TEMA 22

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LÍNEAS I

22.1 PERDITANCIA O CONDUCTANCIA DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Si el aislamiento de las líneas fuese perfecto no circularía ninguna corriente entre los conductores y los apoyos; ni superficialmente, ni a través de dicho aislamiento. En este caso, la conductancia sería nula. Pero en realidad tal corriente existe, puesto que la resistencia del aislamiento no es infinita.

De acuerdo con la Ley de Ohm, en el aislamiento se verifica:

$$\bar{I} = \frac{\overline{U}}{R} \qquad (22.1)$$

Siendo:
I: Intensidad de la corriente en el aislamiento.
U: Diferencia de potencial entre el conductor y tierra (apoyos de la línea)
R: Resistencia del aislamiento.

Se ha convenido en llamar "*perditancia*" o "*conductancia*", **G**, al valor inverso de la resistencia del aislamiento. De acuerdo con lo anterior, se verifica:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{\bar{I}}{\overline{U}} \qquad (22.2)$$

De (22.2) se deduce que la intensidad de la corriente de pérdida a través del aislamiento, es:

$$\bar{I} = G.\overline{U} \qquad (22.3)$$

y está en fase con la tensión, siendo por tanto totalmente activa. Dicha corriente da lugar a una pérdida de energía; de aquí su nombre de *perditancia*.

Para su cálculo, vamos a considerar una línea de longitud suficientemente grande y conectada a una fuente de tensión de valor **1 V**. La potencia disipada en dicha línea define la perditancia de la misma.

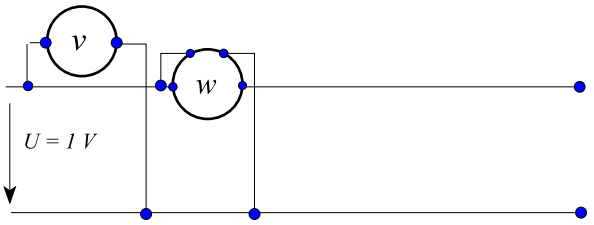


Fig.22.1

La potencia que mide el vatímetro **W** de la Fig. 22.1, viene dada por la expresión:

$$P = G.U^2 \qquad (22.4)$$

Pero como se ha dado a **U** el valor unidad, resulta:

$$P = G \qquad (22.5)$$

Si **P** se expresa en vatios (W), **G** vendrá en **Siemens (S)**

Hay que tener en cuenta que **G** varía mucho con el grado de humedad de la atmósfera, en el caso de las líneas aéreas.

En una línea aislada y con tiempo seco, el valor de **G** es prácticamente nulo[1].

22.2 SUSCEPTANCIA DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Midiendo la admitancia de una línea en vacío, se obtiene:

$$\overline{Y}_t = G_t + j.B_t \qquad (22.6)$$

[1]Como dato orientativo podemos decir que en una línea de **100 kV** de tensión nominal, bien aislada, la perditancia variará entre $\mathbf{10.10^{-8}}$ y $\mathbf{30.10^{-8}}$ $\mathbf{S.km^{-1}}$.

Donde:

$$G_t = \frac{1}{R_t} \quad \textit{es la conductancia total de la línea}$$

$$B_t = \omega C_t \quad \textit{es la subsceptancia total de la línea}$$

En la expresión (22.6) figura como parte imaginaria la susceptancia. El valor de la misma se puede calcular, ya que de (22.6), se obtiene:

$$B_t = \sqrt{Y_t^2 - G_t^2} \qquad (22.7)$$

suponiendo que se conozca $\mathbf{G_t}$ (calculada según (22.5)).

$\mathbf{B_t}$ se expresa en Siemens (S).

