

Líneas Eléctricas

Generalidades

Denominaremos **líneas eléctricas** al conjunto de elementos (conductores, columnas, aisladores, etc.) destinado a transmitir la energía eléctrica. El objetivo de las líneas eléctricas es el de transmitir energía eléctrica a distancia, en la forma más económica posible, bajo condiciones técnicas de servicio adecuadas.

Para satisfacer lo anterior deberá cumplirse que:

- 1- La pérdida de potencia por efecto Joule no debe superar ciertos valores, (para mejorar el rendimiento del proceso de transmisión).
- 2- La caída de tensión debe encontrarse dentro de ciertos límites.
- 3- El calentamiento de los conductores debe ser tal que no provoque modificaciones mecánicas importantes del cable.
- 4- Los conductores, en condiciones mecánicas extremas, deben estar sujetos a tensiones mecánicas de tracción admisibles para el material con que están contruidos, a fin de garantizar la suficiente resistencia mecánica de ellos.-
- 5- Las inversiones de capital deben ser mínimas.

Lo anterior se lograría aumentando la sección de los conductores, pero esto significa encarecer la línea. En consecuencia, el cálculo eléctrico de la línea es un problema de equilibrio entre exigencias de servicio y costo.

Existen diferentes criterios de cálculo que concurren a solucionar el problema. Según la importancia de la línea se deben considerar uno o más de ellos, e inclusive con mayor o menor profundidad.

La importancia de una línea se evalúa en función de:

- *La potencia que debe transmitir.*
- *La distancia* (es decir la longitud de la línea)

Lo anterior lleva a una Clasificación de las líneas en:

- a. **Líneas de transporte o transmisión:** son de gran longitud, transmiten potencias considerables a tensiones elevadas, unen las Centrales con las Estaciones Transformadoras Receptoras, desde donde se distribuye la energía, generalmente previa una reducción de la tensión. Como caso especial de líneas de transporte se pueden considerar las líneas de interconexión entre centrales o grupos de centrales (en n/país 500 – 380 – 330 – 220 – 132 kV). Dado el crecimiento e interconexión de los sistemas de energía, la última tensión señalada, esta siendo desechada como tensión de transmisión.-
- b. **Líneas de subtransmisión,** líneas primarias o de alimentación (feeders en ingles): Son líneas de transmisión de menor importancia, que llevan energía eléctrica a los centros de carga, desde las grandes **estaciones transformadoras** o desde una central. (longitudes, potencias y tensiones medias) (en n/país 132 – 66 – 33 kV)
- c. **Líneas de distribución primaria:** En los Centros de Carga, como ser ciudades, centros industriales, grandes industrias, etc., se realizan las llamadas "**estaciones transformadoras primarias**". De ellas se tienden los alimentadores o distribuidores de media tensión en 13,2 kV o más raramente 6 kV. Estas líneas , que se conocen genéricamente como "**distribución primaria**", alimentarán suministros rurales, (pozos de riego, por ejemplo), suministros urbanos (barrios, centros comerciales) y suministros industriales.-

La energía es cedida a través de las "**subestaciones**" transformadoras, aéreas (mono y doble poste) y a nivel, y mediante numerosas ramificaciones, conducen la energía hacia las líneas de distribución secundaria, con tensiones normalizadas de 380 V y 220 V.-

- d. Líneas de distribución secundaria: es el conjunto de líneas aéreas y subterráneas de 380 y 220 V, también llamadas **líneas de instalación**, que llegan hasta los receptores o aparatos de consumo.

Podemos clasificar las líneas también de acuerdo a la tensión de trabajo:

Alta tensión **AT**

Media tensión **MT**

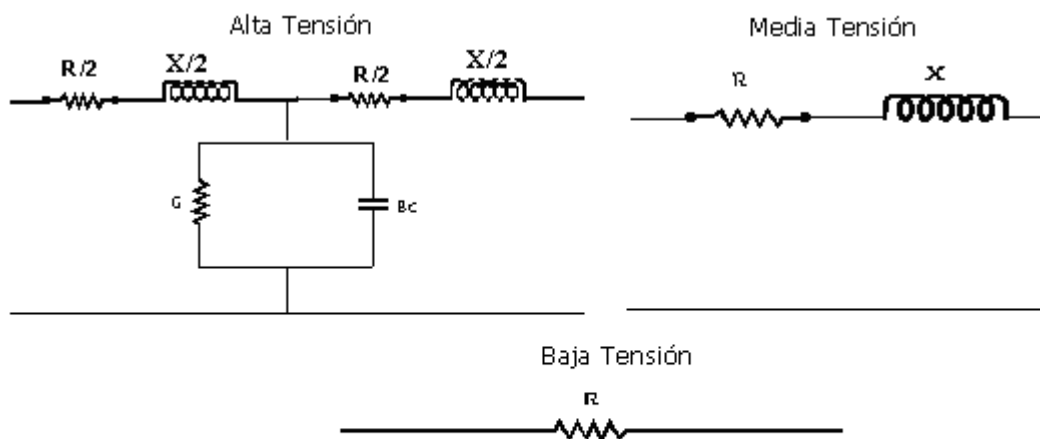
Baja tensión **BT**

En las dos primeras el criterio de diseño es el de la **máxima economía**. En la tercera la directriz de cálculo será la **máxima caída de tensión** admitida por las normas.-

De acuerdo al tipo de línea de que se trate serán los **parámetros** que tomaremos para su representación circuital.-

- 1- En AT tenemos en cuenta la resistencia eléctrica R , la reactancia inductiva X_L , la conductancia de pérdidas G , como consecuencia del aislamiento imperfecto y la susceptancia capacitiva B_C debida a la capacidad que se desarrolla entre los conductores y entre ellos y tierra. $X \gg R$.-
- 2- En MT tenemos que considerar la resistencia y la reactancia inductiva $R \cong X$ como parámetros concentrados en Ω/km .-
- 3- En BT solamente representamos la resistencia de la línea $R \gg X$.

