

8. CONSIDERACIONES SOBRE CONEXIONES A TIERRA PARA TRABAJOS EN LÍNEAS DESENERGIZADAS

Los trabajos de construcción o mantenimiento en líneas desenergizadas pueden estar sujetos a situaciones accidentales de riesgo para las personas que los ejecutan. Un aspecto importante es que la línea sobre la cual se esté trabajando se energice accidentalmente, bien sea por un contacto no intencional con algún circuito cercano, o por la ausencia de comunicación entre operadores y por error se conecte la línea originalmente desconectada para la ejecución de los trabajos programados.

Otro aspecto menos probable pero posible, es que en una línea de cierta longitud en la zona donde el trabajo se ejecute el tiempo sea favorable, y en otra región de paso de la línea se presente una tormenta eléctrica que genera rayos que puedan descargar sobre la línea o inducir una onda de tensión que eventualmente pueda alcanzar el sitio donde se estén ejecutando las labores. Sólo si la onda de sobrevoltaje es de menor valor que el voltaje de ruptura del aislamiento de la línea, puede ésta viajar a lo largo de la línea. Si este es el caso la onda de sobrevoltaje estará sujeta a la atenuación que le pueda presentar el elemento resistivo del conductor.

Una situación que merece un estudio mas detallado es el caso de líneas que comparten la misma estructura o el mismo derecho de paso. En este caso el acoplamiento electromagnético (campo eléctrico y magnético al unísono) con las líneas cercanas en operación inducen voltajes y corrientes en la línea desconectada .

En cualquiera de las situaciones mencionadas, una persona que esté laborando sobre la línea está expuesta a una situación de riesgo de choque eléctrico que debe ser controlada. Una conexión a tierra local hecha en forma adecuada en el sitio de trabajo puede controlar una situación de riesgo por choque eléctrico. Sin embargo esto no significa que cualquier conexión a tierra provee la seguridad necesaria. Es necesario conocer los puntos claves para la ejecución adecuada de una conexión a tierra en el sitio de trabajo de una línea desenergizada[1].

- Un primer aspecto a tomar en cuenta es que bajo ninguna circunstancia por una persona circule una corriente superior a un valor especificado por las normas de seguridad. Un determinado nivel de corriente puede provocar un estímulo doloroso sin llegar a ser dañino para una persona, pero en las circunstancias de trabajo sobre una torre o poste la reacción ante el dolor puede provocar un accidente fatal o una situación que pueda provocar daño físico a la persona.
- El segundo aspecto es que la conexión a tierra no transforme la superficie del terreno del sitio de trabajo en un sitio de riesgo, por las diferencias de potencial que se puedan generar en la superficie del terreno al inyectarse una corriente al mismo por las conexiones a tierra locales.
- Es muy importante que los conductores y conectores utilizados para la conexión de seguridad a tierra posean la capacidad térmica necesaria para transportar la posibles corrientes de cortocircuito que se puedan generar en el caso de una energización accidental de la línea; sin perder sus condiciones de conductividad de baja impedancia y su fortaleza mecánica. Si esto no se cumple el riesgo se incrementa porque la persona confía en estar protegida en su posición de trabajo. La fusión de uno de los conductores o la desconexión de algún conector por los esfuerzos generados por corrientes de cortocircuito pueden convertir una situación segura en una de alto riesgo.
- El arreglo y longitud de los conductores utilizados no pueden ser elementos de riesgo al estar sometidos a las fuerzas mecánicas generadas por las posibles corrientes de cortocircuito que puedan circular por ellos, en el momento que ocurra una energización accidental de la línea en cuestión.
- Un aspecto de índole práctica es que la conexión a tierra a ejecutar previamente al trabajo a llevar a cabo, debe ser fácil de hacer y de retirar. De acuerdo a la cultura de seguridad de cada persona, existen algunos casos de personas reacias a ejecutar todos los pasos previos de seguridad en los trabajos planificados. Si la ejecución de una conexión a tierra de seguridad consume mucho tiempo, esto se refleja en el rendimiento de las horas – hombre trabajadas, motivo que puede dar pie a que en forma negligente no se ejecuten a conciencia todas las acciones de seguridad requeridas para el trabajo planificado.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados las conexiones a tierra para seguridad han evolucionado hasta llegar a prácticas aceptada hoy en día como “seguras”. Sin embargo es oportuno destacar que todavía este aspecto sigue investigándose especialmente lo relacionado con la respuesta del cuerpo humano al paso de la corriente eléctrica. Una práctica actual de conexión a tierra de seguridad en un poste o torre metálicos se muestra en la figura 8.1[1].

