

El sistema de puesta a tierra tiene por finalidad proteger la vida de las personas, evitar daños en los equipos por sobretensiones y mejorar la efectividad de las protecciones eléctricas, al proporcionar una adecuada conducción de la corriente de falla a tierra.

De acuerdo a lo anterior, en una instalación de una puesta a tierra es importante el valor de la resistencia que se tenga con respecto a tierra; independiente del número de electrodos y elementos que haya necesidad de utilizar para lograr éste propósito. Por ello, siempre que se instala un sistema de puesta a tierra, se debe medir el valor de la resistencia a tierra y confrontarlo con los límites establecidos, para garantizar una buena puesta a tierra del sistema eléctrico.

En las redes de distribución, el sistema de tierra se compone de las puestas a tierra instaladas en los pararrayos, transformadores, condensadores, reguladores, equipos de maniobra, neutros y elementos metálicos, cuyos electrodos de puesta a tierra están generalmente constituidos por varillas enterradas.

Con la interconexión de las puestas a tierra (a través del neutro) se logra disminuir el valor de la resistencia entre neutro y tierra, que asegura la operación correcta de las protecciones y limita la tensión a tierra que puede aparecer entre las fases no falladas cuando ocurre una falla a tierra.

El sistema de distribución en M.T., es sólidamente puesto a tierra en las subestaciones y en B.T. es efectivamente puesto a tierra a lo largo de su recorrido.

Se utiliza como electrodo para puesta a tierra una varilla cobrizada de 5/8" x 2,44m, con su respectivo conector y como medio de conexión hasta tierra se utiliza alambre de cobre o cobrizado (copperweld) No 4 AWG.

La ventaja de utilizar las varillas como electrodos de tierra es su facilidad de instalación, no necesitan excavación y son económicas con respecto a otras soluciones.

Instalación de puestas a tierra

Para la instalación de las puestas a tierra de los circuitos de distribución en M.T., B.T. y equipos conectados del sistema, se deben tener en cuenta los siguientes casos:

1. DPS-Dispositivo de Protección contra Sobretensión Transitorias (antes llamados pararrayos), los puntos de tierra de cada uno de ellos, se deben conectar entre sí mediante alambre de cobre o cobrizado (copperweld) No.4 AWG, y se lleva a tierra evitando dobleces agudos en el alambre, hasta la varilla previamente enterrada utilizando para la unión a la varilla un conector apropiado.
2. En los transformadores de distribución se deben conectar entre sí el neutro y la carcasa, mediante alambre de cobre o cobrizado (copperweld) No 4 AWG y desde allí hasta la varilla de puesta a tierra. Se realiza una sola bajante para puesta a tierra de los pararrayos y del transformador.
3. El neutro de la red de B.T. se debe poner a tierra cada cinco postes, igualmente los puntos finales de los neutros del circuito.
4. Los circuitos de M.T. que lleven neutro o cable de guarda deben ser aterrizados en todos los postes.
5. En las transiciones de los cables subterráneos de M.T. Los alambres de la pantalla metálica del blindaje del conductor en los terminales deben conectarse a tierra a través de la puesta a tierra de

		PUESTA A TIERRA	
ELABORÓ DISEÑO DE LA RED	EMISIÓN 07-10-1998	ÚLTIMA REVISIÓN 03-04-2017	LAR 400 Pág. 1 de 6

los pararrayos. La pantalla del terminal del cable de M.T solo debe aterrizar en uno de los extremos del cable, con el fin de evitar circulación de corriente a través de la pantalla.

6. Para disminuir el vandalismo se usan postes de concreto con la puesta a tierra inmersa en el concreto. Se deben empalmar los cables en las cajas de paso (referencia 5800) dispuesta con los conectores adecuados, a fin de prolongar el conductor al neutro y a la varilla de puesta a tierra. Ver norma LA 408.
7. Como alternativa para el conductor del electrodo de puesta a tierra se usa el fleje de acero conectado al neutro o punto de tierra de equipos y en el otro extremo a la varilla de tierra

Medida de resistencia de puesta a tierra

La resistencia de cualquier electrodo de puesta a tierra debe ser menor de 25Ω (Norma ICONTEC 2050 Sección 250-84). La resistencia de las puestas a tierra de subestaciones de M.T., debe ser menor de 10Ω .