Para calcular la capacidad equivalente de la línea, se utiliza el valor de $\mathbf{B_t}$ calculado según (22.7), ya que:

$$C_t = \frac{B_t}{\omega} = \frac{\sqrt{Y^2{}_t - G^2{}_t}}{\omega} \qquad (22.8)$$

Si la línea tiene una longitud ***l***, la capacidad unitaria valdrá,

$$C = \frac{C_t}{l} \qquad (22.9)$$

22.3 CARACTERÍSTICAS TRANSVERSALES DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Las características transversales de una línea se definen por la expresión:

$$\overline{Y} = G + j.\omega C \qquad (22.10)$$

Donde:

G = Perditancia unitaria.

C = Capacidad unitaria.

Y = Admitancia unitaria

22.4 RESISTENCIA UNITARIA DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

La resistencia unitaria de una línea eléctrica, se define como la resistencia eléctrica del conductor de longitud unidad.

Para su cálculo, se dispone de una línea de longitud unidad, supuesta en cortocircuito perfecto (Fig.22.2).

Cuando la corriente que recorre la línea es de **1 A**, la potencia disipada define la resistencia unitaria de la línea. En efecto:

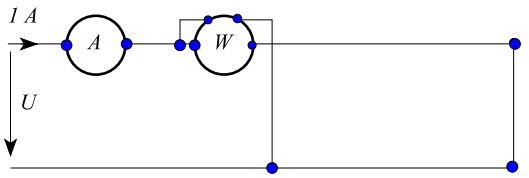


Fig.22.2

$$P = I^2.R$$

$$P = R \quad ya\ que\ I = 1\ (A) \qquad (22.11)$$

22.5 INDUCTANCIA UNITARIA DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Si a la línea del apartado anterior se le da una longitud suficientemente grande, se puede calcular el valor de la impedancia equivalente mediante la expresión:

$$\overline{Z}_t = \frac{\overline{U}}{\overline{I}} \qquad (22.12)$$

A partir de la expresión compleja de la impedancia total de cada hilo de la línea se obtiene $\omega \mathbf{L}_t^2$ y en consecuencia $\mathbf{L}_t$ (coeficiente de autoinducción equivalente a la línea de longitud "*l*"):

$$\overline{Z}_t = R_t + j.\omega L_t \qquad (22.13)$$

$$\omega L_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2}$$

$$L_t = \frac{\sqrt{Z_t^2 - R_t^2}}{\omega}$$

La inductancia unitaria es:

$$L = \frac{L_t}{l}\ (H.km^{-1}) \qquad (22.14)$$

[2] Se supone que R_t se ha calculado a partir del ensayo descrito en el apartado 22.4

22.6 CARACTERÍSTICAS LONGITUDINALES DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Las características longitudinales de una línea se definen por la expresión (22.15):

$$\overline{Z} = R + j.\omega L \qquad (22.15)$$

Donde:

R = Resistencia unitaria.
L = Inductancia unitaria.
Z = Impedancia unitaria.

22.7 RESISTENCIA ÓHMICA. EFECTO PELICULAR.

Una de las *características longitudinales* de una línea eléctrica es la *resistencia eléctrica* de los hilos que la constituyen. Esta resistencia es la causa principal de la pérdida de potencia de la línea.

Su valor viene dado, para cada conductor, por la expresión:

$$P = R.I^2 \qquad (22.16)$$

donde:

P = Potencia perdida por el conductor.
I = Intensidad de la corriente.
R = Resistencia eléctrica de los conductores

En corriente continua, el valor de la resistencia es:

$$R = \rho.\frac{l}{s}$$

y en el conductor la corriente está uniformemente distribuida en la sección transversal del mismo.

En corriente alterna, esta distribución no es uniforme debido al llamado *efecto pelicular, Skin o Kelvin.*

El efecto pelicular consiste, en que la densidad de corriente es mayor en la zona próxima a la periferia del conductor, que en las zonas próximas al centro de la sección transversal. Este efecto es tanto más intenso cuanto mayor es la frecuencia de la corriente alterna.

De forma muy sucinta, el efecto pelicular se explica como sigue.