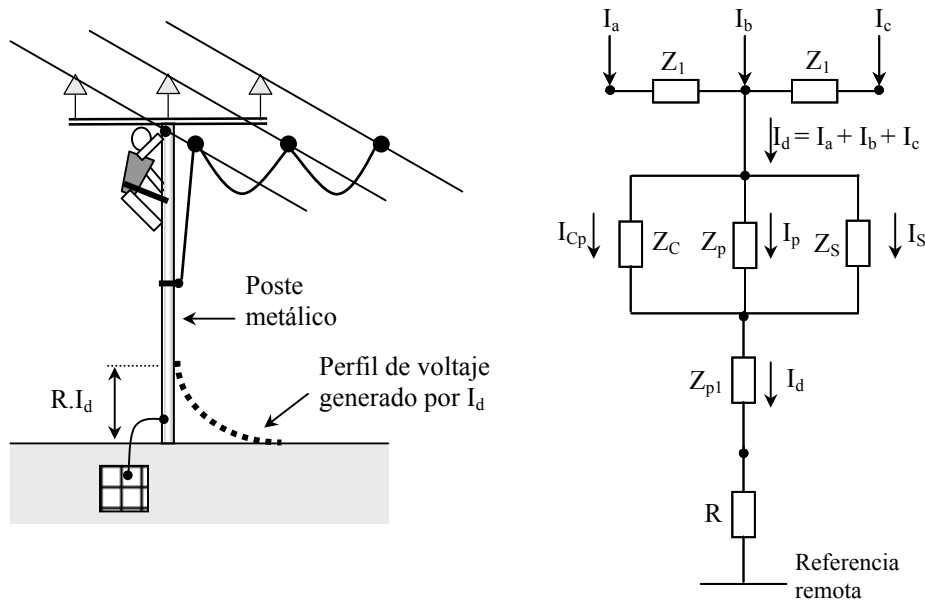
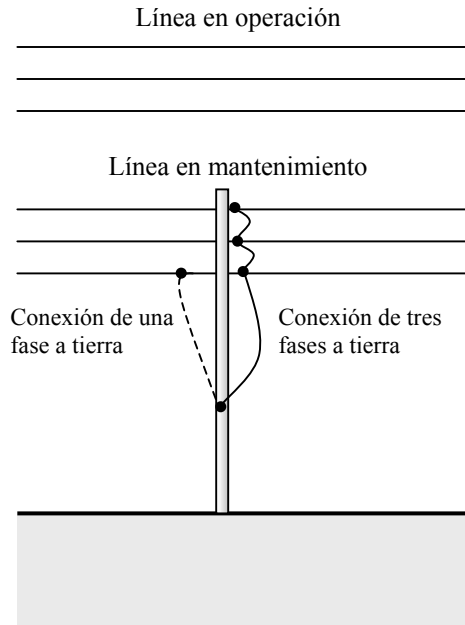


Fig. 8.1 Conexión de tierra de seguridad para las tres fases y su circuito equivalente

Lo importante en la conexión mostrada en la figura 8. 1 es que la corriente que puede pasar por el cuerpo de la persona I_{Cp} sea menor que un valor predeterminado por las exigencias de seguridad requeridas. Siempre va circular corriente por la persona, que esta corriente sea lo menor posible depende del valor de la corriente I_d y de la relación de impedancias Z_p , Z_S respecta a Z_C . La corriente I_d no es cero a pesar de la conexión mostrada puede ser interpretada como una falla trifásica cuando por error se energice la línea. La impedancia Z_1 que se ha asumido igual ya introduce un desbalance. Z_1 puede tener un valor muy pequeño pero no es nulo. Otro factor que provoca desbalance en las corrientes I_a , I_b , e I_c es la línea de transmisión. Aún cuando sea una línea con transposición, la geometría de la distribución de los conductores en el espacio a lo largo de la línea introducen un desbalance que se refleja en los voltajes y en las corrientes. Es evidente que si en la energización accidental solo se energiza una fase, el desbalance se hace mucho más pronunciado y el voltaje $R \cdot I_d$ puede alcanzar valores de riesgo mortal para el personal que se encuentra en tierra.

El análisis para líneas desenergizadas acopladas electromagnéticamente con otras líneas que permanecen operando es mas complicado. En el caso de la figura 8.1 la conexión a tierra de las tres fases favorece una disminución de I_d y por ende reduce el riesgo de la persona en el poste y del personal en tierra. Por el contrario en el caso de líneas acopladas electromagnéticamente la conexión de las tres fases a tierra incrementa esta acoplamiento, llegándose al caso que puede ser ventajoso conectar a tierra únicamente la fase que lo requiera. El análisis de esta situación requiere un modelaje de la situación para evaluar las alternativas que conduzcan a una menor probabilidad de riesgo. Aquí también la conexión a tierra local es ventajoso para las personas que trabajan en la torre o poste. La conexión a tierra en ambos extremos de la línea , es decir en las subestaciones donde llega y sale, ha sido objeto de análisis y su ventaja ha sido cuestionada por favorecer el acoplamiento electromagnético con otras líneas en operación[2].



Modelo matemático:

$$\frac{dV(x)}{dx} = -Z.I(x) \quad 0 \leq x \leq L$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = -Y.V(x)$$

mas Condiciones de Contorno en el punto de conexión a tierra

Fig. 8.2 Líneas acopladas electromagnéticamente

El modelo matemático de la situación que se presenta con las líneas acopladas electromagnéticamente corresponde a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{dV(x)}{dx} = -Z.I(x)$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = -Y.V(x) \quad 0 \leq x \leq L \quad (8.1)$$

Donde:

V(x): vector unidimensional de voltajes de cada conductor respecto al terreno

I(x): vector unidimensional de corrientes de cada conductor respecto al terreno

Z: matriz de orden NxN de impedancia serie de la línea

Y: matriz de orden NxN de admitancia serie de la línea

N: número total de conductores involucrados incluyendo conductores de guarda

La solución de este sistema requiere adicionalmente las condiciones de contorno en los extremos de cada línea (x=0, x=L) y en el punto de conexión local a tierra. Si las líneas tienen diferentes longitudes se deben especificar las condiciones de contorno para cada longitud en cada línea. La solución exacta del sistema de ecuaciones diferenciales 8.1 requiere la aplicación de la teoría de modos de transmisión. Sin embargo bajo ciertas consideraciones se puede aproximar una solución independiente para cada una. Por ejemplo si el interés es sobre el efecto magnético de las corrientes en la línea en operación, se puede asumir que esas corrientes se mantienen constantes a lo largo de la línea, es decir $dI(x)/dx = 0$.

Referencias

- [1] IEEE Std 1048-1990: Guide for Protective Grounding of Power Lines
- [2] A. Mousa : "New grounding procedures for work on de-energized lines", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. 101, No. 8, pp. 2668-2680, Aug. 1982.