La medida de la resistencia de puesta a tierra debe efectuarse con un medidor de tierras (teluometro), utilizando preferiblemente el método de los tres puntos o "Caída de Tensión", que se describe a continuación con la ayuda de la figura 1 y el formato presentado en la Norma LAR 400, página 6.

Los bornes de los extremos marcados como J_C y J_{XC} son los terminales de corriente y los bornes centrales marcados como J_T y J_{XT} son los terminales de tensión. Para medir la resistencia de tierra se utilizan dos varillas como electrodos auxiliares, que se entierran en el terreno, alineados con el punto de puesta a tierra a medir.

Primero se unen los bornes J_{XC} y J_{XT} y se conectan a la varilla de tierra (o malla de tierra) cuya resistencia se requiere medir. La varilla más lejana conectada al borne J_C , actúa como electrodo de corriente, la otra varilla conectada al borne J_T (localizada entre la varilla de corriente y la puesta a tierra a medir) actúa como electrodo de tensión.

De acuerdo a la figura 1 de la norma LAR 400 página 6 de 6, midiendo desde la varilla de puesta tierra (o malla de tierra), D_1 es la distancia hasta la varilla de corriente y D_2 es la distancia hasta la varilla de tensión.

Al circular la corriente generada por el Medidor de tierras (teluometro), se producen gradientes de potencial alrededor de los electrodos, pero existen zonas entre ellos donde el potencial es constante. Se ha determinado que a una distancia del 62% de D_1 , no se producen perturbaciones y allí debe instalarse el electrodo de tensión.

Se realizan tres mediciones con las siguientes distancias:

- | | | |
|----|----------------------|----------------------|
| 1- | $D_1 = 25 \text{ m}$ | $D_2 = 15 \text{ m}$ |
| 2- | $D_1 = 30 \text{ m}$ | $D_2 = 18 \text{ m}$ |
| 3- | $D_1 = 36 \text{ m}$ | $D_2 = 22 \text{ m}$ |

Si los valores no difieren en $\pm 5 \%$ del valor promedio (Obtenido de la suma de las tres mediciones y dividiendo por 3) debe considerarse que este valor promedio es el valor verdadero.

		PUESTA A TIERRA	
ELABORÓ DISEÑO DE LA RED	EMISIÓN 07-10-1998	ÚLTIMA REVISIÓN 03-04-2017	LAR 400 Pág. 2 de 6

Si el error es mayor, existe superposición de los gradientes de tensión y debe aumentarse D_1 y D_2 , manteniendo su relación $D_2=0,62D_1$ y repitiendo el procedimiento hasta cumplir la condición que el error sea $<5\%$.

Todas las medidas deben realizarse sin tensión, ni circulación de corriente, es decir, la varilla de tierra debe estar desconectada de bajantes de pararrayos, neutros, tierras de equipos en funcionamiento. Igual sucede si se miden mallas de tierra.

De acuerdo con el RETIE en algunas instalaciones se deben cumplir los siguientes valores:

Para subestaciones de media tensión la resistencia debe ser $\leq 10\Omega$.

La resistencia para estructuras con cable de guarda $\leq 20\Omega$

Punto neutro de acometida en baja tensión $\leq 25\Omega$.

La resistencia de cualquier electrodo de puesta a tierra debe ser $\leq 25\Omega$. (Norma ICONTEC 2050 Sección 250-84) y RETIE.

Medida de resistividad del terreno

Es de gran importancia conocer las características del terreno donde se va a instalar una varilla de tierra o electrodo de tierra para predecir el número de varillas que se deben instalar o la configuración de los electrodos. La resistividad varía con el tipo de suelo, la temperatura, la humedad, la homogeneidad y acidez del terreno.

El método más empleado para medir la resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) es el de los cuatro puntos (o método de Wenner). Se instalan cuatro varillas alineadas e igualmente espaciadas a una distancia D . Los bornes de los extremos del aparato marcados como J_C y J_{XC} son los terminales de corriente y los bornes centrales J_T y J_{XT} son los terminales de tensión, que se instalan a las varillas como se muestra en la fig 2 de la norma LAR 400, página 6.

Para obtener el valor de la resistividad se deben realizar varias medidas con diferentes distancias D . Se sugiere hacer medidas con $D=1\text{ m}$, $D=2\text{ m}$, $D=5\text{ m}$, $D=10\text{ m}$, $D=20\text{ m}$ y $D=30\text{ m}$.