Por lo expresado anteriormente, podemos dar a modo de ilustración, la representación de distintos tipos de líneas:



Otra clasificación puede ser según la clase de corriente producida en la central eléctrica:

- Líneas de Corriente Continua.
- Líneas de Corriente Alterna.

CÁLCULO DE CANALIZACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSION

CRITERIOS DE CÁLCULO

Para calcular las canalizaciones deben tomarse en cuenta 4 criterios de cálculo:

1. Corriente Admisible por Calentamiento.
2. Caída de Tensión o Pérdida de Potencia.
3. Consideraciones Económicas.
4. Resistencia Mecánica.

Ámbitos de aplicación: según la importancia de la instalación se considera uno o todos los criterios:

GENERALIDADES que influyen en el cálculo:

1.- Materiales:

Cobre: Como material conductor es el que se utiliza principalmente, y están normalizadas sus características físicas, tales como el peso específico ($8,9 \text{ g/cm}^3$), la variación de la resistividad con la temperatura, $\alpha = 0,000068 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, la resistividad promedio

$$\rho_{Cu} = \frac{1}{56} \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \right]$$

Aluminio: se emplea también, para las líneas, en determinados casos, en reemplazo del cobre. Principalmente se utiliza en líneas aéreas con grandes vanos, por su bajo peso específico. El aluminio para usos electrotécnicos, debe contener, por lo menos un 99,5 % del metal puro y poseer, cuando está recocido, una resistividad no superior a

$\rho_{Al} = \frac{1}{36} \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \right] = 0,02778 \Omega \text{mm}^2 \cdot m^{-1}$ a 20°C . El peso específico de $2,7 \text{ g/cm}^3$ y el coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura $\alpha = 0,00011 \Omega \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

2.- Calentamiento:

Si por un conductor de R ohmios de resistencia pasa una corriente cuya intensidad sea I amperios, la temperatura sube en él hasta que el calor que la corriente le transmite, sea igual al que cede al ambiente en igual tiempo.

La cantidad de calorías producidas en un segundo, por efecto Joule está dado por:

$$Q_1 = 0.24 R I^2 [\text{cal}].$$

El calor cedido por el conductor dentro de límites moderados de la temperatura, es:

$$Q_2 = C(T - T_a) \cdot S [\text{cal}],$$

proporcional al aumento de la temperatura respecto de la del ambiente $(T - T_a)$, y a la superficie S del conductor, siendo C una constante que depende del material y características geométricas del conductor.

Cuando la temperatura del conductor quede estacionaria tendremos, pues, la igualdad

$$(Q_2 = Q_1), \text{ o sea } 0.24 I^2 R = C(T - T_a) \cdot S [\text{cal}]$$

Como la resistencia de un conductor vale $R = \rho \frac{l}{S}$ y su superficie exterior, de radiación térmica, supuesta sección circular de diámetro d , es $S = \pi \cdot d \cdot l$, la igualdad anterior podrá escribirse

$$0.24 I^2 \frac{\rho \cdot l}{S} = C(T - T_a) \cdot \pi \cdot d \cdot l [\text{cal}] \quad \text{y como } S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ resulta}$$

$$T - T_a = \frac{0.96 \rho}{\pi^2 C} \frac{I^2}{d^3} [^{\circ}C]$$

y para el aumento de temperatura

$$\Delta T = T - T_a = K \frac{I^2}{d^3} [^{\circ}C]$$

o sea que el aumento de la temperatura es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente e inversamente proporcional al cubo del diámetro. Además depende del material aislante y de la manera de colocar el conductor.

3.- Secciones de las Líneas

Las líneas deben dimensionarse de manera tal que, dadas las condiciones de servicio, tenga suficiente resistencia mecánica y no se puedan calentar excesivamente.