Sea la Fig. 22.3, en la que se representa un trozo de conductor y su sección transversal. Debido a la corriente que circula por el conductor, se produce un campo magnético; cuyas líneas de inducción están representadas en la Fig.22.3 [3] (en la parte superior por cruces, y en la parte inferior por puntos). Como la corriente es alterna y el flujo es variable, se inducen en el seno del conductor corrientes en torbellino, tal como se indican en la Fig.22.3. Como resultado del fenómeno descrito se produce un debilitamiento de la corriente en el interior del conductor, y un incremento en la periferia.

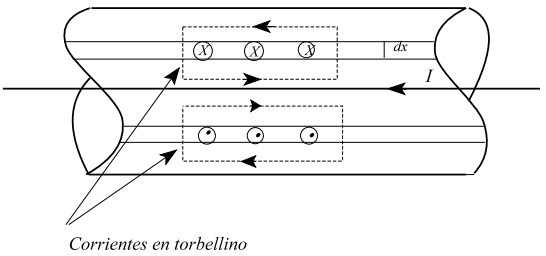


Fig. 22.3

22.8 COEFICIENTE DE AUTOINDUCCIÓN EN LÍNEAS MONOFÁSICAS.

Consideremos una línea monofásica formada por dos conductores de sección circular; de radio **r** , separados por una distancia **D** [4], y por los que circula una corriente variable **i** (de sentido contrario en los dos conductores). Fig. 22.4

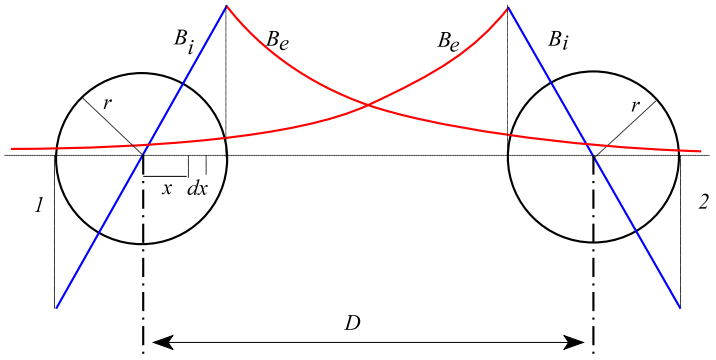


Fig.22.4

[3] El sentido de las líneas de inducción se obtiene fácilmente aplicando la regla de la mano derecha.

[4] Separación media geométrica entre ejes de fase; generalmente en milímetros.

Al ser la corriente variable con el tiempo, el campo magnético creado será igualmente variable, y por tanto los hilos tendrán una inductancia de valor:

$$L = \frac{\Phi}{i} \tag{22.17}$$

El flujo debido a la corriente que circula por el conductor Φ, se puede descomponer en dos; uno externo Φ_e y otro interno Φ_i.

La inducción magnética debido a la corriente que pasa por el conductor ***1***, desde el centro del conductor hacia el exterior, es decir en los diversos puntos del eje horizontal que une los centros de ambos conductores, se calcula a partir del *teorema de Ampère*.

$$\int_a \vec{B}.\vec{dl} = \mu.i \tag{22.18}$$

donde:

i = Corriente que atraviesa una superficie que contiene la curva cerrada (a) a lo largo de la cual se integra B.dl[5]

$\mu = \mu_0.\mu_r$ = Permeabilidad magnética absoluta.

