo, o sea

$$p = \frac{l}{d}$$

l = longitud de la hélice

d = diámetro del hila

No existe una relación de paso normalizada. Cuando estudiemos los distintos tipos de cables empleados en líneas aéreas, indicaremos, en cada caso, las relaciones de paso recomendadas.-

Sentido del cableado: Es el sentido lateral que tienen los hilos de un cable en su parte superior cuando se alejan de un observador que mira a la largo del eje. Por sentido positivo se entiende el de la hélice que los filetes de un tornillo ordinario, siendo inverso el sentido negativo El sentido de cableado se invierte alternativamente en cada una delas capas de hilos que constituyen el cable. Generalmente, la capa exterior del cable tiene sentido positivo.

Diámetro de un cable. Con esta denominación entendemos el diámetro del círculo circunscrito al cable. Está expresado por

$$D = d (2 n + k) [\text{mm}]$$

d = diámetro de los hilos componentes, en mm

n = número de capas sobre el alma (que no es contada como capa)

k = 1 para cables de alma unifilar , 2,155 para cables de alma trifilar

Peso Un conductor cilíndrico uniforme tiene un peso

$$P = \delta l \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \text{ Kg}$$

δ = densidad en kilogramos/m³

l = longitud en m

d= diámetro en m

En los conductores eléctricos el peso se expresa generalmente en kilogramos por kilómetro de conductor.

Para determinar el peso de un cable, hay que tener en cuenta el aumento de longitud de los hilos cableados debido al trenzado helicoidal de estos hilos. Por lo general, las tablas técnicas de características de cables ya expresan directamente el valor del peso. Para el caso en que hubiera que calcularse directamente, el peso del cable está expresado por

$$P_{\text{cable}} \approx 1,02 \delta \text{ IN } \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad [\text{Kg.}]$$

N = número de hilos que constituyen el cable

Aumento de resistencia eléctrica debido al cableado: Si no circula corriente entre los hilos a través de sus contactos lineales, el aumento de resistencia sería aproximadamente el mismo que el aumento de peso. Si todos los hilos estuvieran en perfecto contacto entre sí, la resistencia total disminuiría en la misma proporción que el aumento de peso, debido al pequeño aumento de la sección transversal del cable. En la práctica se supone que ambas acciones se equilibran, y que ambos aumentos relativos son aproximadamente iguales.

Disminución de la resistencia mecánica debida al cableado: Cuando un cable está sometido a un esfuerzo mecánico, los elementos helicoidales tienden a apretarse sobre los de las capas interiores produciendo en ellos compresiones internas. Por lo tanto, los hilos componentes, tomados en conjunto, no se comportan como si fueran conductores individuales independientes, además, los hilos de las diversas capas tienen longitudes distintas, de manera que no trabajan todos de la misma forma. Por estas razones, la resistencia mecánica de un cable es menor que la correspondiente a la suma de sus conductores individuales. Esta circunstancia se expresa por la denominada eficiencia mecánica del cable, que es la relación entre su carga de rotura y la suma de las cargas de rotura de todos los hilos individuales. Los valores experimentales de la eficiencia mecánica son los siguientes:

Cables de 3 hilos	0,95
Cables de 7 hilos	0,93
Cables de 19 hilos	0,90
Cables de 37 hilos	0,88
Cables de 61 hilos y más	0,85

Es decir, que para hallar la carga de rotura de un cable, se multiplica la suma de las cargas de rotura de los hilos individuales por el coeficiente de eficiencia mecánica correspondiente, expresado en la tabla anterior. De todas formas, en las tablas técnicas de características de cables generalmente ya se expresa directamente la correspondiente carga de rotura, como veremos mas adelante.

El vigente Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión, establece que deben adoptarse las características de los conductores facilitadas por los fabricantes de los mismos. Si no se dispone de estas características, se adoptarán los valores fijados en las correspondientes normas vigentes de conductores; nosotros, basaremos el estudio de los diferentes tipos de conductores en las citadas normas.

TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

NATURALEZA	Peso específico gr./cm ³	Diámetro mm	Carga de rotura kg./mm ²	módulo de elasticidad final kg./mm ²	Coeficiente de dilatación lineal por 1º C	Resistividad a 20º C Ohms mm ² /m	coeficiente de variación de resistividad
Cobre duro	8,89	1 a 7,5	45 a 37	12.000	17 .x 10 ⁶	0,01759	0,00399
Aluminio duro	2,70	1,25 a 5,50	20 a 16	6.750	23 .x 10 ⁶	0,02826	0,00403
Aleación de aluminio	2,70	1,4 a 4	30	6.500	23 .x 10 ⁶	0,3250	0,00360
Acero (alma de cable)	7,78	1,25 a 4,75	133	20.000	11,5 x 10 ⁶	-----	-----

En la Tabla 7 se resumen las características mínimas de los alambres que constituyen los cables conductores más utilizados en líneas aéreas, de acuerdo con las normas.

Se establece también que la sección mínima admisible de los conductores de cobre y sus aleaciones. En el caso de conductores de acero, la sección mínima admisible ha de ser de 12,5 mm .

Para los demás metales, no deben emplearse conductores cuya carga de rotura sea inferior a 350 kg. Es decir, que si queremos utilizar un cable de aleación de aluminio, teniendo en cuenta que la carga de rotura de cada alambre individual es de 30 kg./mm² , la sección teórica mínima del cable habría de ser

$$S = 350/30 = 11,7 \text{ mm}^2$$

Esta sección aún habría de aumentarse ligeramente, de acuerdo con la composición del cable y teniendo en cuenta el correspondiente coeficiente de eficiencia mecánica. Por ejemplo, para un cable de 7 hilos (coeficiente de eficiencia mecánica = 0,93), la sección efectiva mínima habría de ser :

$$S_{ef} = \frac{11,7}{0,93} = 12,58 \text{ mm}^2$$

APLICACIÓN DEL ALUMINIO

I. Conductores de aluminio.- Los conductores a base de aluminio han encontrado su principal aplicación en las líneas de alta y muy alta tensión, forma de cables mixtos de aluminio-acero de gran sección. También se han emplea en las redes de distribución a tensión media, en forma de cables de poca sección aluminio puro, de aluminio-acero o de almelec, y han dado siempre excelentes resultados cuando se han tomado ciertas precauciones en el montaje.

Los cables de aluminio-acero, almelec o almelec-acero permiten, en muchos caso la ejecución económica de líneas de 15, 30 ó 45 kilovoltios de pequeña o mediana sección . La resistencia mecánica tan elevada de estos cables permite también hacer tendidos de grandes luces. Para sacar el máximo partido de esta condición ventajosa hay que emplear cables especiales de aluminio-acero con gran proporción de acero, o cables de almelec-acero.

Otra aplicación consiste en la construcción de cables de tierra con aluminio-acero. Los cables de acero galvanizado empleados generalmente para este uso no constituyen, ni con mucho, una buena solución al problema de conductores de tierra; a pesar de la galvanización, su duración es bien corta, y no son raras

roturas por oxidación a los cinco o seis años de uso. En la mayor parte de los casos puede decirse que hay que prever su renovación antes de hacer el tendido de la línea.

El cable de aluminio-acero posee una superioridad considerable sobre el de acero, desde el punto de vista de la oxidación. El aluminio resiste casi indefinidamente la acción de la intemperie y protege el acero de un modo perfecto. El cable de tierra, que casi siempre tiene una sección inferior a la del conductor, debe tener una carga de rotura unitaria mayor, para que sus flechas no excedan de las de los conductores propiamente dichos; sí éstos son de alumninio-acero aquel debe ser también de aluminio-acero, pero reforzado.