Debe contarse con una "Tabla de Intensidades" de corriente admisibles en cables de Cobre desnudos, preensamblados con revestimiento plástico o con aislamiento de PVC (poli cloruro de vinilo) tipo Protodur. También si el conductor es de Aluminio. Estas tablas son provistas por los Fabricantes de los conductores, pero también figuran en Manuales y Reglamentos actualizados.-

Si los conductores son de Aluminio de igual sección normalizada que los de Cobre debe tenerse en cuenta su mayor resistividad, motivo por el cual, a igualdad de sección, la corriente admisible en el aluminio será solo del 80% del valor de la intensidad admisible para el Cobre, pues:

$$Q = 0.24 R I^2 = 0.24 I^2 \frac{\rho l}{S} \quad ; \quad Q_{Cu} = 0.24 I_{Cu}^2 \frac{\rho_{Cu} l}{S} [cal] = Q_{Al} = 0.24 I_{Al}^2 \frac{\rho_{Al} l}{S} [cal]$$

$$I_{Cu}^2 \rho_{Cu} = I_{Al}^2 \rho_{Al} \quad ; \quad I_{Al} = I_{Cu} \sqrt{\frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}}} = I_{Cu} \sqrt{\frac{1/56}{1/36}} = 0.80 I_{Cu}$$

$$I_{Al} = 0.80 I_{Cu}$$

Las secciones deducidas según las tablas se denominan "secciones de seguridad contra calentamiento excesivo". Las secciones deducidas de la caída de tensión, pérdida de potencia, o por consideraciones económicas, deben comprobarse siempre respecto del calentamiento del conductor, según las citadas tablas.

4.- Caída de tensión y pérdida de potencia

En la mayoría de los casos y por razones técnicas, el cálculo de la sección de los conductores se funda en la caída de tensión, o en su análogo, la pérdida de potencia. Estos dos valores se suelen medir en tanto por ciento de la tensión en bornes U_b o potencia en los bornes P_b de los receptores de corriente y los representaremos así: caída porcentual de tensión $\Delta u\%$ y pérdida porcentual de potencia $\Delta p\%$.-

En general en las líneas la caída de tensión $\Delta u\% = 3$ al 5% de la tensión en el punto de alimentación U_b .

En líneas de distribución secundaria o de instalación, los Reglamentos Municipales obligan a no permitir caídas de tensiones $\Delta u =$ superiores al 3% U_b (en servicio de alumbrado) y hasta 5% U_b (para fuerza motriz)

Si $\Delta U[V] = U_2 - U_1$ entonces $\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U} 100$ y $\Delta U[V] = \frac{\Delta u\% \cdot U}{100}$

Y como $\Delta p\% = \frac{\Delta U \cdot I}{P} \cdot 100 = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100$ resultará $\Delta P[W] = \Delta U \cdot I = \frac{\Delta p\% \cdot P}{100}$.

Dado que en corriente continua $\Delta p\% = \frac{\Delta P}{P} 100 = \frac{\Delta U \cdot I}{U \cdot I} 100 = \Delta u\%$

Esto es, en corriente continua "el tanto por ciento de caída de tensión es igual a la pérdida de potencia porcentual"

No es aplicable, en general, esta igualdad, para corriente alterna.

Los conductores han de calcularse de tal modo que la mayor pérdida de tensión o de potencia no exceda los límites fijados.-

5.- Consideraciones económicas:

Este punto, aunque importante, es secundario en relación a las otras consideraciones. Sin embargo, las líneas de transmisión importantes deben calcularse de tal modo que la suma del gasto anual por interés y amortización del capital invertido en la construcción y el valor de la energía perdida por efecto Joule, sea un mínimo.

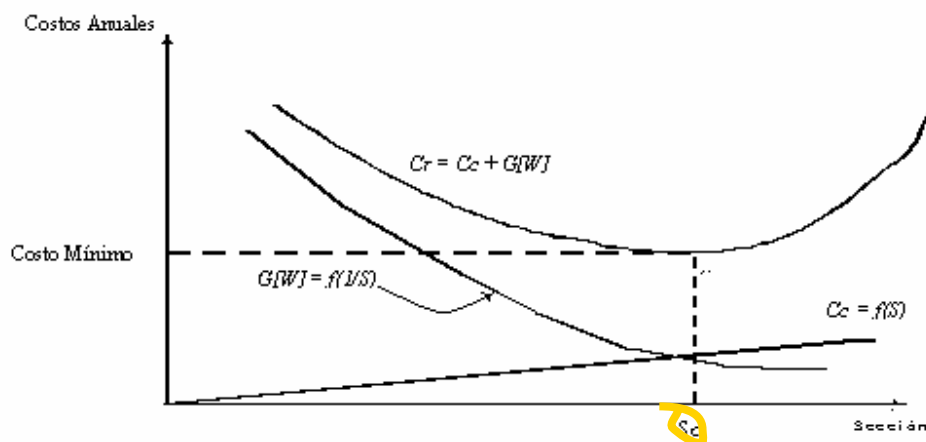
Los costos anuales de una línea son básicamente dos:

a)-Los de inversión de capital, afectados a la construcción de la línea, y que amortizamos en cada uno de los años de vida útil. Estos son directamente proporcionales a la sección de conductor adoptada. A mayor sección se tendrá mayor gasto en cables y en soportes.

b)-Los correspondientes a la pérdida de energía de la línea como consecuencia de la pérdida de potencia que origina la corriente que se establece en los conductores. Cuanto mayor es la sección de cable, tanto menor es la resistencia, menor será la pérdida de potencia y energía y con ello menores serán los costos. Estos en consecuencia serán inversamente proporcionales a la sección de conductor. En sistemas trifilares:

$$\Delta P = 3.I^2 . R_l = 3.I^2 . \frac{\rho . l}{S} \quad \wedge \quad W = \Delta P . t = \left(3.I^2 \frac{\rho . l}{S} . t \right)$$

El grafico adjunto nos muestra que el costo total anual pasa por un mínimo para una sección S_e que denominamos económica.