En un punto del interior del conductor, situado a una distancia **x** del centro del mismo, se verifica:

$$B_i.2.\pi.x = \mu_r.\mu_0.\frac{i.\pi.x^2}{\pi.r^2} \tag{22.19}$$

$$B_i = \frac{\mu_r.\mu_0.i}{2.\pi.r^2}.x \tag{22.20}$$

En un punto exterior al conductor, situado a una distancia **x** del centro del mismo, se verifica

$$B_e.2.\pi.x = \mu_0.i \tag{22.21}$$

$$B_e = \frac{\mu_0.i}{2.\pi.x} \tag{22.22}$$

El flujo externo que atraviesan un elemento de anchura **dx** y de longitud unidad será:

$$d\Phi_e = B_e.dx = \frac{\mu_0.i}{2.\pi}.\frac{dx}{x} \tag{22.23}$$

[5]Los vectores B y dl tiene la misma dirección y sentido. Su producto escalar, coincide con el producto de sus módulos

El flujo en el exterior del conductor, entre **r** y **D**, es:

$$\Phi_e = \int_r^D B_e.dx = \int_r^D \frac{\mu_0.i}{2.\pi.x}.dx = \frac{\mu_0.i}{2.\pi}\ln(\frac{D}{r}) \qquad (22.24)$$

El coeficiente de autoinducción $\mathbf{L_e}$, debido al flujo exterior, por metro de conductor, es:

$$L_e = \frac{\Phi_e}{i} = \frac{\mu_0}{2.\pi}\ln(\frac{D}{r}) \qquad (22.25)$$

La determinación del coeficiente de autoinducción $\mathbf{L_i}$, por metro de conductor, debido al flujo interior, se calcula de la siguiente forma:

La energía magnética almacenada en la unidad de volumen del conductor es:

$$W'_i = \frac{1}{2}.H_i.B_i$$

En el volumen : $dV = 2.\pi.x.dx$,correspondiente a una longitud de un metro de conductor, es:

$$dW_i = W'_i.dV = \frac{1}{2}.H_i.B_i.dV \qquad (22.26)$$

Sustituyendo (22.20) en (22.26), resulta:

$$dW_i = \frac{1}{2}.H_i.B_i.dV = \frac{1}{2}.\frac{B_i^2}{\mu_r.\mu_0}.2.\pi.x.dx \qquad (22.27)$$

La energía magnética en el interior del conductor, por metro, será la integral de (22.27):

$$W_i = \int_0^r \frac{\mu_r.\mu_0}{4.\pi}.\frac{i^2}{r^4}.x^3.dx = \frac{\mu_r.\mu_0}{16.\pi}.i^2 \qquad (22.28)$$

La energía presente en la autoinducción $\mathbf{L_i}$, es:

$$W_i = \frac{1}{2}.L_i.i^2 \qquad (22.29)$$

Igualando (22.28) y (22.29), resulta:

$$L_i = \frac{\mu_r.\mu_0}{8.\pi} \qquad (22.30)$$

que es el valor de la autoinducción interna, por metro de conductor.

En el conductor, el coeficiente de autoinducción **L**, por metro queda definido por:

$$L = L_e + L_i = \frac{\mu_0}{4.\pi}.[\frac{\mu_r}{2} + 2.\ln(\frac{D}{r})] \qquad (22.31)$$

Teniendo en cuenta que $\mu_o = 4.\pi.10^{-7}$ wb.A $^{-1}$.m^{-1} , resulta:

$$L = [\frac{\mu_r}{2} + 2.\ln(\frac{D}{r})].10^{-4} \quad H.km^{-1} \qquad (22.32)$$

Los valores de μ_r del conductor son:

μ_r = 1 para el cobre, aluminio, aleaciones de aluminio y cables de aluminio-acero.
μ_r = 200 para el acero galvanizado.

En el caso de que las fases no sean simples, como es el caso expuesto, la ecuación (22.32) se expresa:

$$L = [\frac{\mu_r}{2} + 2.\ln(\frac{D}{r'})].10^{-4} \quad H.km^{-1} \qquad (22.33)$$

n = número de conductores por fase.

r' = radio ficticio, generalmente dado en milímetros, definido por la expresión $\sqrt[n]{n.r.R^{n-1}}$
(r = radio del conductor, en milímetros; R = radio, en milímetros, de la circunferencia que pasa por los centros de los conductores que forman las **n** fases)

22.9. COEFICIENTE DE AUTOINDUCCIÓN EN LÍNEAS TRIFÁSICAS.

En una línea trifásica aérea, los conductores ocupan los vértices de un triángulo. Este triángulo lo forman los aisladores, a los que los conductores están sujetos. De acuerdo con esto, se pueden considerar dos casos:

❶ Que los conductores formen un triángulo equilátero.
❷ Que formen un triángulo irregular.