Otra ventaja del cable de aluminio-acero estriba en su mejor conductancia. Un cable de tierra buen conductor mejora la puesta a tierra de los postes, homogeneizando las resistencias de las tomas de tierra individuales; además, es muy importante el efecto de pantalla que producen ante la inducción en las líneas le telecomunicación próximas, y reduce considerablemente las tensiones inducidas en caso de avería en la línea de energía. Las tensiones inducidas en el circuito constituido por el cable a tierra dan lugar a corrientes; los campos magnéticos que así se originan se oponen a los creados por los conductores de la línea y reducen la inducción en el circuito telefónico. Las corrientes inducidas en el circuito de tierra dependen te la impedancia de este circuito, y aumentan considerablemente cuando disminuye la resistencia del cable de tierra

Cobre.

El cobre es uno de los materiales mas extendidos de la naturaleza y se encuentra diseminado por todas las rocas primitivas y por los aluviones proceden de su disgregación. Existen también en el sol y en los aerolitos.

Se encuentra el cobre nativo en depósitos considerables y profundos. Fuera de casos excepcionales el cobre se encuentra en forma de sulfuros, el mas importante es el calcopirita, los demás sulfuros como la calcosina, la x, etc tienen menos contenido de cobre. También se encuentra el sulfuro de cobre compuesto por sulfuro de arsénico, de plomo y de antimonio, la enargita, el cobre gris, etc. La pupitra, que es una sal oxigenada es un mineral denso de tono rojizo.

Propiedades físicas generales.

El cobre es un metal rojo, un poco rosáceo cuando es muy puro y sin trazo alguno de óxido. Fundido toma a veces un matiz gris azulado, las laminas muy finas son traslúcidas y transfieren una luz verdosa. Bien pulimentado el cobre tiene reflejos metálicos muy vivos pero los pierde rápidamente al contacto con el aire .

el valor exacto de la densidad del cobre difiere según las características del historial mecánico y térmico del metal, los resultados oscilan entre 8,914 y 8,937.

Cobre electrolítico.

El cobre electrolítico o puro se obtiene electrolíticamente y este proceso electroquímico se llama refinado de cobre. Un electrodo de cobre puro hace de cátodo y un electrodo de cobre impuro hace de ánodo; el cobre electrolítico se deposita sobre el cátodo.

La presencia de impurezas disminuye considerablemente la conductibilidad del cobre electrolítico. Conociendo el contenido de impurezas la pérdida de conductibilidad del cobre se puede calcular.

Cobre recocido.

El cobre recocido ha sido objeto de un acuerdo internacional del cual tomaremos algunos puntos mas importantes:

Se distingue el cobre recocido y el cobre industrial.

1 - Cobre tipo recocido.

Los valores siguientes se toman como normales para el cobre tipo recocido:

- a- A temperatura de 20°C la resistividad del tipo recocido es de $1/58 = 0,01741 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$.
- b- A temperatura de 20°C la densidad del cobre recocido es de 8,89 gr./cm³.
- c- A temperatura de 20°C el coeficiente de dilatación lineal del cobre tipo recocido es de 0,000017°C.
- d- A temperatura de 20°C el coeficiente de variación con la temperatura de la resistencia.

El cobre recocido a masa constante y dilatación libre es de 0,00393.

2 - Cobre industrial.

La conductibilidad del cobre recocido industrial se expresa a 20°C. La conductibilidad del cobre industrial se calcula:

la diferencia de la temperatura a que se hacen las observaciones y los 20°C no deben pasar de $\pm 10^\circ\text{C}$.

la resistividad del cobre industrial aumenta en $0,000068 \Omega \text{mm}^2/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$.

la densidad del cobre industrial a una temperatura de 20°C es de 8,89 gr./cm³.

Este valor de la densidad debe emplearse en el cálculo de la conductividad relativa del cobre recocido industrial.

Propiedades térmicas.

El calor específico y la conductibilidad térmica varían con la temperatura pero en muy poca cantidad para temperaturas inferiores a 300°C, las impurezas influyen aunque muy poco en estas propiedades.

Propiedades mecánicas generales.

El cobre es un material (metal) extraordinariamente dúctil y maleable lo mismo en frío o en caliente. Estas cualidades aumentan con la pureza del metal. Las deformaciones mecánicas provocan no obstante un estirado acompañado de cierta destrucción de la estructura cristalina. El recocido por encima de 200°C la devuelve sus propiedades iniciales. El temple daría lugar a un metal mas dulce, la ductilidad es desde luego menor de 250°C a 400°C.

