

CABLES

Conceptos Generales

La fig.1 nos muestra esquemáticamente el corte de un cable unipolar del tipo utilizado en las redes de transmisión o distribución urbana.

Analizaremos el parámetro capacidad teniendo en cuenta las características principales de los materiales aislantes mas utilizados.

Suponiendo que la carga q se distribuye uniformemente sobre las superficie del conductor, los valores de densidad de carga D e intensidad de campo eléctrico E por unidad de longitud de conductor será:

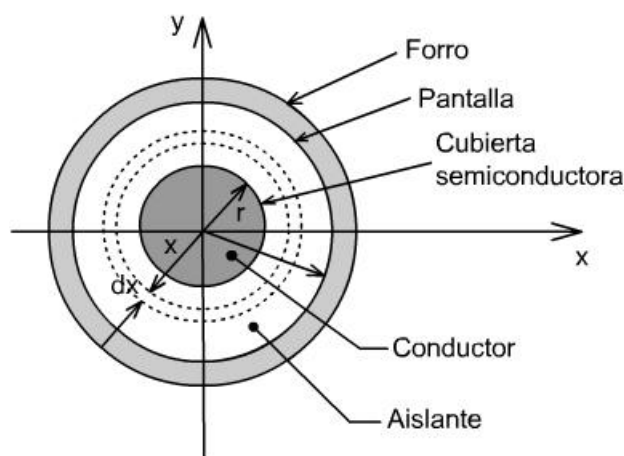


Fig 1

$$D = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot 1} \quad (1) \quad E = \frac{D}{k \cdot \epsilon_0} \quad (2)$$

k = Constante dieléctrica relativa del aislante
 E_0 = Constante dieléctrica del vacío

TABLA I

	Papel Impregnado	Cambray Barnizado	Butilo	Polietileno	Cloruro de Polivinilo
Rigidez dieléctrica en CA $\left[\frac{kV}{mm} \right]$	22	12	14	20	16
Rigidez dieléctrica (Impulso) $\left[\frac{kV}{mm} \right]$	73	40	43	60	47
Constante dieléctrica Relativa (k)	3,5	6	3,7	2,3	5,5
Factor de Potencia	0,008	0,06	0,015	0,0004	0,03
Constante de resist. de aislam. $[M\Omega]$	3000	1000	10000	30000	5000

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot \pi \cdot 10^9} \frac{F}{m} \quad (3)$$

Reemplazando (1) en (2) y el valor de ε_0 dado en la (3), resulta:

$$E = 18 \cdot 10^9 \cdot \frac{q}{x \cdot k} \left[\frac{N}{Cb} \right] \quad (4)$$

E es igual al gradiente de potencial en cada punto con signo cambiado.

$$-\frac{dv}{dx} = E = 18 \cdot 10^9 \cdot \frac{q}{x \cdot k} \left[\frac{Volt}{m} \right] \quad (5)$$

La diferencia de potencial V_n entre el conductor y la pantalla (Esta última conectada a tierra), se obtendrá integrando dv ; a partir de la (5) entre V_n y 0.

$$\int_{V_n}^0 dv = \int E \cdot dx = V_n = \frac{18 \cdot 10^9 \cdot q}{k} \cdot \int_r^R \frac{1}{x} \cdot dx = \frac{18 \cdot 10^9 q}{k} \cdot \ln \frac{R}{r} [V] \quad (6)$$

Despejando q de la (6) y reemplazando en (4) resulta:

$$E = \frac{V_n}{x \cdot \ln \frac{R}{r}} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (7)$$

La (7) nos muestra que la intensidad de campo eléctrico es independiente del material aislante utilizado (No depende de k).

La máxima intensidad de campo aparece en la superficie del conductor ($x = r$), y la mínima en la superficie exterior del aislante ($x = R$).

Se suele definir una intensidad de campo promedio, dividiendo la ddp entre el conductor y tierra por el espesor del aislante.