En el primer caso, la separación entre conductores es **D**, según se desprende de la Fig.22.5.

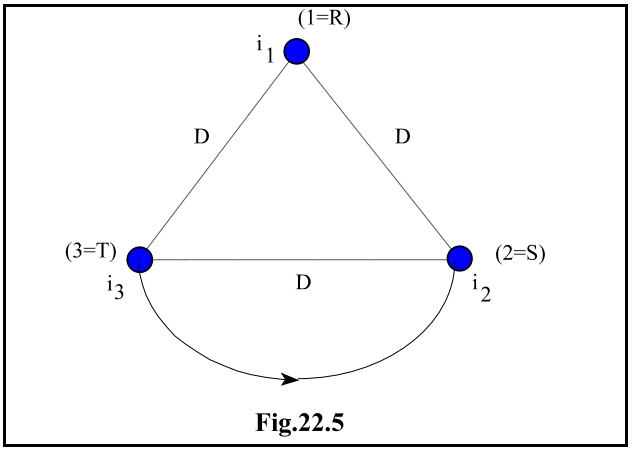


Fig.22.5

Si se supone que el hilo (3=T) se superpone sobre el hilo (2=S), se obtendría una línea monofásica, en la que las intensidades de los hilo serían:

Para el hilo (1): i_1
Para los hilos (2 y 3): $i_2 + i_3 = -i_1$

ya que siempre se verifica en una línea trifásica con tres hilos: $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

Por tanto, para cada hilo de la línea de fases simples, la inductancia es [6]:

$$L = [\frac{\mu_r}{2} + 2.\ln(\frac{D}{r})].10^{-4} \quad H.km^{-1} \qquad (22.34)$$

En él supuesto que los conductores estén colocado en los vértices de un triángulo irregular, es decir con disposición espacial asimétrica, la inductancia aparente total para cada conductor se define por la expresión (22.34), en la que **D** es igual a:

$$D = \sqrt[3]{D_{12}.D_{23}.D_{31}} \qquad (22.35)$$

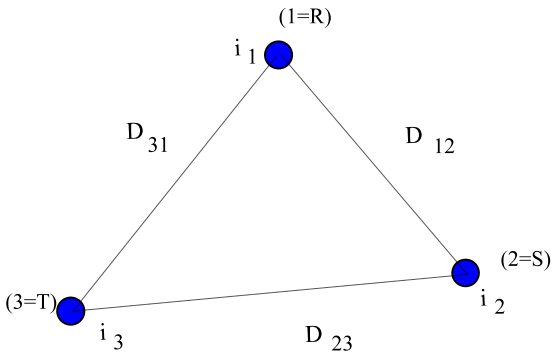


Fig.22.6

Siendo $\mathbf{D_{12}}$, $\mathbf{D_{23}}$, $\mathbf{D_{31}}$ las distancias entre conductores, según se especifica en la Fig.22.6.

Además, en estos casos se realiza una *transposición de fases*, operación que consiste en que los conductores se colocan alternativamente en las tres posiciones posibles: 1-2-3, según se especifica en la Fig.22.7.

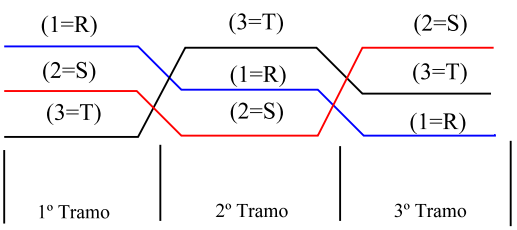


Fig.22.7

[6] En el caso de una línea con fases múltiples, la expresión (22.34) se sustituirá por la (22.36) donde **D** es la expresión (22.35)

22.10. CAPACIDAD DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

Los conductores que constituyen una línea eléctrica, que se encuentran aislados entre sí, se pueden considerar como las armaduras de un condensador (el dieléctrico es el aislante entre ellos).

