

TENSIÓN DE PASO Y DE CONTACTO EN TRANSFORMADORES TIPO POSTE PUESTOS A TIERRA CON UNA SOLA VARILLA ELECTRODO

Roberto Ruelas-Gomez, IEEE Senior Member

RESUMEN

Muchas subestaciones tienen una varilla electrodo como puesta a tierra, subestaciones de tipo poste y algunas de tipo pedestal. Se presenta un método sencillo y práctico para conocer si esa puesta a tierra es peligrosa para los transeúntes o los que puedan tocar el cable del electrodo, o el mismo transformador.

BASE TEÓRICA

Cuando circula una corriente de falla I_g por un electrodo E , aparece una tensión U en el suelo que depende de la resistividad del mismo (ρ), como de la distancia d_{pe} del punto de prueba P al centro del electrodo E .

$$U = R_{pe} * I_g \quad (1)$$

Donde

$$R_{pe} = \frac{\rho}{2 * \pi * d_{pe}} \quad (2)$$

Para encontrar el valor de la tensión de paso y de contacto, se usarán esas ecuaciones en unidades SI con distancia de 1 m. Se hace notar que el valor máximo tanto de la tensión de paso como de contacto es el valor al primer metro de distancia del electrodo, o al primer metro de distancia de la pared más cercana al electrodo del transformador tipo pedestal.

VALORES SOPORTADOS POR EL CUERPO HUMANO

Las ecuaciones más usadas que evalúan la tensión de paso (E_s) y de contacto (E_t) fueron desarrolladas por el Sr. Daziel, y son la base del conocido estándar IEEE 80 [1] de cálculo de sistema de tierra para subestaciones. De estas ecuaciones seleccionamos las de una persona de 50 kg de peso.

$$E_s = (1000 + 6.0 \rho) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t}} \right) \quad (3)$$

$$E_t = (1000 + 1.5 \rho) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t}} \right) \quad (4)$$

Donde

t es el tiempo de duración de la falla en segundos.

Se observa que para este caso donde la tensión de paso y la tensión de contacto son evaluadas en el mismo punto, la tensión de contacto E_t es la que nos interesa por ser de las dos la que el cuerpo humano soporta menos.

De ahí que nos interesa por seguridad que

$$E_t > U_{1m} \quad (5)$$

Donde

U_{1m} es la tensión que aparece entre dos puntos separados 1 m.

DESARROLLO

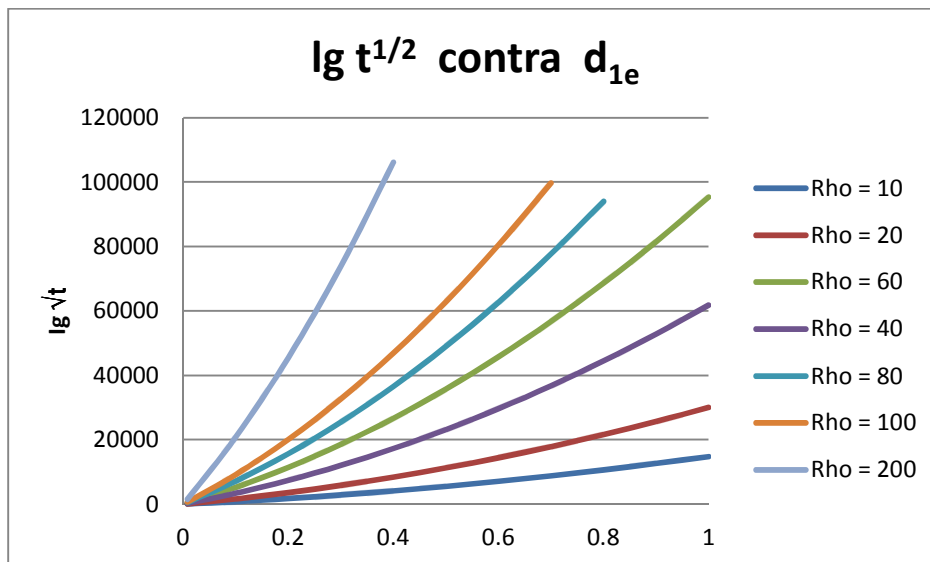
Consideramos esos dos puntos de prueba como d_{1e} y d_{2e} separados 1 m entre ellos, por lo que

$$d_{2e} = d_{1e} + 1 \quad (6)$$

Y, (5) con los valores de (1), (2) y (4)

$$0.729 (1000\rho + 1.5\rho^2)(d_{1e} + d_{1e}^2) > I_g * \sqrt{t} \quad (7)$$

Graficando la parte izquierda de la ecuación (7) comprobamos que existe menos peligro a mayor resistividad del terreno donde está parada la persona, y que no podemos despreciar la tensión de paso o de contacto de una simple varilla cuando está la persona tocando la varilla electrodo.



EJEMPLO

Ejemplo 1. Calcular la máxima tensión de paso y de contacto en la varilla electrodo de una subestación de 112.5 kVA @ 220V tipo poste alimentada en 13.2 kV, donde la protección está dada por fusibles de 10 A clase 15 kV tipo distribución con curva de disparo "K". El valor de la resistencia a tierra de la varilla electrodo de 16 mm de diámetro y 2.44 m de largo es de 7 ohm, y los valores de cortocircuito dados por la empresa suministradora son: 234.3 A monofásico, 373.7 A trifásico.