Capacidad del cable

Se define como la carga por unidad de ddp entre conductor y la pantalla, es decir:

$$C_n = \frac{q}{V_n} \left[\frac{Cb}{V} \right] \quad (8)$$

De la (6) despejamos q y lo reemplazamos en (8) resultando:

$$C_n = \frac{k}{18 \cdot 10^9 \cdot \ln \frac{R}{r}} \left[\frac{F}{m} \right] \quad (9)$$

Llevando de F a μF , de ln a log y de m a km, resulta finalmente:

$$C_n = \frac{0,0241 \cdot k}{\log \frac{R}{r}} \left[\frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \right] \quad (10)$$

La (10) nos muestra que la capacidad entre el conductor y tierra representada por la pantalla, es directamente proporcional a la constante dieléctrica relativa del material aislante utilizado. Esto nos muestra que la capacidad del cable con un aislante determinado, será k veces mayor que otro con aislante aire.

Lo anterior nos permite definir la constante dieléctrica de un material como la relación entre las capacidades de un mismo condensador con aislante y con aire. Para ello trabajemos con la (10) haciendo:

$$k = \frac{C_{n1}}{C_{n0}} = \frac{\frac{0,02413 \cdot k}{\log \frac{R}{r}}}{\frac{0,02413 \cdot 1}{\log \frac{R}{r}}}$$

donde: C_{n1} = Capacidad con aislante y C_{n0} = Capacidad con aislante aire

Corriente de carga capacitiva

Es la corriente capacitiva que circulará al aplicar al cable una ddp V_n entre el conductor y la pantalla o el forro metálico, y valdrá:

$$I_c = V_n \cdot Y_c = V_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_n \cdot l = \frac{V_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot k \cdot 0,02413 \cdot 10^{-6} \cdot l}{\log \frac{R}{r}} \quad (11)$$

Operando resulta:

$$I_c = \frac{V_n \cdot k \cdot l \cdot f}{6,596 \cdot 10^6 \cdot \log \frac{R}{r}} [\text{A}] \quad (12)$$

V_n = Tensión de fase en Volt

L = Longitud del cable en km

K = Constante dieléctrica del aislante

F = Frecuencia en Hz

R = Radio exterior del aislante

r = Radio del cables

Ejemplo

Supongamos un cable de cobre con aislante de pvc cuyas medidas son:

$R = 14\text{mm}$, $R = 30\text{mm}$, $l = 50\text{km}$, $f = 50\text{Hz}$, $k = 5,5$

$$V_n = \frac{220\text{kV}}{\sqrt{3}} = 127\text{kV}$$

En estas condiciones la corriente de carga capacitiva que toma el cable será:

$$I_c = \frac{127000\text{V} \cdot 5,5 \cdot 50\text{km} \cdot 50\text{Hz}}{6,596 \cdot 10^6 \cdot \log \frac{30\text{mm}}{14\text{mm}}} = 799,8\text{A}$$

Siendo la sección del conductor $S_{\text{cu}} = \pi \cdot r^2 = 616\text{mm}^2$

La densidad de corriente valdrá: $\delta = \frac{799,8}{616} = 1,3 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Si el cable tuviera aislante de polietileno, la corriente de carga sería:

$$I_c = \frac{799,8 \cdot 2,3}{5,5} = 334\text{A}$$

Si bien el aislante juega un papel definitorio en la corriente de carga, recordemos que esa condición es de vacío, por lo que en carga habrá una compensación de corrientes reactivas, resultando una corriente total que será función de las reactivas y de la activa.