La resistencia a la tracción depende considerablemente del trabajo mecánico previo: aumenta mucho con el batido y puede llegar a duplicar su valor. El recocido hace recobrar al cobre sus propiedades características pero con la condición de que se haga a temperatura superior de un límite mínimo comprendido entre 280 y 430°C.

El limite de elasticidad solo es apreciable con el metal batido. Su valor en este caso es igual aproximadamente a la mitad de la resistencia a la tracción y pierde con el recocido una cantidad casi igual, al valor absoluto, a la que pierde esta ultima acumulándose o poco menos para un metal perfectamente recocido y se forma de modo permanente al menor esfuerzo.

CONDUCTORES DE COBRE

Los alambres pueden ser de cobre recocido, semiduro y duro. Los alambres de cobre recocido o blando tienen una resistencia a la rotura de 22 a 28 kg./mm², muy inferior a la necesaria para su empleo como hilo conductor; en líneas aéreas solamente se le emplea para ataduras entre conductores o entre estos y los correspondientes aisladores. Aunque no se empleen como conductores de líneas aéreas, en la siguiente tabla se exponen sus características generales, para que se pueda comparar con las otras calidades de cobre que estudiadas a continuación.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL COBRE RECOCIDO.

Peso específico $p = 8,95 \text{ gr./cm}^3$.
 Resistividad a 20° $p_{20^\circ} = 1,72 \text{ microohmios-centimetro}$
 Coeficiente de temperatura..... $\gamma = 0,0039$.
 Módulo de elasticidad $E = 9.000 \text{ kg./mm}^2$
 Carga de rotura.....de 22 a 28 kg./mm².
 Limite de elasticidadde 14 a 45 kg./mm².
 Alargamiento a la rotura.....0,5 %.
 Coeficiente de dilatación lineal $\alpha = 16 \times 10^{-6}$.
 Calor específico a 20°0,0912.
 Calor específico a 100°0,0942.

El cobre semiduro tiene una resistencia a la rotura de 28 a 34 kg./mm². Se emplea en líneas de tensión poco elevada y para vanos que no exceden de 40 a 50 m .

El cobre duro es el mas utilizado en las líneas aéreas. En la Tabla siguiente se expresan sus características generales.

TABLA DE. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL COBRE DURO.

Peso específico $p = 8,95 \text{ gr./cm}^3$.
 Resistividad a 20 ° $p_{20^\circ} = 1,76 \text{ microohmios-centimetro}$.
 Coeficiente de temperatura $\gamma = 0,0039$.
 Módulo de elasticidad $E = 12000 \text{ kg./mm}^2$.
 Carga de rotura. de 35 a 46 kg./mm².
 Limite de elasticidadde 30 a 41 kg./mm².
 Alargamiento a la rotura.. de 0,5 a 6 %
 Coeficiente de dilatación lineal $\alpha = 16 \times 10^{-6}$
 Calor específico a 20°C.....0,0912.
 Calor específico a 100°C.....0,0942.

TABLA DE. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL COBRE DURO TELEFÓNICO

Peso específico $p = 8,89 \text{ gr./m}^3$.
 Resistividad a 20° $p_{20^\circ} = 2,46 \text{ microohmios-centimetro}$.
 conductividad a 20° respecto al cobre blando70 %.
 Coeficiente de temperatura..... $\gamma = 0,002$.
 Módulo de elasticidad..... $E = 12.000 \text{ kg./mm}^2$.
 Carga de rotura.....de 50 a 70 kg./mm².
 Limite de elasticidadde 45 a 65,5 kg./mm².
 Alargamiento a 1 @ rotura.....de 1 a 2,5 °,/@.
 Coeficiente de dilatación lineal $\alpha = 16 \times 10^{-6}$.
 Calor específico a 20°0,0907.
 Calor específico a 100°0,0937.