En las **Líneas de Distribución** se distinguen dos esquemas de montaje, a saber:

- Líneas de distribución abiertas, distribuidores abiertos o troncales.
- Líneas de distribución cerradas, distribuidores cerrados o en anillo.

Las primeras reciben la energía eléctrica de un solo lado; son líneas en forma de rama terminal, llamadas también líneas radiales; las segundas reciben la energía eléctrica por más de un lado.

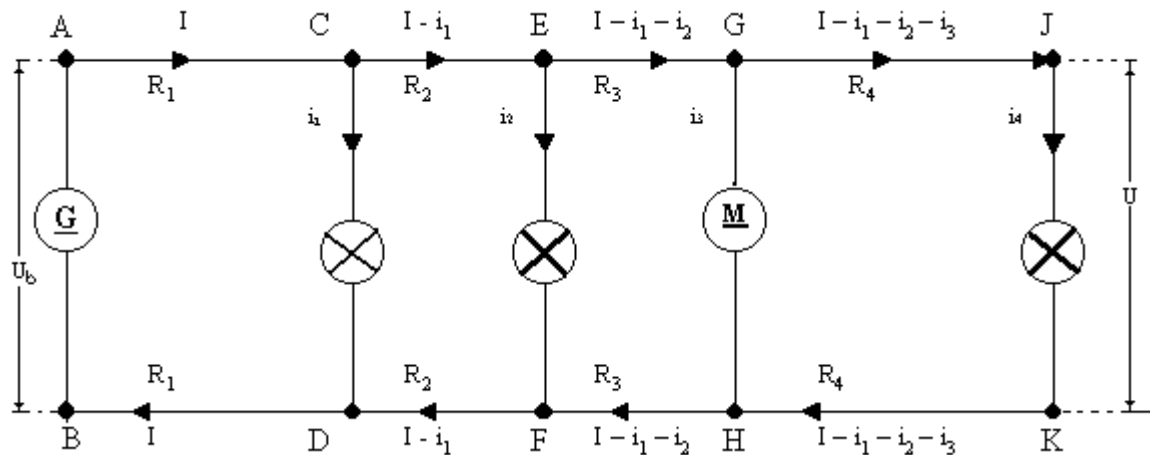
Líneas abiertas o con alimentación unilateral

Ejemplo de Sistema bifilar de distribución por corriente continua

Determinación de la sección adecuada en base a la caída de tensión

Del generador eléctrico G o del sistema de energía eléctrica se alimentan los receptores o consumidores de energía con dos conductores, uno de ida y el otro de vuelta. La resistencia de los distintos tramos de línea se indica con R_1, R_2, R_3, R_4 , respectivamente y puesto que al conductor de

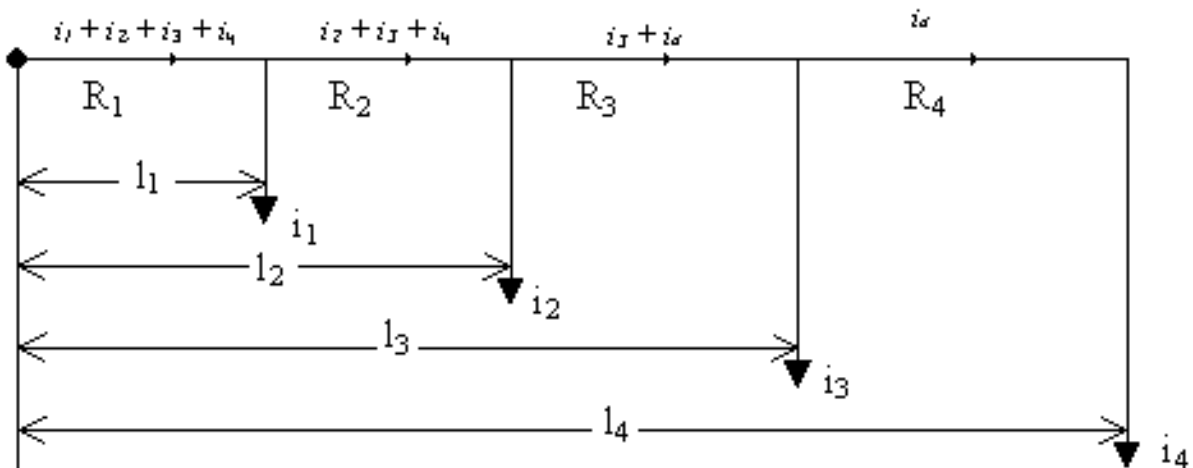
vuelta se le da la misma sección que al de ida, los dos conductores de cada tramo, entre consumidores, tienen la misma resistencia.-



La caída de tensión ΔU será:

$$U_b - U = \Delta U = 2[R_1 I + (I - i_1)R_2 + (I - i_1 - i_2)R_3 + (I - i_1 - i_2 - i_3)R_4][V]$$

Si se analiza la misma línea con un esquema unifilar:



La caída de tensión es también: $\Delta U = 2[(i_1 + i_2 + i_3 + i_4)R_1 + (i_2 + i_3 + i_4)R_2 + (i_3 + i_4)R_3 + i_4 R_4]$

o bien $\frac{\Delta U}{2} = i_1 R_1 + i_2 (R_1 + R_2) + i_3 (R_1 + R_2 + R_3) + i_4 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$.