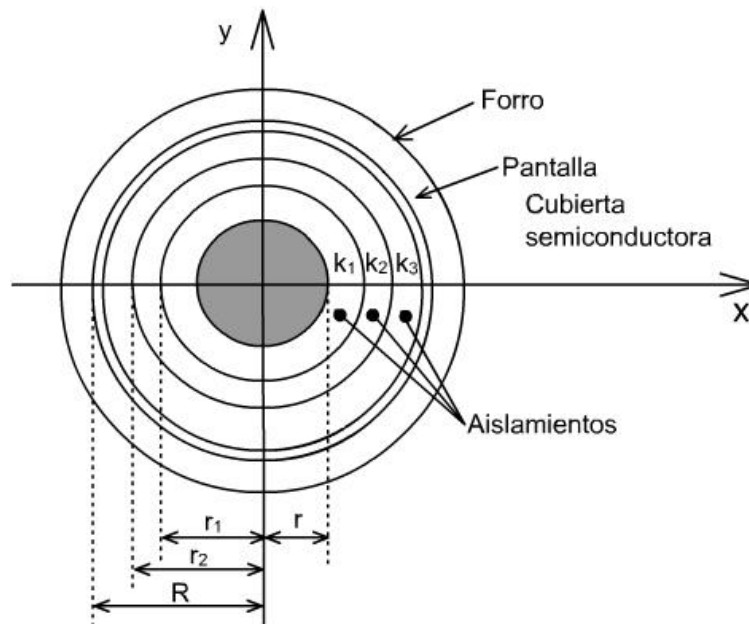
Cables formados por distintas capas aislantes de distintos dieléctricos

Fig2

Imaginemos un cable formado por tres capas aislantes con constantes k_1 , k_2 y k_3 (fig2). La diferencia de potencial entre el conductor y la pantalla puesta a tierra; aplicando la (6); será:

$$V_n = 18 \cdot 10^9 \cdot q \cdot \left(\int_r^{r_1} \frac{1}{k_1 \cdot x} dx + \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{k_2 \cdot x} dx + \int_{r_2}^R \frac{1}{k_3 \cdot x} dx \right) = \quad (13)$$

$$V_n = 18 \cdot 10^9 q \cdot \left(\frac{1}{k_1} \cdot \ln \frac{r_1}{r} + \frac{1}{k_2} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_3} \cdot \ln \frac{R}{r_2} \right) [(V)]$$

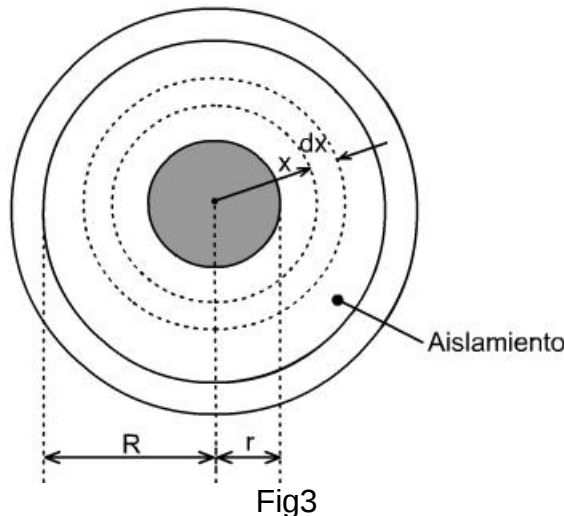
Vemos que la ddp en cada capa es inversamente proporcional a la constante dieléctrica de la misma; pero debemos recordar que la exigencia del material aislante será función de la rigidez dieléctrica del mismo.

También debemos mencionar el caso de pequeñas oclusiones de aire dentro del material aislante; en cuyo caso la constante dieléctrica relativa vale $k=1$ y por consiguiente la ddp en la oclusión será grande con el riesgo de superarse la rigidez dieléctrica y la probabilidad de aparición de falla.

Resistencia de aislamiento

Los aislantes de cables son cilindros de un espesor dado y pueden ser de papel impregnado, pvc, polietileno, etc.

Para el cálculo de la resistencia consideraremos la resistividad del material y sus dimensiones.



Partimos del tubo cilíndrico de espesor dx y longitud l , el que tendrá una resistencia diferencial dR_a

$$dR_a = \rho \cdot \frac{dx}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot l} \quad (14)$$

El tubo que hemos considerado podemos imaginarlo desplegado como un paralelepípedo rectangular tal como se muestra en la Fig4.