El denominado cobre duro telefónico tiene una gran resistencia mecánica (de 50 a 70 kg./mm²) y aunque se ha empleado algunas veces para Hienas aéreas, su principal campo de aplicación lo constituye las líneas de telecomunicación. En la Tabla anterior se expresan sus características generales

En cuanto al cobre utilizado en maquinaria, pueden verse algunos valores el cuadro que sigue:

	Carga de rotura Kg./mm ²	Alargamiento %
Cobre colado	14 a 19	-----
Cobre laminado	28 a 30	25 a 32
Cobre laminado y recocido	45 a 19	48 a 52

Alargamiento : Generalmente se mide el alargamiento en el limite de elasticidad y es igual a la relación entre la tensión y el módulo de elasticidad. El alargamiento para la rotura es muy elevado en el cobre recocido, y mucho menor y variable, para el cobre batido.

Módulo de elasticidad.: Este módulo varia entre los limites siguientes:

Hilos de cobre normal: 5000 a 12000 Kg./mm²
 Hilos de cobre batido: 9000 a 13000 Kg./mm²

Características normales de los conductores de cobre

1. Diámetros normales.- Los diámetros y secciones definidos como normal por acuerdo internacional son os siguientes:

Constitución de los conductores Diámetro mm	Secciones mm ²	Constitución de los conductores Diámetro mm	Secciones mm ²
1x12/10	1,13	19x12/10	21,5
1x16/10	2,01	19x14/10	29,3
1x20/10	3,14	19x16/10	38
1x25/10	4,91	19x18/10	48
1x30/10	7,07	19x20/10	60
1x34/10	9,08	37x16/10	74
7x09/10	4,45	37x18/10	94
7x10/10	5,50	37x20/10	116
7x12/10	7,92	37x22/10	141
7x14/10	10,8	37x24/10	167
7x16/10	14,1	37x26/10	196
7x18/10	17,8	37x28/10	228

Características normales para los hilos de cobre desnudos y cilíndricos (sección recta circular).-

Se aplican a los hilos desnudos cilíndricos, de cobre electrolítico, destinado a los siguientes usos:

- Hilos recocidos, para el devanado de maquinas o aparatos.
- Hilos recocidos, para los cables destinados a la transmisión de energía eléctrica, a telegrafía o a telefonía.
- Hilos duros, para línea, aéreas o maquinaria.

Diámetros normales.- La serie de diámetros normales. expresados en milímetros es la siguiente:

0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14
0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,30	0,32
0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48	0,50	0,52	0,55
0,58	0,60	0,62	0,65	0,68	0,70	0,75	0,80	0,85
0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30

1,35	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,91	2,00	2,10
2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,75	3,80	3,90
4,00	4,20	4,40	4,50	4,60	4,80	5,00	5,20	5,50
5,80	6,00	6,50	7,00					

Los hilos cuyo diámetro no figura en esta lista se consideran como especiales y las condiciones de recepción relativas a estos hilos especiales deben ser objetivo de acuerdo privado entre comprador y al vendedor.

Medidas de diámetro. Para los hilos de diámetro superior a 0,50 milímetros se hace la medida con un tomillo pálmer a frotamiento o con un micrómetro de cuadrante entre topes planos, circulares, de 5 milímetros de diámetro. Se toma como valor del diámetro la media de dos lecturas hechas en dos direcciones perpendiculares entre sí. La diferencia entre estas lecturas no debe exceder del 2 por 100 del diámetro teórico para hilos recocidos, y del 3 por 100 para hilos duros.

Para dos hilos de 0,50 milímetros, o menos, de diámetro, se calcula el diámetro medio partiendo del peso de un trozo de hilo de 10 metros de longitud, y tomando para la densidad del cobre, entre los 10° y los 30° C de temperatura, el valor 8,89.

Aspecto exterior.- La superficie del metal no debe presentar asperezas, ni pelos, ni rayas, ni rebaba. Debe estar limpio y sin traza alguna de óxido de sulfuro ni de materia extraña alguna, sobre todo productos químicos empleados en el desoxidado.

Resistividad.- Se toma como base la resistividad del cobre tipo recocido, dada por la citada por la normas Eléctricas .