Las varillas de prueba deben ser enterradas a una profundidad no mayor de 10% de la distancia entre varillas y firmemente enterradas. Una vez realizadas todas las conexiones, se lee la resistencia en el aparato y la resistividad se calcula mediante la expresión $\rho=2IIDR$.

Los resultados deben consignarse en una tabla como se muestra en la norma LAR 400, página 6 con las observaciones y condiciones del medio ambiente. Además se debe realizar una curva de resistividad contra distancia para determinar el valor promedio y descartar valores por errores de mediciones.

Mejoramiento de la resistencia de puesta a tierra

El mejoramiento de las mallas o puestas a tierra se efectúa de 2 formas:

1. Colocando más electrodos y/o sistemas de puesta a tierra Carson.
2. Realizando tratamiento al suelo.



PUESTA A TIERRA

ELABORÓ
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN
07-10-1998

ÚLTIMA REVISIÓN
03-04-2017

LAR 400
Pág. 3 de 6

1. Colocar o reforzar con más electrodos.

En la mayoría de los casos se utiliza como electrodo de puesta a tierra una varilla, pero cuando el valor medido de resistencia es alto, se pueden colocar de dos a tres varillas unidas entre sí y separadas a una distancia de al menos dos longitudes de la varilla. En casos especiales para lograr bajar la resistencia se pueden utilizar varillas más largas (seccionadas y unidas entre sí) tratando de conseguir a mayor profundidad, menor resistividad o alcanzar el nivel freático del terreno.

2. Realizar tratamiento del suelo.

El tratamiento del suelo se efectúa realizando una excavación para instalar la varilla y rellenando el hueco con tierra negra, carbón, sales y compuestos con menor resistividad (concreto, bentonita o gel). El tratamiento del suelo se basa en el uso de materiales de relleno con menor resistividad, tales como tierra negra ($50 \Omega^*m$), concreto ($40 \Omega^*m$), bentonita ($2,5 \Omega^*m$) y gel ($<1 \Omega^*m$).

3. Sistema de Puesta a Tierra Carson.

Para los sitios que define la norma LAR 450, como Alto y Muy Alto nivel cerámico, se debe contemplar la opción de utilizar el Sistema de Puesta a Tierra Carson. El SPT Carson, utiliza dos (2) varillas de cobre de diámetro 15 mm (5/8 ") y longitud 2,4 m, conductor desnudo de cobre de calibre $3,8 \text{ mm}^2$ (4 AWG) y longitud 2,4 m; el conductor conecta las puntas de las dos varillas. Tiene dos bajantes, una bajante de los DPS en Media Tensión y la otra bajante de Baja Tensión, neutro y puesta a tierra del Transformador, las bajantes pueden ser en fleje de acero, ancho 22,22 mm y espesor 1,2 mm (ET 492); las bajantes no requieren estar cubiertas, no afectan al SPT las abrazaderas y demás elementos de fijación que puedan interconectar las bajantes. La configuración del SPT Carson, se muestra en el diagrama a continuación.