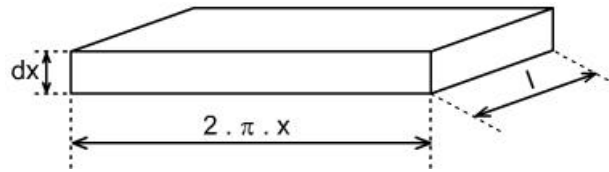


Fig4

La resistencia total del aislamiento será:

$$R_a = \int dR_a = \int_r^R \rho \cdot \frac{dx}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot l} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{R}{r} [\Omega] \quad (15)$$

La resistividad de los materiales varía con la temperatura en forma exponencial

$$\rho_T = \rho_0 \cdot e^{\alpha \cdot t}$$

Llamando. $k = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} [\Omega^{-1}]$ (Constante de resistencia de aislamiento)

Ejemplo

Un cable con aislante de polietileno tiene una constante de resistencia de aislamiento $k = 30000 M\Omega$ al cual le corresponde una resistividad de:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot k \therefore \text{para } l = 1m \cdot \rho = 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 30000 = 188400 M\Omega \cdot m = 188400 \cdot 10^6 \Omega \cdot m \cdot \frac{m}{m} = 1884 \cdot 10^{17} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

La resistencia de aislamiento de un cable con aislante polietileno y $R=30mm$ y $r=14mm$ será:

$$R = k \cdot \ln \frac{R}{r} = 30000 M\Omega \cdot \ln \frac{30}{14} = 22864 M\Omega$$

(Resistencia de un cable de longitud conocida)

Dado que la constante k (Constante de resistencia de aislamiento es válida para una longitud unitaria), para otra longitud de cable la resistencia de aislamiento habrá que corregirla en función de la siguiente relación:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_1}}{\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_2}} = \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow k_2 = k_1 \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (16)$$

Entonces conociendo la resistencia R_1 para una longitud l_1 , para una longitud l_2 valdrá:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{l_1}{l_2} = \left(k \cdot \ln \frac{R}{r} \right) \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (17)$$

El valor absoluto de la resistencia de aislamiento de un cable tal como surge de la expresión (17) tiene poca significación para determinar la calidad del cable, pero la comparación de un tramo de cable con otro puede aportar información sobre la homogeneidad de la fabricación.

Pérdidas dieléctricas

Al aplicar una ddp entre el conductor de un cable y la tierra, circulará una corriente I_0 adelantada con respecto a la tensión la cual tendrá dos componentes (I_p, I_c) (fig5)

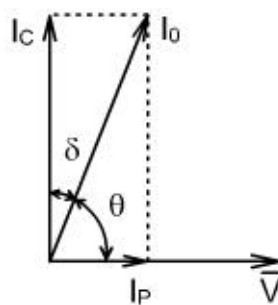


Fig5

$$I_c = V \cdot Y = V \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad (18) \quad \text{donde } C = \text{capacidad del cable}$$

$$I_p = I_c \cdot \text{tg} \delta \quad (19) \quad \text{donde } \text{tg} \delta = \text{factor de disipación eléctrica}$$

$$\text{Las pérdidas por efecto Joule en el dieléctrico valdrán: } P_d = V \cdot I_p = V \cdot I_c \cdot \text{tg} \delta \quad (20)$$

$$\text{Reemplazando (18) en (20) resulta: } P_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot V^2 \cdot \text{tg} \delta \quad (21)$$

Siendo $\text{tg} \delta = \cotg \theta$ y como θ está próximo a los 90° , se puede tomar $\cotg \theta = \cos \theta$ (Llamado factor de potencia del aislamiento).