Dando a cada conductor desde A hasta J la misma sección S [mm^2], se tiene:

$$R_1 = \frac{\rho l_1}{S} \quad R_1 + R_2 = \frac{\rho l_2}{S} \quad R_1 + R_2 + R_3 = \frac{\rho l_3}{S}$$

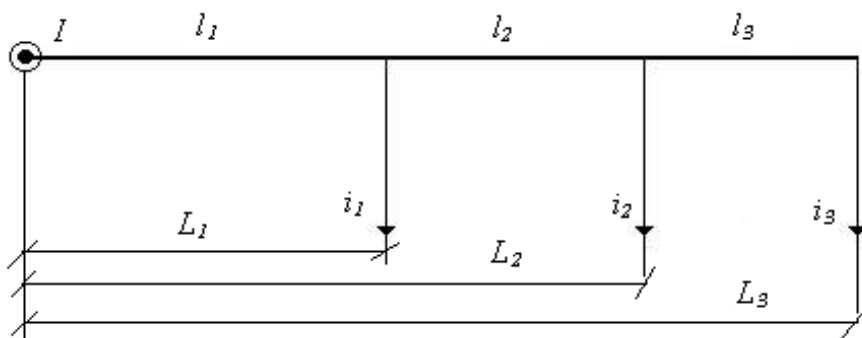
$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{\rho l_4}{S} \quad \text{y por consiguiente} \quad \Delta U = 2 \left(i_1 \frac{\rho l_1}{S} + i_2 \frac{\rho l_2}{S} + i_3 \frac{\rho l_3}{S} + i_4 \frac{\rho l_4}{S} \right)$$

$$\Delta U = 2 \frac{\rho}{S} [i_1 l_1 + i_2 l_2 + i_3 l_3 + i_4 l_4] [V] \quad \text{y} \quad S [\text{mm}^2] = 2 \frac{\rho}{\Delta U} [i_1 l_1 + i_2 l_2 + i_3 l_3 + i_4 l_4]$$

Una vez calculada la sección S , debe verificarse con la sección comercial más próxima al calentamiento del conductor en el tramo que porta toda la corriente $I = \sum i$ teniendo presente que para el aluminio debe ser la corriente admisible $I_{Al} = 0,80 I_{Cu}$ para que las secciones puedan considerarse técnicamente suficientes. La relación entre las secciones resulta:

$$S_{Al} [mm^2] = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} S_{Cu} = \frac{56}{36} \cdot S_{Cu} = 1,56 S_{Cu}$$

Supongamos una línea de corriente continua, alimentada por un solo extremo, y que alimenta a tres cargas. La caída de tensión a lo largo de la línea, considerando U_1 la tensión en el punto de alimentación u U_2 la tensión en el último consumidor, será:



$$\Delta U = U_1 - U_2 = (i_1 + i_2 + i_3)R_1 + (i_2 + i_3)R_2 + i_3R_3$$

Adoptando una sección constante para toda la longitud de los dos conductores (ida y vuelta):

$$\Delta U = \frac{2\rho}{S} \cdot [(i_1 + i_2 + i_3)l_1 + (i_2 + i_3)l_2 + i_3l_3]$$

$$\Delta U = \frac{2\rho}{S} \cdot [i_1 \cdot l_1 + i_2(l_1 + l_2) + i_3(l_1 + l_2 + l_3)] = \frac{2\rho}{S} [i_1 \cdot L_1 + i_2 \cdot L_2 + i_3 \cdot L_3]$$

Generalizando la expresión se obtiene: $\Delta U = \frac{2\rho}{S} \sum_i^n (i_k \cdot L_k)_A$

A los productos $(i_k \cdot L_k)$ se los denomina **momentos de corriente o momentos eléctricos** y la distancia en todos los casos se mide desde el punto de alimentación hasta la carga en cuestión.

Dado que la caída de tensión ΔU se fija o es un dato, lo que realmente calculamos es la sección necesaria en función de la caída de tensión S . El subíndice A representa el punto con respecto al cual se miden las distancias

$$S = \frac{2\rho}{\Delta U_{adm}} \sum_i^n (i_k \cdot L_k)_A$$

Realizadas las operaciones adoptamos la sección comercial más próxima superior a la del cálculo. De este modo garantizamos el nivel de tensión e incluso atender adecuadamente posibles variaciones pequeñas en mas de las cargas.

Verificación por calentamiento

Posteriormente se realiza la verificación al calentamiento del conductor por medio de tablas provistas por el Fabricante de los cables o Tablas de la Reglamentación Municipal.

Estas Tablas fijan la máxima corriente que puede admitir cada sección de conductor, para lograr un equilibrio térmico entre la cantidad de calor que se genera en el conductor por efecto Joule RI^2 y la disipación de energía térmica al medio ambiente.

Es por ello que las mismas están confeccionadas a una temperatura ambiente determinada y si la temperatura media del lugar donde se va a montar la línea es mayor o menor que la tenida en cuenta para la confección de la tabla de corrientes admisibles, los Reglamentos suministran también tablas que dan coeficientes de corrección de la corriente admisible, tanto si es aérea, en cañerías, subterráneas, etc. y también si la línea se prevee unipolar, bipolar (dos cables juntos, ida y vuelta), tripolar, etc.