Características mecánicas- La resistencia a la rotura se mide en una máquina de tracción a velocidad máquina de 1 centímetro por segundo. Las señales que han de servir para medir el alargamiento distaran entre sí 200 milímetros para los hilos de más de 0,50 milímetros, y 500 milímetros para los hilos de 0,50 milímetros o menos.

La medición se hace juntando los trozos después de la rotura, el primer caso; en el segundo caso, se puede leer directamente el alargamiento sobre la máquina de tracción, si esta dispuesta para ello. La rotura deber producirse a una distancia de las señales igual por lo menos a 12 veces el diámetro del hilo.

Resistencia a los dobleces repetidos.- Esta prueba se hace a mano, con mordazas cuyos bordes están fijados concretamente por un artículo según normas. La primera flexión, correspondiente a un ángulo de 90°, se hace colocado el hilo en la prolongación del plano de sujeción y curvándolo después sobre la cara de una de las mordazas. Las demás flexiones, correspondientes a ángulos de 180° se cuentan sucesivamente a partir de la posición tomada por el hilo después de la primera flexión.

En cada doblez, el hilo deberá tocar en todas sus partes, y de modo especial en las proximidades del plano de sujeción, con la cara de la mordaza sobre la cual este inclinado. Se dice que un hilo soporta **n** dobleces, cuando se rompe al hacer el (n + 1) doblez.

Características principales de los hilos de cobre puro recocido, de alta conductibilidad

En la tabla siguiente pueden verse estas características, en función de las magnitudes normales dadas anteriormente:

$$t = 0^{\circ}\text{C} \quad d = 8,9 \text{ g/cm}^2 \quad \rho = 1,588 \mu\Omega \text{ cm}^2 / \text{cm} \quad \alpha = 0,00428$$

Características de los hilos de cobre

Diámetro mm	Sección mm ²	Peso g/m	Longitud m/Kg.	Resistencia Ω /Km. a 0° C	Resistencia Ω /Kg. a 0° C
0,04	0,0012	0,0112	89410	12714	136800
0,05	0,0020	0,0175	57220	8158	465600
0,06	0,0025	0,0252	39730	5664	224500
0,07	0,0038	0,0342	29190	4151,4	121200
0,08	0,0050	0,0447	22350	3178,4	71360
0,09	0,0064	0,0566	17660	2511,3	44550
0,1	0,0079	0,0699	14306	2034,2	29100
0,2	0,0314	0,2796	3576	508,230	1817