Causas de las pérdidas en los aislamientos

Las pérdidas dieléctricas se deben a tres causas:

- a) Pérdidas por absorción dieléctrica.
 - b) Pérdidas por ionización
 - c) Pérdidas por conducción a través del dieléctrico
- a) El fenómeno de la absorción dieléctrica se manifiesta por el hecho de que al aplicarle una tensión continua a un dieléctrico compuesto, como por ejemplo el aislamiento de papel impregnado en aceite de un cable, no solo circula una corriente de carga capacitiva en los primeros instantes hasta que el condensador se carga, sino que después sigue circulando una corriente por el dieléctrico, cuya

magnitud se va reduciendo hasta alcanzar en algunos minutos una magnitud constante, determinada por la resistencia de aislamiento, mucho menor que el valor inicial (Circuito RC en CC).

Si pensamos en un cable con una aislación multicapas, la distribución inicial de las ddp en cada capa se hará de acuerdo a las capacitancias o en forma inversamente proporcional a las constantes dieléctricas de cada capa (ver (13)), pero la distribución final de las ddp se hace en forma directamente proporcional a las resistencias de cada capa. El hecho concreto es que en cada capa tendremos una corriente inicial distinta y al final será la misma corriente circulando por todas las capas con una distribución de tensiones proporcional a la resistencia de cada capa. El paso de la condición inicial a la final explica la existencia de la corriente y de las pérdidas por absorción, debidas a la redistribución de la carga eléctrica en el dieléctrico.

Si en lugar de tensión continua aplicáramos tensión alterna al cable, el fenómeno de absorción se estaría produciendo constantemente, ya que se está cargando y descargando sucesivamente y el fenómeno de redistribución de cargas es continuo.

En CC. La corriente transitoria de carga en cada capa será:

$$i_i = \frac{E_i}{R_i} \cdot e^{\frac{-t}{R_i \cdot C_i}} \quad \begin{array}{l} \text{Siendo: } E_i = \text{tensión en la capa } i \\ R_i = \text{Resistencia de la capa } i \\ C_i = \text{Capacidad de la capa } i \end{array}$$

Las pérdidas iniciales en cada capa valdrán:

$$P_i = i_i^2 \cdot R_i = \frac{E_i^2}{R_i^2} \cdot R_i = \frac{E_i^2}{R_i} \cdot e^{\frac{-2 \cdot t}{R_i \cdot C_i}}$$

Las pérdidas finales en cada capa valdrán

$$P_{iF} = i_F^2 \cdot R_i = \left(\frac{E}{R_1 + R_2 + \dots + R_i} \right)^2 \cdot R_i \quad \text{donde } E = \text{Tensión aplicada al cable.}$$

Este fenómeno es la causa principal de las pérdidas de los cables que operan en corriente alterna.

- b) Las pérdidas por ionización se manifiestan como consecuencia del gas ocluido en forma de burbujas dentro del aislante. Este gas cuando el gradiente de potencial supera la rigidez dieléctrica del mismo, se producen descargas de alta frecuencia llamadas descargas parciales que erosionan y deterioran el aislamiento sólido que está en contacto con las burbujas. Este fenómeno de ionización se traduce en un aumento del factor de potencia del aislamiento.
- c) Las pérdidas por conducción a través del dieléctrico, que dependen de la resistencia de aislamiento, son generalmente despreciables comparadas con las de absorción.

Capacidad de conducción de corriente

Disipación del Calor

Recordando los conceptos básicos de transmisión del calor

$$F = \frac{\Delta t}{R_t} [W] \quad (22)$$

Donde:

F = Flujo de calor a través de una placa de espesor e y Superficie A

Δt = Salto térmico entre las dos caras de la placa en °C

R_t = Resistencia térmica $\left[\frac{^{\circ}C}{W} \right]$

$$R_t = \rho_t \cdot \frac{e}{A} \quad (23)$$

Donde: ρ_t = Resistividad Térmica $\left[\frac{^{\circ}C \cdot cm}{W} \right]$

E = Espesor [cm]

A = Superficie [cm²]

Considerando el caso de un cable monopolar formado por el conductor, el aislamiento, un forro metálico y una cubierta exterior no metálica (Fig 6)