S_c (mm ²)	I Admisible (Amperes)
10	36

16	50
25	65
35	•
•	•
•	•

Líneas de Corriente Alterna

Si se desea calcular una línea de corriente alterna monofásica, la expresión de la sección toma la forma: $S = \frac{2\rho}{\Delta U_{adm}} \sum_i^n (i_k \cdot L_k \cdot \cos \varphi_k)$ si los $\cos \varphi$ son superiores a 0,7 que es nuestro caso

Si es de corriente alterna trifásica será: $S = \frac{\sqrt{3}\rho}{\Delta U_{adm}} \sum_i^n (i_k \cdot L_k \cdot \cos \varphi_k)$

La sumatoria de los momentos de corriente solo considera las componentes *activas* para el cálculo de la *caída de tensión*, pero a los fines del *calentamiento*, debe tomarse en cuenta la corriente *aparente*, o bien el *módulo* de la corriente total, *suma vectorial* de las corrientes individuales, pues es ella la que producirá la máxima temperatura del conductor.-

Dado que en baja tensión trifásica se distribuye la energía con neutro, la sección del mismo se puede tomar como:

1- Instalaciones industriales: $\frac{S}{2} \geq S_{neutro} \geq \frac{S}{3}$

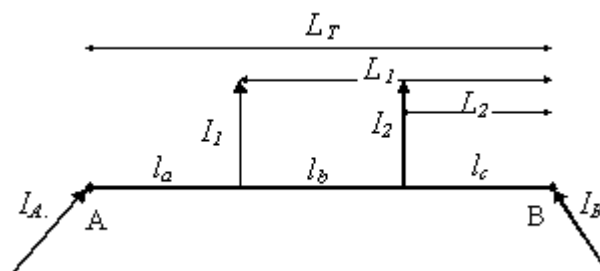
2- Distribución domiciliaria, en barrios, se puede adoptar para el neutro una sección igual a la inmediata inferior a la de las fases: Si $S = 50mm^2 \therefore S_N = 35mm^2$

Líneas alimentadas bilateralmente

Analicemos el caso de una línea alimentada por ambos extremos, el cálculo lo efectuaremos en dos etapas:

- 1- Determinación del aporte de corriente de cada extremo de alimentación.
- 2- Obtención del punto de corte, punto de mínima tensión o de máxima caída de tensión.
- 3- Separación en dos líneas unilaterales y determinación de la sección necesaria para la línea mas exigida respecto de la corriente aparente que la atraviesa.

Supongamos una línea con la siguiente configuración:



La caída de tensión a lo largo de la línea, es siempre la suma de las caídas en cada uno de los tramos definidos por las cargas. Calculamos la caída de potencial entre los extremos, en base a una de las corrientes aportadas por los extremos:

$$U_A - U_B = \frac{2\rho}{S} [I_A \cdot l_a + (I_A - I_1)l_b + (I_A - I_1 - I_2)l_c] =$$

$$U_A - U_B = \frac{2\rho}{S} [I_A(l_a + l_b + l_c) - I_1(l_b + l_c) - I_2 \cdot l_c] =$$

$$U_A - U_B = \frac{2\rho}{S} [I_A \cdot L_T - I_1 L_1 - I_2 L_2] =$$

$$U_A - U_B = \frac{2\rho}{S} \left[I_A \cdot L_T - \sum_{k=1}^n (I_k \cdot L_k)_B \right]$$

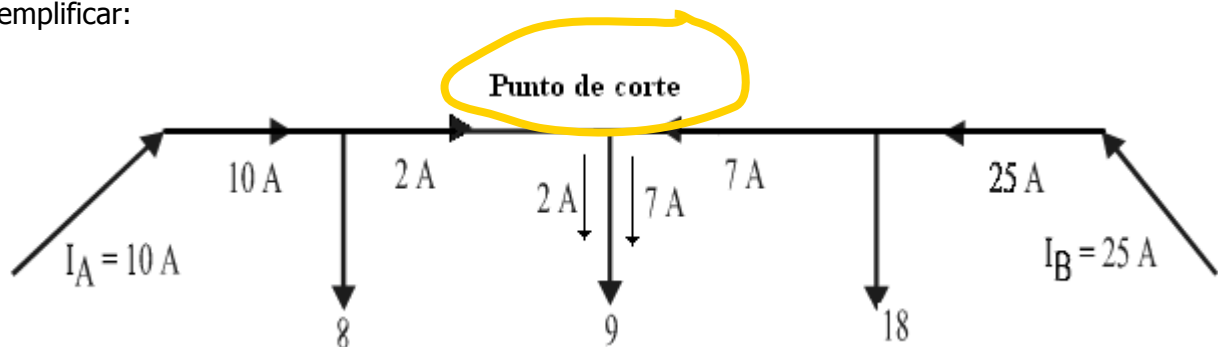
Donde la $\sum_{k=1}^n (I_k \cdot L_k)_B$ representa la suma de los momentos de corriente respecto del otro punto B de alimentación.

