

CAPITULO 1: FUNDAMENTO FISICO DE UNA PUESTA A TIERRA

1.1 Introducción

Por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia cero.

Las puestas a tierra, se fabricaban en las plantas industriales, para la protección de las personas y de las maquinarias. Estas puestas a tierra se fabricaban artesanalmente con un tubo galvanizado, sal y carbón vegetal.

Estas puestas a tierra se mantenían húmedos y solo servirían ante una eventual descarga del equipo eléctrico por bajo nivel de aislamiento.

Ante la evolución de la Electrónica con los microprocesadores, computadoras, variadores, PLC, es mucho más necesario que los componentes electrónicos en las tarjetas estén conectadas a tierra y así puedan descargar permanentemente corrientes residuales a una puesta a tierra de baja resistencia, es por eso que se hace imprescindible que las puestas a tierra sean de una buena calidad, es decir de 3 a 5 ohmios de resistencia máxima o lo que especifique el fabricante del equipo.

Para obtener una resistencia mínima en una puesta a tierra, influye mucho, la naturaleza del terreno, el tipo de electrodo, las soluciones electrolíticas y otros componentes como: el calibre del cable de conexión desde la puesta a tierra hasta el tablero de distribución eléctrica, los conectores, etc.

1.2 Conducción de la corriente eléctrica en el suelo conductor

Un conductor es un material en el que los portadores de carga son libres de moverse bajo campos eléctricos estacionarios. Los portadores de carga son los electrones; en otros casos, la carga puede ser conducida también por iones positivos o negativos.

La carga en movimiento constituye una **corriente** y el proceso por el cual la carga se transporta se llama **conducción**. La corriente se define como la velocidad a la que se transporta la carga a través de una superficie dada en un sistema conductor [1].

Considerando un conductor donde existe una corriente eléctrica, los portadores de carga se mueven con una velocidad media $\mathbf{v}$. La cantidad de carga dQ que recorre una distancia dl para atravesar una sección dS del conductor en un intervalo de tiempo dt es: $dQ = \tilde{n} dt \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS$, $\tilde{n}$ es la densidad de carga (Fig. 1.1).

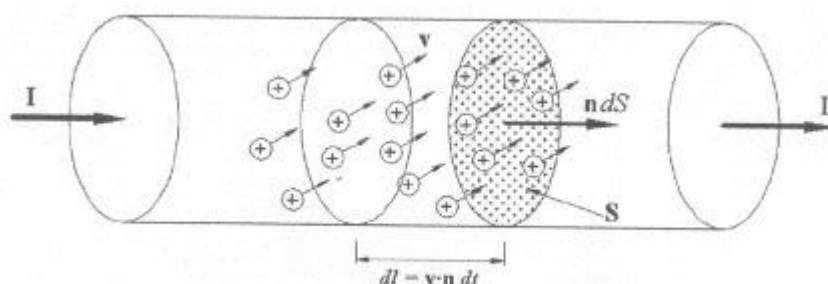


Fig. 1.1 Movimiento de los portadores de carga a través de una sección dS en un tiempo dt

la corriente es:

$$dI = \frac{dQ}{dt} = \tilde{n} \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS \quad \Rightarrow \quad I = \int_S \tilde{n} \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS = \int_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} dS \quad (1.1)$$

donde $\mathbf{J}(r) = \tilde{n}(r)\mathbf{v}$, es la densidad de corriente que se da cuando la corriente atraviesa una sección del conductor.

Como la carga no se crea ni se destruye; la densidad de corriente $\mathbf{J}$ y la densidad de carga $\tilde{\rho}$ están relacionadas en cada punto por la **ecuación de continuidad**, para una superficie cerrada

$$\nabla \cdot \mathbf{J} + \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} = 0 \quad (1.2)$$

Donde las variaciones en el tiempo de $\tilde{\rho}$ son las fuentes de la corriente eléctrica. De otro lado, según la **Ley de Ohm**, la densidad de corriente $\mathbf{J}$ es linealmente proporcional al campo eléctrico $\mathbf{E}$,

$$\mathbf{J} = s\mathbf{E} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = r\mathbf{J} \quad (1.3)$$

s es la **conductividad**, que es una constante que depende únicamente del material en cuestión. La inversa de la conductividad se llama **resistividad**, $r = 1/s$ y su unidad es *ohm/m*.