En una línea que transporta corriente alterna, los conductores varían de potencial tantas veces por segundo, como valor tenga la frecuencia. En estas condiciones, la corriente de carga persiste, mientras persista la tensión que alimenta la línea.

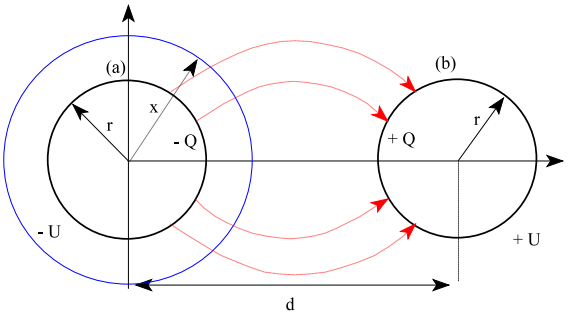


Fig. 22.8

Consideremos dos conductores paralelos con el mismo radio **r**, que se encuentran separados por una distancia **d.** Supongamos que las cargas, distribuidas por su superficie sean iguales y de signos contrarios, **-Q** y **+Q** (culombios/metro) (Fig. 22.8). Los potenciales de los conductores **(a)** y **(b),** son **+U** y **-U**, respectivamente (El origen de coordenadas se ha tomado en el centro del conductor **(a)**). Supongamos que tomamos una superficie gaussiana consistente en un cilindro de radio **x**, comprendido entre ambos conductores y de longitud unidad. Despreciando los efectos que pudiesen producirse en los extremos de los conductores, las líneas de desplazamiento sólo cortan a esta superficie a través de la superficie curva de área **2.π.x**. Si representamos por **D** el desplazamiento a la distancia **x** del eje, se tiene:

$$\int \vec{D}.d\vec{A} = 2.\pi.x.D = q$$

$$D = \frac{q}{2.\pi.x} \qquad (22.36)$$

En el espacio comprendido entre los conductores existe un dieléctrico de *capacidad específica de inducción*, ϵ,

$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{1}{2.\pi.\epsilon}.\frac{q}{x} \qquad (22.37)$$

El valor de la diferencia de potencial entre los conductores es:

$$U_{ab} = \int_r^d E.dx - \int_d^r E.dx = \frac{1}{2.\pi.\epsilon}.q \int_r^d \frac{dx}{x} - \frac{1}{2.\pi.\epsilon}.q \int_d^r \frac{dx}{x}$$

$$U_{ab} = \frac{1}{2.\pi.\epsilon}.q.\ln[\frac{d^2}{r^2}] = \frac{1}{2.\pi.\epsilon}.q.2.\ln[\frac{d}{r}] \qquad (22.38)$$

La capacidad por metro de conductor es:

$$C' = \frac{q}{U_{ab}}$$

Teniendo en cuenta (22.38), resulta:

$$C' = \pi.\epsilon.\frac{1}{\ln[\frac{d}{r}]} \qquad (22.39)$$

Si se considera que entre los dos conductores existe el aire como dieléctrico[7], el valor de la capacidad lineal del conductor será:

$$C' = \frac{10^{-6}}{36.\ln\,[\frac{d}{r}]} \quad (F.km^{-1}) \qquad (22.40)$$

Para una línea trifásica, la capacidad de cada conductor en relación con el neutro, se considera el doble de la expresada en (22.40), es decir [8]:

$$C' = \frac{10^{-6}}{18.\ln\,[\frac{d}{r}]} \quad (F.km^{-1}) \qquad (22.41)$$

22.11 EFECTO CORONA EN UNA LÍNEA ELÉCTRICA.

El efecto corona[9] se produce, cuando en una línea eléctrica aérea, el potencial es lo suficientemente grande para rebasar la rigidez dieléctrica del aire. Este efecto da lugar a pérdidas de energía debido a la corriente que se forma a través del medio.