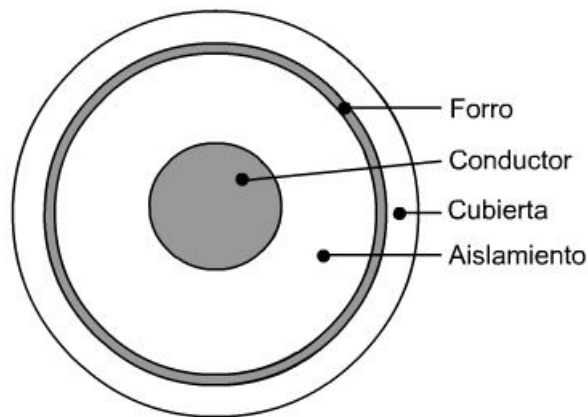


Fig6

Calor producido en el cable

- Por pérdidas Joule en el conductor $P_c = R \cdot I^2$
- Pérdidas en el dieléctrico $P_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot V^2 \cdot \text{tg} \delta$
- Pérdidas en el forro de plomo. Depende de la circulación de corriente por estos forros, la cual a su vez depende de que los forros estén conectados entre si y a tierra en ambos extremos.

$$I_f = \frac{X_m}{\sqrt{R_f^2 + X_m^2}} \cdot I$$

Donde:

I_f = Valor eficaz de la corriente por los forros

I = Valor eficaz de la corriente por el conductor

X_m = Reactancia mutua entre el conductor y el forro

R_f = resistencia efectiva del forro

Las pérdidas debidas a la corriente que circula por el forro son:

$$P_f = R_f \cdot I_f^2 = \frac{X_m^2 \cdot R_f}{R_f^2 + X_m^2} \cdot I^2$$

Como las pérdidas Joule y las pérdidas en el dieléctrico son proporcionales a i^2 , podemos considerar una sola resistencia equivalente:

$$R_E = R + \Delta R \quad \text{donde } \Delta R = \frac{X_m^2 \cdot R_f}{R_f^2 + X_m^2}$$

El equilibrio térmico se alcanzará cuando el calor generado según a,b y c sea igual al calor disipado. Además el equilibrio debe lograrse para una temperatura del cable que no supere los valores admisibles de los aislantes.

El problema se resuelve aplicando la ley de ohm térmica

Resistencia térmica del aislamiento

Es una expresión totalmente similar a la (15) con la única diferencia que ρ será ahora la resistividad térmica en lugar de la eléctrica.

$$R_{td} = \frac{\rho_{td}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (24) \quad \text{donde } \rho_{td} = \text{Resistividad térmica en } \left[\frac{^\circ\text{C} \cdot \text{cm}}{\text{W}} \right]$$

R = Radio exterior del aislante

r = Radio del conductor

l = Largo del cable

Diferencias de temperatura

Debido a las pérdidas de potencia en el conductor, en los aislamientos y en la cubierta metálica exterior, habrá saltos térmicos que se suman. El salto térmico total será el que nos definirá la temperatura final del conductor y de los aislantes. Veamos cada uno de esos saltos térmicos:

a) Diferencia de temperatura a través del aislamiento

Aplicando la ley de ohm térmica resultará que la diferencia de temperatura entre el conductor y el aislamiento se deberá a los flujos de calor generados por las pérdidas en el conductor y en el aislamiento P_c y P_d .

Dado que el aislamiento aporta calor por sus pérdidas en forma progresiva; se considera que todas las pérdidas P_d atraviesa la mitad del aislamiento; por lo tanto el salto térmico a través del aislamiento Δt_d será:

Recordando que: $P = \frac{\Delta t}{R_t} \therefore \Delta t = R_t \cdot P$

En nuestro caso tendremos: $\Delta t_d = R_{td} \cdot (P_c + \frac{P_d}{2})$ (25)

b) Diferencia de temperatura a través de la cubierta exterior no metálica

La resistencia térmica de la cubierta exterior no metálica (Es un cilindro), valdrá:

$$R_{te} = \frac{\rho_{te}}{2\pi l} \cdot \int_{R_i}^{R_e} \frac{1}{x} \cdot dx = \frac{\rho_{te}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{R_e}{R_i} \quad (26)$$