1.3 Proceso físico de la distribución de la corriente para una puesta a tierra

El estudio de una puesta a tierra se fundamenta en la teoría electromagnética clásica. Las ecuaciones de Maxwell para cualquier sistema de coordenadas se pueden enunciar en su forma diferencial como:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.4)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (1.5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \tilde{\rho} \quad (1.6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.7)$$

si definimos la corriente I o la densidad de corriente $\mathbf{J}$ como variables independientes y constantes en el tiempo, los campos eléctricos $\mathbf{E}$ y magnético $\mathbf{B}$ también son constantes en el tiempo. Definiendo el potencial escalar V ; mediante la relación:

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (1.8)$$

y considerando que en un punto del espacio, las cargas eléctricas libres $\tilde{\rho}$ son cero, las ecuaciones 1.4 a 1.7, se pueden reducir a la conocida ecuación de Laplace para el potencial eléctrico escalar:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (1.9)$$

Si el medio material es homogéneo e infinito, la solución del potencial para un punto del espacio libre de carga eléctrica y separado una distancia r de una carga puntual q , es:

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.10)$$

1.4 Potencial de referencia cero en la Tierra (suelo)

Si se conecta un conductor con carga Q_1 y potencial V_1 a otro conductor, con carga Q_2 y potencial V_2 , tendremos una distribución de cargas hasta que el potencial de ambos conductores sea el mismo (Fig. 1.2)

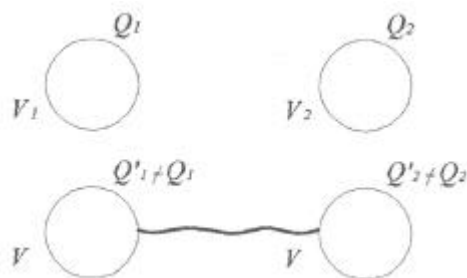


Fig. 1.2 Potencial eléctrico entre dos conductores

Al considerar la Tierra (el planeta) como una fuente infinita de carga o como un conductor esférico de capacidad infinita ($r \rightarrow \infty$), el potencial de referencia de este gran conductor es cero

$$V_{\text{tierra}} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \approx 0 \quad (1.11)$$

cualquier conductor conectado a Tierra, tomará o cederá de él, las cargas necesarias para que el potencial de ambos sea igual. Al considerarse nulo el potencial del conductor Tierra, cualquier conductor conectado a Tierra su potencial es cero [2].

Como la carga eléctrica q , aplicada en un medio de conductividad σ (o su inversa que es la resistividad $\tilde{\rho}$) y permitividad dieléctrica ϵ_0 pueden ser reemplazada por una inyección de corriente I utilizando la relación:

$$q = \frac{\epsilon_0}{\sigma} I \quad \Rightarrow \quad \frac{q}{\epsilon_0} = r I \quad (1.12)$$

se obtiene de esta forma, la distribución del potencial eléctrico producido por una inyección puntual de corriente I en un medio de resistividad homogénea $\tilde{\rho}$

$$V(r) = \frac{r I}{4\pi\tilde{\rho} r} \quad (1.13)$$

1.5 Potencial producido por una inyección de corriente en un electrodo

Si se toma un electrodo semiesférico de radio a , que no es tan usado en la práctica, instalado en un terreno homogéneo, de resistividad $\tilde{\rho}$ constante. Al hacer circular por el electrodo una corriente eléctrica I , las líneas de corriente por el terreno serán radiales, debido a la propia simetría del electrodo y la homogeneidad del terreno (Fig 1.3 a). La corriente atraviesa una serie de capas concéntricas por el electrodo, donde r es el radio

de la superficie semiesférica, siendo cada una de estas superficies equipotenciales (Fig. 1.3 b) [3].

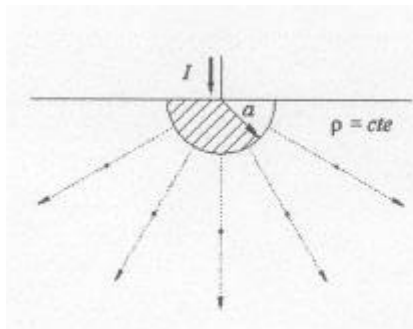


Fig. 1.3 (a) Líneas de corriente

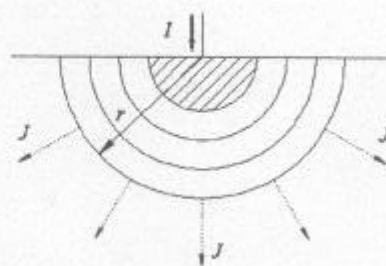


Fig. 1.3 (b) Superficies equipotenciales

La diferencia de potencial entre dos puntos A y B del terreno, pertenecientes a superficies equipotenciales diferentes y de radios “ r_a ” y “ r_b ” (Fig. 1.4),