Dado que normalmente se operan estas líneas con igual tensión de alimentación en ambos extremos, se tendrá: $U_A = U_B \Rightarrow I_A \cdot L_T - \sum_{k=1}^n (I_k \cdot L_k)_B = 0$

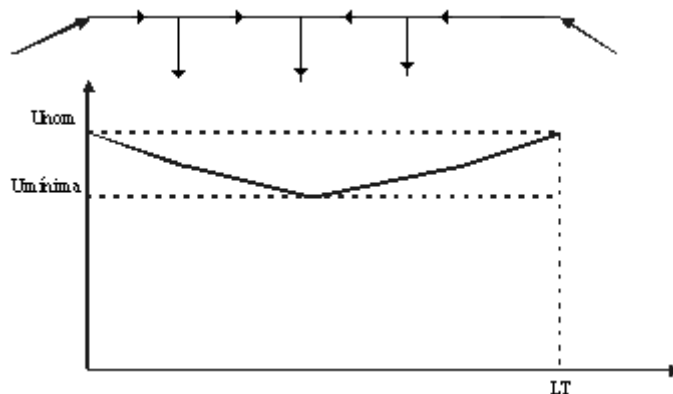
$$\therefore I_A \cdot L_T = \sum_{k=1}^n (I_k \cdot L_k)_B \quad \text{ó} \quad I_A = \frac{1}{L_T} \sum_{K=1}^n (I_K L_K)_B$$

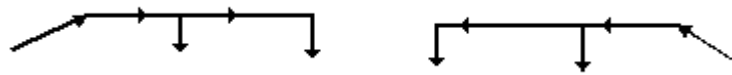
Como además se cumple que: $I_A + I_B = \sum_{k=1}^n I_k \quad \therefore I_B = \sum_{k=1}^n I_k - I_A$

Determinadas las corrientes de ambos extremos, teniendo en cuenta el valor particular de cada una de las cargas, podemos dividir imaginariamente la línea en otras dos, teniendo en cuenta el valor y sentido de las corrientes de línea en cada uno de los tramos. Veamos un caso para ejemplificar:



Luego de determinar el punto de corte, que será el punto de mínima tensión de la línea (recordar que las corrientes se establecen de los mayores a los mínimos potenciales), podemos analizar y calcular cada uno de los tramos como líneas independientes y con alimentación unilateral.





Cuando las cargas se expresan como potencias:

En las líneas de distribución y en las de instalación es frecuente que las cargas de las derivaciones o receptores se expresen como potencias en lugar de corrientes. Considerando que la tensión U_b no varía sensiblemente en los receptores:

$$\sum (i_k \cdot l_k) = \sum \left(\frac{P_k}{U_b} l_k \right) = \frac{1}{U_b} \sum (P_k \cdot l_k) \quad \text{Quedando} \quad \Delta U = \frac{2\rho}{U_b \cdot S} \sum_{k=1}^n (P_k \cdot l_k) [V] \quad y$$

$$S = \frac{2\rho}{\Delta U \cdot U_b} \sum_{k=1}^n (P_k \cdot l_k) [mm^2]$$

En los que $\sum_{k=1}^n (P_k \cdot l_k)$ es la suma de los momentos de las potencias eléctricas derivadas respecto al

punto de alimentación A. Si utilizamos la caída de tensión porcentual $\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_b} \cdot 100$

Con lo cual resulta $\Delta U = \frac{\Delta u \cdot U_b}{100}$; resulta $S = \frac{2\rho}{\frac{\Delta u \cdot U_b}{100}} \frac{\sum (P_k \cdot l_k)}{U_b} = \frac{200\rho}{\Delta p} \frac{\sum (P_k \cdot l_k)}{U_b^2}$

$S = f\left(\frac{1}{U_b^2}\right)$ A igualdad de potencias, caída de tensión, etc., la sección es inversamente proporcional al cuadrado de U_b .

Si la línea alimenta receptores iguales, (por ejemplo: lámparas iguales), que tienen muchas derivaciones: $\sum P \cdot l = \sum (P' \cdot nl) = P' (nl)$ siendo P la potencia de cada derivación, n su numero de receptores y P' la potencia de cada una de las lámparas, queda:

$$\Delta U = \frac{2\rho}{S} \frac{P'}{U_b} \sum (nl) [V] \quad y \quad S = \frac{2\rho}{\Delta U} \frac{P'}{U_b} \sum (nl) [mm^2]$$

Si la línea tiene cargas expresadas en las tres formas, esto es, en corrientes, en potencias y lámparas de igual potencia, o en dos de ellos, deben expresarse todas las cargas en la misma forma, adoptando la de la mayoría.

Cuando la línea alimenta una sola derivación o carga y se fija la $\Delta p\%$ en lugar de la caída relativa de tensión $\Delta u\%$, la siguiente forma se presta para calcular la línea (sección)

$$\Delta P [W] = \frac{\Delta p\% \cdot P_b}{100} \quad \text{si} \quad \Delta p\% = \frac{\Delta P [W]}{P_b [W]} 100 \quad \text{pero la} \quad \Delta P = I^2 R = I^2 \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{S} \quad \text{y como} \quad I_{cc} = \frac{P_b}{U_b}$$

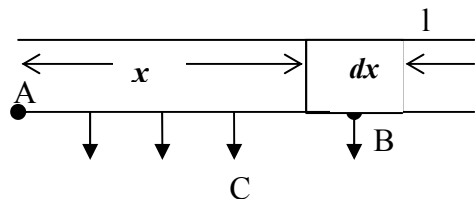
$$I^2 = \frac{P_b^2}{U_b^2} \quad \text{Entonces:} \quad \Delta P = \frac{2 \cdot \rho}{S} \frac{P_b^2}{U_b^2} l = \frac{\Delta p \cdot P_b}{100} \Rightarrow S = \frac{200 \cdot \rho \cdot l}{\Delta p} \frac{P_b}{U_b^2} [mm^2]$$

Solo se aplica a líneas cargadas en 1 punto.