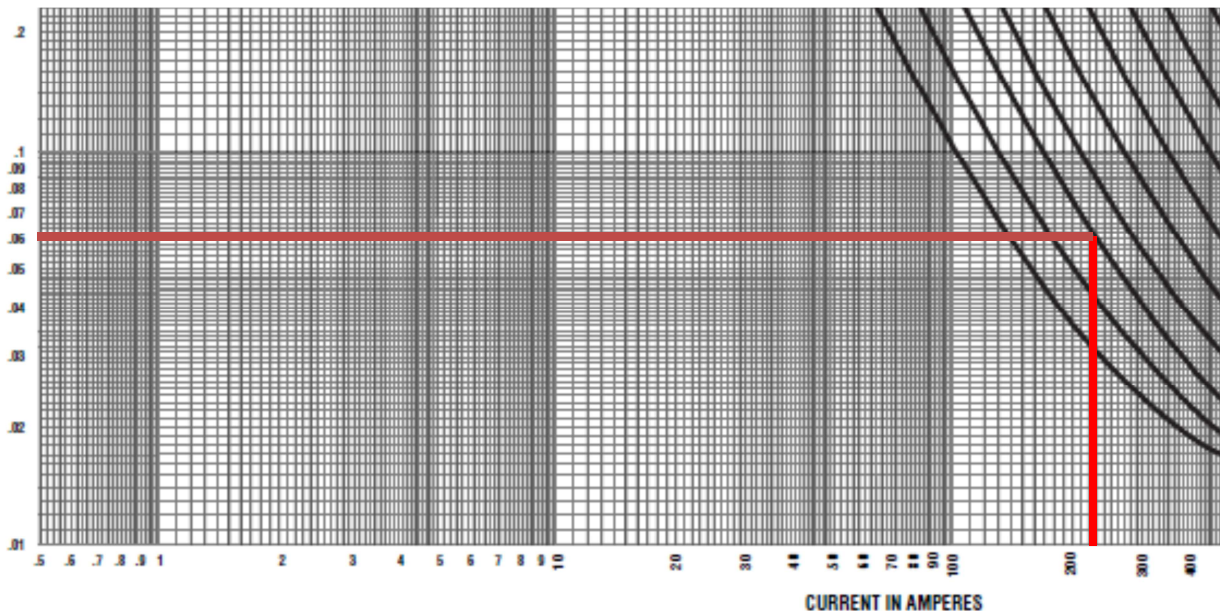
El valor de la resistividad lo obtenemos resolviendo para la varilla la ecuación de H. B. Dwight

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(4 * \frac{L}{r} \right) - 1 \right) \quad (8)$$

$$\rho = 17.6 \text{ ohm-m}$$

La distancia d_{1e} es el radio de la varilla electrodo = **0.008 m**

El valor del tiempo de apertura lo encontramos con la corriente de falla a tierra en la curva del fusible [4].



$$t = 0.06 \text{ s}$$

Y, sustituyendo en la desigualdad (7)

$$0.729 (1000\rho + 1.5\rho^2)(d_{1e} + d_{1e}^2) > I_g * \sqrt{t} \quad (7)$$

Encontramos que se cumple la desigualdad

$$106.17 > 57.39$$

Por lo concluimos que este sistema de puesta a tierra es seguro para las personas en y en las cercanías del electrodo varilla.

CONCLUSIONES

El cálculo aquí presentado se basa en usar las ecuaciones (3) y (4) sin el factor de reflexión Cs del modelo del terreno en dos capas de la referencia [1]. Para ello, se utiliza un solo valor de resistividad, que es obtenido con la medición real del electrodo, y es conocida como Resistividad Aparente del Electrodo.

Como continuación de este trabajo, se podría evaluar la puesta a tierra desde proyecto usando el modelo de dos capas, al dejar fijo el valor Cs para un grueso mínimo de un material de resistividad superficial (ρ_s), utilizando la Figura 11 de la referencia [1].

REFERENCIAS

[1] IEEE Std 80-2000 *Guide for Safety in AC Substation Grounding*.

[2] IEC 60 076-5. *Power Transformers*.

[3] DWIGHT, H.B. *Calculation of Resistances to Ground*. AIEE Transactions vol 55. Dic 1936. págs. 1319-1328.

[4] S & C. Total Clearing Time-Current Characteristic Curves – K Speed. – en línea, consulta 13 de junio 2012 - http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_006511.pdf



Roberto Ruelas Gómez recibió el título de Ingeniero Mecánico Electricista de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 1983, y el Master en Ingeniería Eléctrica en 1986 de la Universidad McGill de Montreal, Canadá.

Es Gerente Técnico de Ruel SA, en León, México, y Unidad de Verificación en Instalaciones Eléctricas. Es autor de artículos técnicos y de textos sobre Sistemas de Puesta a Tierra y sobre Cálculos de Cortocircuito.

Ha sido Presidente del Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas y Profesionales Afines de León, y, ha ocupado cargos directivos en la Federación de Colegios de Ingenieros Mecánicos Electricistas (FECIME).