Esto sucede porque el aire se convierte en conductor, dando lugar así a una corriente

[7] La capacidad específica de inducción del vacío, ϵ_0 en el S.I. es: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi.9.10^9}\ C^2.N^{-1}.m^{-2}$

[8] El valor de **d** se obtiene por aplicación de la expresión (22.38) y, en el supuesto que se trate de fase múltiples **r** se sustituye por $r' = \sqrt[n]{n.r.R^{n-1}}$

[9] El efecto corona figura en el Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

similar a la de conductancia en el aislamiento.

Este efecto llega a hacerse visible en la oscuridad, pudiéndose apreciar como los conductores quedan envueltos en un halo luminoso de color azul y de sección circular, de ahí el nombre de *corona*, que define el *efecto.*

Las pérdidas comienzan a partir un valor de la tensión llamada *tensión crítica disruptiva*. Para este valor el efecto todavía no es visible. El halo luminoso se hace perceptible a partir del valor de la tensión denominada *tensión crítica visual*.

En definitiva, las pérdidas por efecto corona comienzan desde el momento en que la tensión crítica disruptiva es menor que la tensión de línea.

La fórmula de Peek [10] da el valor de la tensión crítica disruptiva, a partir de la cual se produce el efecto corona.

$$U_c = \frac{29,8}{\sqrt{2}}.\sqrt{3}.m_c.\delta.m_t.r.n.\ln(\frac{D}{r'}) \qquad (22.42)$$

O bien:

$$U_c = 36,5.m_c.\delta.m_t.r.n.\ln(\frac{D}{r'}) \qquad (22.43)$$

El significado de los términos de la expresión (22.43) son:

U_c = Tensión eficaz compuesta crítica, expresada en kV, para la que comienza el efecto corona, es decir, la tensión crítica disruptiva.

29,8 = Valor en kV por cm, de la rigidez dieléctrica del aire a 25ºC y a 76 cm columna de mercurio de presión. Se divide por $\sqrt{2}$, ya que por tratarse de funciones senoidales es la forma de expresar el resultado en valores eficaces.

m_c = Coeficiente de rugosidad de los conductores. Sus valores son:
$m_c = 1$ para conductores de superficie lisa.
$m_c = 0,93$ a $0,98$ para conductores oxidados y rugosos.
$m_c = 0,83$ a $0,87$ para cables.

δ = Factor de corrección de la densidad del aire. Este factor es directamente proporcional a presión barométrica e inversamente proporcional a la temperatura absoluta del aire:

$$\delta = \frac{273 + 25}{76}.\frac{h}{273 + \theta} = \frac{3,921.h}{273 + \theta} \qquad (22.44)$$

[10] Peek ingeniero norteamericano al que se debe la fórmula que lleva su nombre, que permite calcular la tensión crítica disruptiva.

Siendo:

h = Presión barométrica (en cm) de la columna de mercurio.

θ = Temperatura (en grados centígrados) correspondiente a la altitud del punto donde esté colocada la línea eléctrica.

Como es muy frecuente que se desconozca el valor de **h**, que depende de la altitud ***y*** sobre el nivel del mar, su valor se puede obtener aplicando la fórmula de Halley:

$$\log h = \log 76 - \frac{y}{18336} \quad ; \quad h = 76.10^{\frac{y}{18336}} \qquad (22.45)$$

m_t = Coeficiente que depende de la lluvia, la cual hace descender el valor de U_c.
m_t = 1 para tiempo seco.
m_t = 0,8 para tiempo lluvioso.

r = Radio (en cm) del conductor.

n = Número de conductores del haz en cada fase:
n = 1 para fases simples de un solo conductor.
n = 2 para fases duplex.
n = 3 para fases triples.
n = 4 para fases cuádruples.