Líneas con carga uniformemente repartida:

En cálculos grandes de líneas con muchas derivaciones, se puede suponer, a veces para mayor sencillez que los receptores están repartidos uniformemente sobre toda la longitud de la

línea y si i es la corriente por unidad de longitud, la intensidad que se deriva en una longitud diferencial dx será $i \cdot dx$ y la caída de tensión producida por el momento elemental $i \cdot dx \cdot x$ será:



$dU_x = i dx \frac{2\rho}{S} x [V]$ La caída total en toda la línea de A a C será la suma o integral de:

$$\Delta U = \int_0^l i \cdot dx \cdot \frac{2\rho}{S} x = i \frac{2\rho}{S} \int_0^l x \cdot dx = \frac{2\rho \cdot i}{S} \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^l = i \frac{2\rho}{S} \frac{l^2}{2} = \frac{2\rho}{S} (li) \frac{l}{2}$$

Puesto que i es la carga por metro, la carga completa es $I = li [A]$: $\Delta U = \frac{2\rho I}{S} \frac{l}{2} [V]$ y en consecuencia la sección $S = \frac{2\rho}{\Delta U} I \frac{l}{2} [mm^2]$

Líneas con cargas concentradas y distribuidas

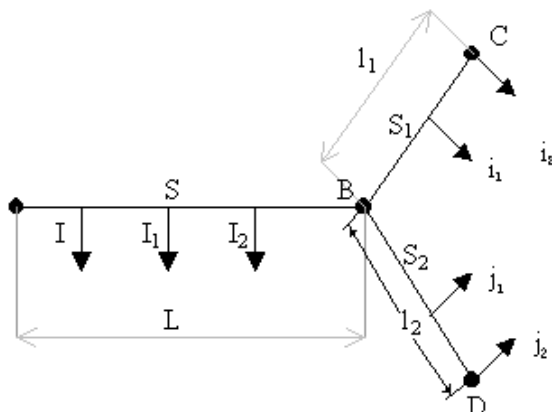
En este caso la suma de los momentos de corriente $\sum(li) = \sum_1(li) + \sum_2(li)$ y multiplicando

ambos miembros por $\frac{2\rho}{S}$ o por $\frac{2\rho}{\Delta U}$ tenemos: $\frac{2\rho}{S} \sum(il) = \frac{2\rho}{S} \sum_1(il) + \frac{2\rho}{S} \sum_2(il)$

Claro que si fijamos S las caídas de tensión serán $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$, y si fijamos la caída de tensión ΔU la sección $S = S_1 + S_2$ será la suma de las secciones ocupadas o necesarias para cada carga. Así :

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= \frac{2\rho}{S} \left[I \frac{l}{2} + \sum(il) \right] [V] \\ S &= \frac{2\rho}{\Delta U} \left[I \frac{l}{2} + \sum(il) \right] [mm^2] \end{aligned} \right\} \text{ En las cuales: } \begin{aligned} I &= \text{suma de intensidades uniformemente distribuidas.} \\ \sum(il) &= \text{suma de momentos de corrientes desigualmente repartidas.} \end{aligned}$$

Líneas Ramificadas



El cálculo de la sección se logra dividiendo la caída de tensión δ de A a C y de A a D en dos partes fijadas arbitrariamente, si δ_1 es la caída para ΔU_{AB} y otra $(\delta - \delta_1)$ desde B hasta C o desde B hasta D.

Así:

$$S = \frac{2\rho}{\delta_1} [\sum(IL) + \sum(i+j)L] = \frac{2\rho}{\delta_1} A [mm^2]$$

$$S_1 = \frac{2\rho}{\delta - \delta_1} [\sum(i \cdot l_1)] = \frac{2\rho}{\delta - \delta_1} B [mm^2]$$

$$S_2 = \frac{2\rho}{\delta - \delta_1} [\sum(j \cdot l_2)] = \frac{2\rho}{\delta - \delta_1} C [mm^2]$$

En la práctica se pueden tantear varias reparticiones de la caída de tensión δ , tomar el más conveniente.

Una repartición interesante de la caída δ es la que da un mínimo en el volumen de la línea. Esto

se consigue determinando δ_1 como sigue: $2\rho\left(\frac{A.L}{\Delta U} + \frac{B.I_1}{\delta_1} + \frac{C.I_2}{\delta_1}\right) = \text{mínimo} = f(\delta_1)$

Derivando e igualando a cero: $\delta_1 = \frac{\Delta U}{1 + \sqrt{\frac{B.I_1 + C.I_2}{Al}}}$ permite calcular la caída de tensión económica.

.-ooOoo-.-.