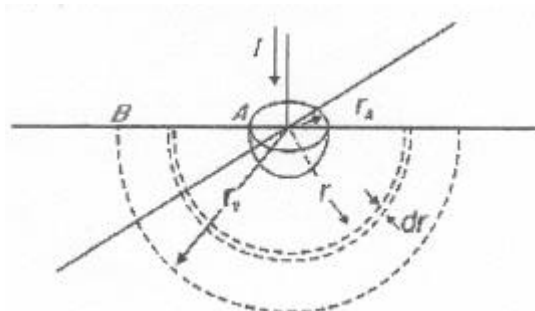


Fig. 1.4 Potencial eléctrico de un electrodo semiesférico

viene dado por

$$V = V_A - V_B = \frac{rI}{2\rho} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (1.14)$$

Para calcular el potencial eléctrico en un punto, es necesario hacerlo respecto a un punto de potencial nulo, el cual se considera situado en el infinito. De esta forma, si en la ecuación (1.14), suponemos que el punto B se encuentra en el infinito, es decir (r_b) entonces ($V_B = 0$) por lo que el potencial en el punto A es:

$$V_A = \frac{rI}{2pr_a} \quad (1.15)$$

y de una forma genérica, el potencial en un punto cualquiera a una distancia r del centro del electrodo será:

$$V(r) = \frac{rI}{2pr} \quad ; \quad r > a \quad (1.16)$$

El potencial al que se encontrará sometido el propio electrodo semiesférico será constante, y teniendo en cuenta la ley de continuidad de los potenciales, se obtiene su potencial y su resistencia:

$$V = V(a) = \frac{rI}{2pa} \Rightarrow R = \frac{V}{I} = \frac{r}{2pa} \quad (1.17)$$

1.6 Principio de caída de potencial

Si en el punto A se le inyecta una corriente I y se le hace circular en el suelo cerrando el lazo por el punto B a través del circuito externo (Fig. 1.5), se pueden determinar:

- El Potencial en un punto P del suelo, inducidos desde A y B.
- El Potencial total en un punto cualquiera P que pertenece a una superficie equipotencial que intercepta la superficie del suelo en P_1 . [4]

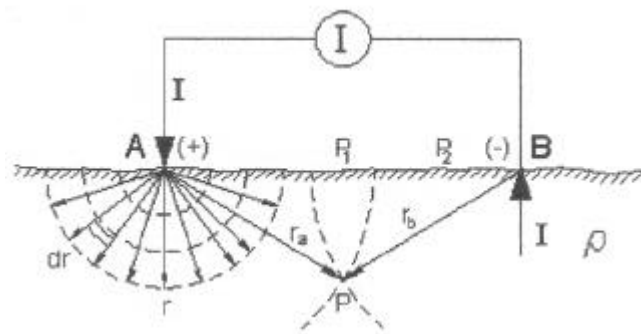


Fig. 1.5 Potencial eléctrico en un punto P del suelo inducido por los electrodos A y B

los potenciales en un punto P del suelo inducidos desde A y B serán:

$$V_{p_A} = \frac{rI}{2pr_a} \quad , \quad V_{p_B} = \frac{rI}{2pr_b} \quad (1.18)$$

el potencial total V_p en dicho punto P estará dado por

$$V_p = V_{p_A} + V_{p_B} = \frac{rI}{2p} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (1.19)$$

para dos puntos cualesquiera del suelo; tales como P_1 con distancias (r_1, r_2) , y P_2 con distancias (R_1, R_2) . La diferencia de potencial entre ambos será V:

$$V = \frac{rI}{2p} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.20)$$

conociendo los parámetros del potencial V y de la corriente I o la resistencia $R=V/I$, que se mide con un Telurómetro, se halla la resistividad del suelo $\tilde{n}$,

$$r = 2pR \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (1.21)$$

siendo la resistencia de dispersión

$$R = \frac{r}{2p} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.22)$$

1.7 Finalidad de una puesta a tierra

En una puesta a tierra la conexión entre el electrodo desnudo en contacto directo con el suelo, permiten la conducción y dispersión de las corrientes eléctricas (Fig. 1.6), para brindar seguridad eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los aparatos conectados al circuito eléctrico. Se tiene dos finalidades importantes:

- a. Evacuan y dispersan las corrientes eléctricas con mínima resistencia.
- b. Proveen a las masas eléctricas el potencial de referencia cero, debido a que la Tierra se comporta como un conductor infinito de carga, que hace que su potencial eléctrico sea cero ($V = 0$).

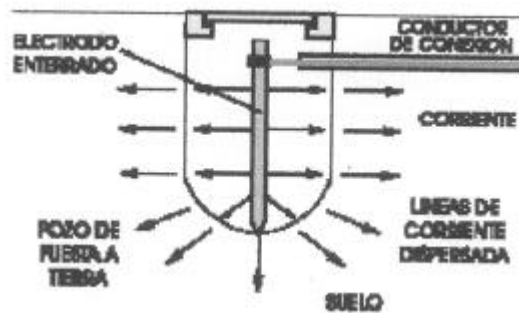


Fig. 1. 6 Dispersión de corrientes en el suelo