0,3	0,0707	0,6291	1589	226,020	359,280
0,4	0,1257	1,1184	894,1	127,140	113,680
0,5	0,1963	1,7475	572,2	81,580	46,560
0,6	0,28271	2,5164	397,3	56,110	22,450
0,7	0,3848	3,4251	291,9	41,514	12,120
0,8	0,50271	4,4736	223,5	31,784	7,136
0,9	0,6362	5,6619	176,6	25,113	4,55
1,0	0,7854	6,9900	143,0	20,32	2,910
1,1	0,9503	8,4580	118,2	16,811	2,004
1,2	1,1310	10,066	99,34	14,26	1,409
1,3	1,32731	11,81	84,65	12,036	1,025
1,4	1,5394	13,700	72,99	13,378	0,761
1,5	1,7671	15,728	63,58	9,040	0,579
1,6	2,1106	17,895	55,88	7,946	0,445
1,7	2,2698	20,201	49,50	7,038	0,349
1,8	2,5447	22,648	44,15	6,278	0,277
1,9	2,8353	25,234	39,62	5,634	0,223
2,0	3,1416	27,960	35,76	5,085	0,181
Diámetro mm	Sección mm ²	Peso g/m	Longitud m/Kg.	Resistencia Ω/Km. a 0° C	Resistencia Ω/Kg. a 0° C
2,1	3,1636	30,826	32,44	4,612	0,150
2,2	3,8013	33,832	29,55	4,202	0,124
2,3	4,15481	36,977	27,04	3,845	0,103
2,4	4,5239	40,263	24,83	3,531	0,088
2,5	4,9087	43,688	22,89	3,54	0,074
2,6	5,3093	47,253	21,16	3,009	0,063
2,7	5,7256	50,957	19,62	2,790	0,054
2,8	6,1575	51,802	18,24	2,594	3,047
2,9	6,6052	58,786	17,01	2,418	0,041
3,0	7,0686	62,910	15,89	2,255	0,036
3,1	7,5477	67,174	14,88	2,116	0,032
3,2	8,0425	71,578	13,97	1,986	0,027
3,3	8,5530	76,122	13,13	1,867	0,024
3,4	9,0792	80,805	12,37	1,759	0,021
3,5	9,6211	85,628	11,67	1,660	0,019
3,6	10,1788	90,591	11,03	1,569	0,017
3,7	10,7521	95,675	10,43	1,485	0,015
3,8	11,3412	100,92	9,90	1,408	0,013
3,9	11,9459	106,26	9,40	1,337	0,012
4,0	12,5664	111,84	8,34	1,271	0,011
4,1	13,2025	117,48	8,51	1,210	0,010
4,2	13,8544	123,26	8,11	1,153	0,009
4,3	14,5220	129,22	7,73	1,100	0,0085
4,4	15,2053	135,28	7,39	1,050	0,0077
4,5	15,9043	141,51	7,36	1,004	0,0071
4,6	16,6190	147,82	6,76	0,961	0,0065
4,7	17,3494	154,32	6,47	0,920	0,0059
4,8	18,0956	161,00	6,20	0,882	0,0054
4,9	18,8574	167,76	5,95	0,847	0,0050
5,0	19,6350	174,74	5,72	0,813	0,0046
5,1	20,4282	181,81	5,500	0,782	0,0043
5,2	21,2372	189,01	5,291	0,750	0,00397
5,3	22,0618	196,35	5,093	0,724	0,00360
5,4	22,9022	203,83	4,917	0,697	0,00343
5,5	23,7583	211,45	4,729	0,672	0,00308
5,6	21,6301	219,21	4,562	0,648	0,00296
5,7	25,5176	227,11	4,103	0,626	0,00276
5,8	26,1208	235,14	4,253	0,604	0,00257
5,9	27,3397	243,32	4,110	0,584	0,00240
6,0	28,2743	251,64	3,974	0,565	0,00224
6,1	29,2247	260,10	3,845	0,546	0,00210
6,2	30,1907	268,70	3,722	0,529	0,00197
6,3	31,1725	277,43	3,605	0,512	0,00184
6,4	32,1699	286,31	3,493	0,496	0,00175
6,5	33,1831	295,33	3,386	0,481	0,00163
6,6	34,2120	304,49	3,284	0,466	0,00153
6,7	35,2565	313,78	3,187	0,453	0,00144
6,8	36,3168	323,22	3,087	0,439	0,00136

6,9	37,3930	332,80	3,000	0,427	0,00128
7,0	38,4845	342,51	2,920	0,415	0,00121
7,1	39,5928	352,37	2,838	0,403	0,00115
7,2	40,7150	362,36	2,760	0,392	0,00108
7,3	41,8539	372,50	2,685	0,381	0,00103
7,4	43,0085	382,70	2,613	0,371	0,00096
7,5	44,1786	393,19	2,515	0,361	0,00091
7,6	45,3646	403,74	2,477	0,352	0,00087
7,7	46,5663	414,44	2,413	0,343	0,00082
7,8	47,7836	425,27	2,351	0,334	0,00078
7,9	49,0167	436,25	2,290	0,325	0,00074
8,0	50,2655	447,36	2,235	0,317	0,00071
8,1	51,5300	458,62	2,181	0,310	0,00067
8,2	52,8102	470,01	2,128	0,302	0,00064
8,3	54,1061	481,54	2,071	0,295	0,00061
8,4	55,4177	493,22	2,028	0,288	0,00058
8,5	56,7450	505,03	1,980	0,281	0,00055
8,6	58,0881	516,98	1,934	0,275	0,00053
8,7	59,4468	529,08	1,890	0,268	0,00050
8,8	60,8212	541,31	1,817	0,262	0,00048
8,9	62,2114	553,67	1,806	0,256	0,00046
9,0	63,6173	566,19	1,766	0,251	0,00044
9,1	65,0388	578,85	1,728	0,245	0,00042
9,2	66,4761	591,64	1,690	0,240	0,00040
9,3	67,9291	604,57	1,654	0,235	0,00039
9,4	69,3978	617,64	1,619	0,230	0,00037
9,5	70,8822	630,85	1,585	0,225	0,00035
9,6	72,3823	644,20	1,552	0,220	0,00034
9,7	73,8981	657,69	1,521	0,216	0,00032
9,8	75,4297	671,32	1,490	0,211	0,00031
9,9	76,9769	685,09	1,460	0,207	0,00030
0,0	78,5398	699,00	1,431	0,203	0,00029