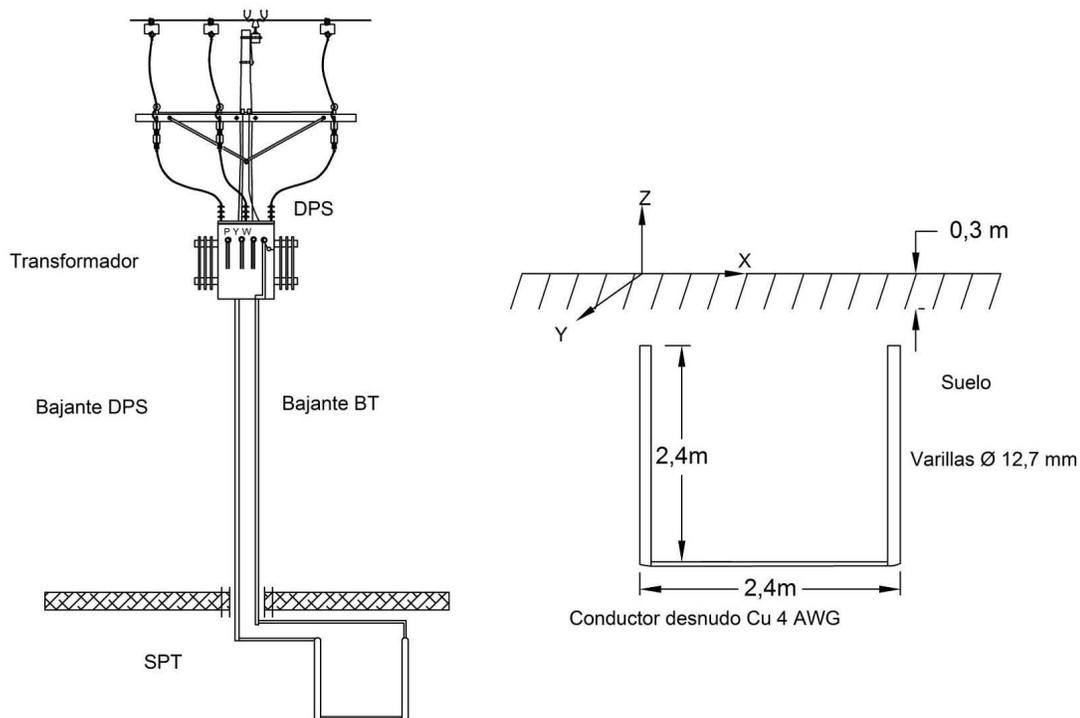


Figura 1. SPT Carson



PUESTA A TIERRA

ELABORÓ
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN
07-10-1998

ÚLTIMA REVISIÓN
03-04-2017

LAR 400
Pág. 4 de 6

4. **Compensación de tierra mediante instalación de contrapesos.**
 Cuando la puesta a tierra está localizada en terrenos de alta resistividad, es posible mejorar el valor de la resistencia de puesta a tierra, mediante la instalación de contra pesos, para lo cual se mide la resistencia de puesta a tierra en por lo menos tres direcciones, buscando las partes más húmedas y se procede a lo largo de una zanja con una profundidad de 0,5 m, a enterrar un conductor como contrapeso en la dirección que indique la menor resistencia.
5. **Traslado de la red a terrenos con menor resistividad.**
 Generalmente en los sitios en que se presentan daños en transformadores en forma reiterada y no ha sido posible por los anteriores métodos bajar la resistencia de puesta a tierra a valores aceptables, se recomienda reubicar el transformador a terrenos con menor resistividad.

La selección de una de las alternativas dependerá de la resistividad del terreno y del valor que se quiere alcanzar, ya que el tratamiento del terreno (a excepción del concreto, la bentonita y el gel) se deteriora con el transcurso del tiempo, si no se toman las precauciones para que permanezca dicho tratamiento.

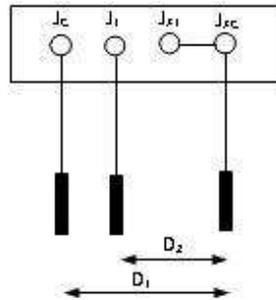


Figura 2

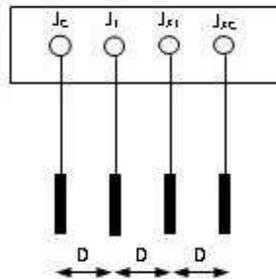


Figura 3



PUESTA A TIERRA

ELABORÓ
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN
07-10-1998

ÚLTIMA REVISIÓN
03-04-2017

LAR 400
Pág. 5 de 6

DEPENDENCIA: _____ FECHA: _____

**MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA ATIERRA
MÉTODO DE LA CAIDA DE TENSION**

Lugar de medición: _____ Punto significativo: _____

Dirección: _____

Estado superficial del terreno Húmedo Seco

Equipo utilizado: _____

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

D ₁ (m)	D ₂ (m)	R(Ω)	D ₁ *(m)	D ₂ *(m)	R(Ω)	OBSERVACIONES
25	15		36	22		
30	18		42	25		
36	22		50	30		
PROMEDIO						

*SEGUNDA MEDICIÓN, SI LA PRIMERA DIFIERE EL 5%> DEL PROMEDIO.

**MEDIDA DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO
MÉTODO DE LOS 4 PUNTOS**

Lugar de medición: _____ Punto significativo: _____

Dirección: _____

Estado superficial del terreno Húmedo Seco

Equipo utilizado: _____

D(m)	R(Ω)	$\rho=2\pi IDR (\Omega*m)$	OBSERVACIONES
2			
5			
10			
20			
36			



PUESTA A TIERRA

ELABORÓ
DISEÑO DE LA RED

EMISIÓN
07-10-1998

ÚLTIMA REVISIÓN
03-04-2017

LAR 400
Pág. 6 de 6