D = Distancia (en cm) entre ejes de fases.
r' = Radio ficticio (en cm) del haz de cada fase. Este radio se define por la expresión:

$$r' = \sqrt[n]{n.r.R^{n-1}}$$

siendo:
n = Número de conductores del haz de cada fase.
r = Radio (cm) del conductor.
R = Radio de la circunferencia que pasa por los centros de los conductores que forman la fase.

Para fases duplex (n = 2), la expresión (22.43) queda de la forma:

$$U_c = 36{,}5.m_c.\delta.m_t.r.2.\ln(\frac{D}{r}) = 73.m_c.\delta.m_t.r.\ln(\frac{D}{r}) \ (kV) \qquad (22.46)$$

Las pérdidas por efecto corona se obtiene por una fórmula, también debida a Peek, que da los kW por km de línea:

$$P = \frac{241}{\delta}.(f + 25).\sqrt{\frac{r}{D}}.(U' - U_c)^2.10^{-5} \ (kW.km^{-1}) \qquad (22.47)$$

Siendo:
P = Pérdida de conductancia en cada fase de la línea.
f = Frecuencia de la tensión en la línea.
r = Radio del conductor (cm).
D = Distancia entre ejes de las fases (en cm).
U' = Tensión simple *más elevada* de la línea (en kV).
$U'_c = U_c/\sqrt{3}$ (en kV), siendo U_c la tensión eficaz crítica disruptiva (22.43).

22.12. RECURSOS ANTICORONA

El efecto corona puede tener suficiente importancia en el cálculo de la sección de los conductores en líneas de muy alta tensión y ultra alta tensión.

La forma de disminuir la intensidad de campo se consigue de dos formas:

1) Aumentando la distancia entre fases.

2) Aumentando la sección de los conductores.

Si se aplica la primera solución, aumentará el coeficiente de autoinducción de la línea, además de aumentar el precio de los apoyos.

Si se aplica la segunda solución, aumentará el volumen de los conductores y en consecuencia se encarecerá el coste de la línea.

Los recursos más utilizados, son:

1.- Utilización de conductores de aluminio con alma de acero.
2.- Utilización de conductores de aluminio aleado.
3.- Utilización de conductores en haz.
4.- Utilización de conductores especiales.

22.12.1. CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO

En estos conductores las proporciones en secciones de **Al/Fe** oscila entre 4 y 8.

Una forma sencilla de aumentar la sección de un conductor es sustituir un metal, por otro de mayor resistividad. Este es el caso del aluminio con respecto al cobre. Ya que de esta forma para que los conductores tengan la misma resistencia, se necesitará mayor diámetro utilizando aluminio en vez de cobre. Sin embargo, esta solución no sería factible desde el punto de vista constructivo, debido a la pequeña resistencia a la tracción del aluminio. Esta última cuestión hace necesario que haya que armar el conductor de aluminio, con un alma de acero.

22.12.2. CONDUCTORES DE ALUMINIO ALEADO

Los conductores de aluminio aleado son a base de magnesio o silicio. Los del primer tipo se denominan ALDREY y ALMELEC y los del segundo 5005.

22.12.3. CONDUCTORES EN HAZ

Las disposiciones en haz constituyen soluciones adecuadas para aminorar el efecto corona. Se designan por $\frac{n.d}{s}$ (donde **n**, es el número de cables que constituyen cada fase, **d** es el diámetro de los conductores y **s** la separación dentro del haz).

Esta solución hace que se aumenten de forma importante los valores de las tensiones críticas disruptivas.

22.12.4. CONDUCTORES ESPECIALES

El fin que se persigue de aumentar los diámetros externos de los conductores se consigue mediante la utilización de cables de aluminio-acero expansionados. En estos tipos de conductores se intercala una capa de relleno entre los cableados en acero y en aluminio.