ALEACIONES DE COBRE

Latones.- Los latones son aleaciones de cobre y zinc, a las que se agregan, aveces, otros cuerpos, pero en pequeñas cantidades (estaño, plomo, hierro). Las aleaciones de cobre son las mas empleadas en la construcciones eléctricas, y siempre se preparan por unión directa.

Las propiedades mecánicas de los latones son muy variables: en general, para los latones recocidos, la carga de rotura aumenta con el contenido de zinc hasta un 45% , en que alcanza el maximo, disminuyendo después bruscamente entre el 45 y el 50 por 100. El alargamiento sigue una marcha análoga, pero con el maximo hacia el 30 por 100 de zinc, seguido de una disminución mas lenta. La dureza aumenta con la proporción de zinc.

El latón francés de 1º Ley se emplea en forma de planchas laminadas o de tiras, de tubos estirados sin soldadura, etc. Su composición es muy poco variable.

El latón francés de 2º Ley es mas seco y se presta poco para el embutido; se adapta muy bien para las piezas recortadas; también se lamina en placas muy finas para hacer escobillas, por su facilidad para el temple.

El latón fundido contiene impurezas que mas que nada provienen frecuentemente de la refundición de metales viejos.

En la tabla siguiente se ve la composición de los diferentes latones y su resistividad:

Tipo	Cobre	Zinc	Estaño	Plomo	Hierro	Impurezas	Resistividad $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ a 15° C
Latón francés 1º Ley	66	34					0,055
Latón francés 2º Ley	60	40					0,085
Latón fundido .	75	2.5	2			0,5	0,083
Latón fundido	68	28	1,2	1,5	0,3	1	0,084

TECNOLOGÍA DE MATERIALES.

1

CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	1
<u>Propiedades características de lo conductores.....</u>	1
Propiedades físicas en general.....	1
Propiedades eléctricas.....	1
Conductancia.....	2
<u>Propiedades mecánicas.....</u>	2
Ensayo de resistencia de los materiales.....	3
Propiedades físicas generales.....	3
Conductibilidad térmica.....	4
<u>Superconductibilidad de los metales.....</u>	4
Resistencia residual o remanente.....	4
Influencia de distintos factores sobre la superconductibilidad.....	5
<u>PLATA.....</u>	5
Elaboración del metal.....	5
Propiedades físicas en general.....	6
Propiedades mecánicas.....	6
Principales aplicaciones.....	6
<u>ALUMINIO.....</u>	6
Propiedades físicas en general.....	7
Propiedades químicas.....	7
Aleaciones del aluminio.....	8
Aluminio en la industria eléctrica.....	10
<u>Características delos Conductores Aluminio Acero.....</u>	12
<u>Características generales de los cables utilizados en líneas aéreas.....</u>	14
<u>COBRE.....</u>	17
<u>Propiedades físicas generales.....</u>	18
Cobre electrolítico.....	18
Cobre recocido.....	18
Propiedades térmicas.....	18
Propiedades mecánicas generales.....	18
<u>CONDUCTORES DE COBRE.....</u>	19
Características normales de los conductores de cobre.....	20
Características principales de los hilos de cobre puro recocido, de alta conductibilidad.....	21
<u>ALEACIONES DE COBRE.....</u>	23