Donde ρ_{te} = Resistividad de la cubierta

R_e ; R_i = Radios exterior e interior de la cubierta

La diferencia de temperatura entre el conductor y el forro exterior no metálico será Δt_e

$$\Delta t_e = R_{te} \cdot (P_c + P_d + P_f) \quad (27)$$

P_c = Pérdidas en el conductor

P_d = Pérdidas en el dieléctrico

P_f = Pérdidas en el forro metálico

Diferencia de temperatura entre la superficie del conductor y la superficie del terreno

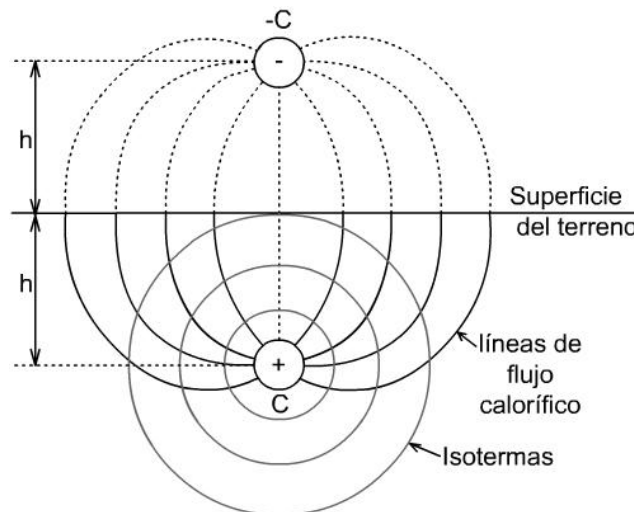


Fig7

Veamos primero la resistencia térmica del terreno. Para ello usaremos el método de las imágenes por el cual reemplazamos a la tierra por un cable imagen del real con una temperatura igual y de signo contrario al real y que recibe todo el calor generado por el primero.

Las líneas de flujo de calor son las indicadas en la Fig.7

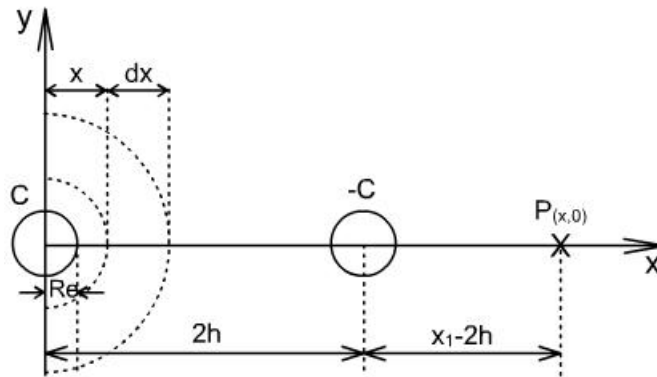


Fig8

La Fig8 representa el cable y su imagen referenciados a los ejes x e y.

La resistencia térmica del terreno la calcularemos en base al esquema de la figura 8 como si fueran dos cilindros; uno que aporta resistencia debida a la fuente de calor del conductor real y otro que aporta una resistencia negativa debida a la fuente de calor del conductor imagen. La resistencia resultante será:

$$R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot \pi \cdot l} \int_{R_e}^{x_1} \frac{dx}{x} - \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot \pi \cdot l} \int_{2h-R_e}^{x_1-2h} \frac{dx}{x} = \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{x_1}{R_e} - \ln \frac{x_1-2h}{2h-R_e} \right) = \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2h-R_e}{R_e} \cdot \frac{x_1}{x_1-2h} \quad (28)$$

Para $x_1 \rightarrow \infty$ $\frac{x_1}{x_1-2h} \cong 1$ $\therefore R_{tt} = \frac{\rho_{tt}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2h-R_e}{R_e}$ (29) Siendo:

R_{tt} = Resistencia entre la superficie del cable y la superficie del terreno

ρ_{tt} = Resistividad del terreno (Valores entre 80 y 120 $\frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}}{\text{W}}$)

l = Longitud del cable

h = Profundidad de instalación

R_e = Radio exterior del cable

La resistencia R_{tt} puede reducirse en el caso de suelos de alta resistividad térmica, rellenando la zanja con una mezcla de arena y arcilla que baja ρ_{tt} .

Finalmente la diferencia de temperatura será:

$$\Delta t_t = R_{tt} \cdot (P_c + P_d + P_f) \quad (30)$$

Donde: Δt_t = Diferencia de temperatura entre el cable y la superficie del terreno

Capacidad de conducción de corriente de cables

La determinación de la corriente admisible por el conductor se hace a partir de la expresión de la temperatura del conductor T_c

$$T_c = T_a + \Delta t_d + \Delta t_e + \Delta t_t \quad (31)$$

Donde: T_a = Temperatura ambiente

Δt_d = diferencia de temperatura entre el conductor y la capa externa del aislante

Δt_e = Diferencia de temperatura entre el aislante y la cubierta externa no metálica

Δt_t = Diferencia de temperatura entre la cubierta y la superficie del terreno

Reemplazando en (31) las (25), (27), y (30), resulta:

$$T_c = T_a + R_{td} \cdot \left(P_c + \frac{P_d}{2} \right) + R_{te} \cdot (P_c + P_d + P_f) + R_{tt} \cdot (P_c + P_d + P_f)$$

$$T_c = T_a + P_d \cdot \left(\frac{R_{td}}{2} + R_{te} + R_{tt} \right) + P_c \cdot (R_t + R_{te} + R_{tt}) + P_f \cdot (R_{te} + R_{tt}) \quad (32)$$

Siendo: $P_d = k_1 \cdot V^2$ Pérdidas en el aislante

$P_c = R \cdot I^2$ Pérdidas Joule en los conductores

$P_f = \Delta R \cdot I^2$ Pérdidas en la cubierta

Reemplazando en (32) resulta:

$$T_c = T_a + k_1 \cdot V^2 \cdot \left(\frac{R_{td}}{2} + R_{te} + R_{tt} \right) + R \cdot I^2 \cdot (R_{td} + R_{te} + R_{tt}) + \Delta R \cdot I^2 \cdot (R_{te} + R_{tt}) \quad (33)$$

Despejando I de la (33) resulta:

$$I = \sqrt{\frac{T_c - (T_a + k_1 \cdot V^2 \cdot \left(\frac{R_{td}}{2} + R_{te} + R_{tt} \right))}{R \cdot (R_{td} + R_{te} + R_{tt}) + \Delta R \cdot (R_{te} + R_{tt})}} \quad (34)$$

La (34) nos muestra que con el aumento de la tensión crecen fuertemente los incrementos de temperatura por las pérdidas en el aislante, en la cubierta exterior y en la tierra, haciendo disminuir la corriente admisible.

También podemos observar en (34) que la corriente I depende de la temperatura del conductor que se fije como admisible en forma permanente.

La tabla II nos muestra las temperaturas máximas de operación y resistividad de diversos aislamientos.

TABLA II

Aislamiento	Tensión Nominal [kV]	Temperatura máxima [°C]		Resistividad térmica °C.cm/Watt
		Operación Normal	Operación emergencia	
Papel impregnado Tipo sólido	01----09	85	105	
	10-----17	80	100	
	18-----29	75	95	
	30-----39	70	90	600
	40-----49	65	85	
	50-----59	60	75	
Cambray barnizado	60-----69	55	70	
	01-----08	85	105	
	09-----13	80	100	600
	14-----20	75	75	
Butilo	21-----28	70	90	
	01-----05	85	105	
	06-----15	85	100	550
Polietileno de baja densidad	16-----30	80	95	
	01-----05	75	95	350
Polietileno Vulcanizado	06-----15	75	90	
	01-----05	90	110	
PVC Cloruro de Polivinilo	06-----15	90	105	
	01-----05	80	100	700