

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 1 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

**SISTEMA DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELECTRICA
EN ALTA TENSION**

**GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE
ESTACIONES TRANSFORMADORAS**

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 2 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	4
1.1	Objeto	4
1.2	Aplicación	4
1.3	Caracterización del Sistema	4
2	ENTORNO FISICO	4
2.1	Características del Terreno	5
2.2	Condiciones climáticas	6
3	PARAMETROS PARA EL DISEÑO	7
3.1	Características del Sistema de Transmisión	7
3.2	Datos para el Diseño	7
3.3	Resistividad del Suelo	7
4	CRITERIOS DE DISEÑO	8
4.1	Introducción	8
4.2	Valores Límite de Diseño	9
4.3	Sección Mínima del Conductor de Tierra	10
4.4	Geometría de la Red	10
5	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE PUESTA A TIERRA	12
5.1	Red de Puesta a Tierra	12

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 3 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

5.2	Contribución de las Jabalinas _____	12
5.3	Máximas Tensiones de Paso y de Malla dentro de la Estación _____	14
5.4	Tensión de Contacto del Lado Exterior del Cerco Perimetral _____	16
6	MATERIALES _____	17
6.1	Materiales para la Red de Puesta a Tierra _____	17
7	CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE MONTAJE _____	18
7.1	Fundaciones _____	18
7.2	Malla de Puesta a Tierra y Conexiones _____	18
7.3	Canales para Cables _____	19
7.4	Edificios _____	19
7.5	Estructuras _____	20
7.6	Cables _____	20
7.7	Cerco Perimetral _____	21
8	PROYECTO _____	22
8.1	Memoria y Planos _____	22
8.2	Especificaciones Técnicas _____	22
9	REFERENCIAS _____	23
10	ANEXO _____	24

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 4 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

1 INTRODUCCION

1.1 Objeto

La presente Guía de Diseño y Normas de Puesta a Tierra de Estaciones Transformadoras tiene por objeto orientar la labor de los proyectistas para lograr, en cada caso, una solución económica que a la vez mantenga el nivel de calidad y confiabilidad del resto de las instalaciones del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión de la República Argentina.

El diseño de la malla de puesta a tierra será optimizado teniendo presentes dos aspectos fundamentales:

- Se trata de un sistema de seguridad y protección para personas y equipos y que se encuentra enterrado, lo que dificulta la detección de daños.
- Tiene un alto costo de renovación en caso de deterioro u obsolescencia.

Por lo tanto, en el diseño y selección de materiales debe priorizarse la confiabilidad y perdurabilidad.

1.2 Aplicación

Esta Guía es aplicable al diseño de sistemas de puesta a tierra en estaciones transformadoras y playas de maniobras de tipo intemperie que se proyecten como nuevas instalaciones o ampliaciones, para operar en tensiones normalizadas de 220 kV o superiores.

Es aplicable para instalaciones de tensiones menores que pudieran requerirse como consecuencia de diferente equipamiento.

1.3 Caracterización del Sistema

Se deberán conocer los siguientes datos de partida:

- Esquema unifilar de la estación y del sistema cercano.
- Diseño básico de la estación transformadora o playa de maniobras.
- Líneas que lo vinculan con el sistema. Características constructivas. Ubicación prevista.

2 ENTORNO FISICO

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 5 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

2.1 Características del Terreno

Las estimaciones de la resistividad basadas en una clasificación de suelos son insuficientes para el diseño. Por lo tanto, deberán efectuarse mediciones en varios puntos del predio que ocupará la estación para conocer sus características geoelectricas.

Raramente se encuentran terrenos en los que la resistividad sea uniforme en toda el área y a una considerable profundidad. Típicamente, se encontrarán varias capas de diferente resistividad. El número de lecturas a efectuar deberá ser mayor cuanto mayor sea la dispersión, especialmente si los valores encontrados son muy altos.

Si el terreno es penetrable, esta investigación puede efectuarse preliminarmente en forma rápida y económica mediante la implantación de jabalinas de acero redondo, obteniéndose directamente la resistencia de dispersión a tierra. En caso contrario, deberá hacerse la prospección mediante los métodos de Wenner o Schulemberger, obteniéndose el perfil geoelectrico en capas y la "resistividad aparente" o "equivalente".

En el Anexo I se incluye la forma para obtener la resistividad en $\Omega.m$ mediante la lectura con telurímetro de la resistencia de dispersión de un electrodo de dimensiones conocidas. Además, se resume la aplicación del método de Wenner y la fórmula de cálculo para la obtención de la resistividad en $\Omega.m$ mediante la lectura de tensión y corriente entre cuatro electrodos de dimensiones y distanciamiento conocido.

En el ANSI/IEEE Std 81-1983 se describen también otros métodos de medición.

Se deberán determinar valores para diez puntos singulares de la playa a desarrollar como mínimo.

Deberá obtenerse información sobre temperatura y humedad del suelo al tiempo de la medición. Esta última tiene decisiva influencia en el valor de la resistividad.

Será conveniente realizar las mediciones con el terreno seco, por lo menos a una semana después de la última lluvia.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 6 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Debe prestarse atención a la posible existencia de conductores enterrados en el área de la estación ya que éstos, si están lo suficientemente cerca como para alterar el patrón de flujo de corriente, pueden invalidar las lecturas hechas por el citado método.

En el caso de que exista una red enterrada, es más adecuado el método de la jabalina de acero redondo para determinar la resistencia de dispersión.

Los resultados a obtener del estudio geoelectrico, en cada uno de los puntos estudiados, deberán ser los siguientes:

- Valores de resistividad en las distintas capas.
- Espesor de cada capa.

2.2 Condiciones climáticas

Por su influencia sobre la humedad permanente, el dato climático más importante es el del nivel de precipitaciones anuales.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 7 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

3 PARAMETROS PARA EL DISEÑO

3.1 Características del Sistema de Transmisión

Los datos necesarios sobre el sistema y las condiciones de operación de la Red Nacional de Interconexión y en particular sobre el punto de la red son:

- Potencia de cortocircuito máxima.
- Configuración.
- Tiempo de operación para el despeje de fallas.

3.2 Datos para el Diseño

Los valores de corriente máxima para el cálculo de la malla de puesta a tierra, tanto trifásico como monofásico, son datos relacionados tanto con las instalaciones existentes como con las previsiones de futuros desarrollos en el área en cuestión.

Serán los fijados en la Guía de Referencia en su última actualización. En caso de no estar precisados en el punto de localización de la estación, será definido por la Transportista TRANSENER.

Igual criterio deberá adoptarse con respecto al tiempo de despeje de fallas.

La corriente de falla con que se han diseñado las instalaciones hasta el presente es de 25 kA, alcanzándose 40 kA en caso de instalaciones más importantes.

Los tiempos utilizados tienen un mínimo de 300 ms.

3.3 Resistividad del Suelo

La resistividad natural del suelo (ρ) es la determinada mediante los estudios eléctricos antes descriptos.

Todas las instalaciones de la red nacional se diseñarán con una cubierta de piedra partida en las playas intemperie.

Por lo tanto, la resistividad de la capa superficial artificial (ρ_s) resulta notablemente aumentada al cubrir el suelo con una capa de piedra partida.

Los valores generalmente usados para (ρ_s) varían entre 1000-5000 Ω .m para piedra partida mojada con agua dulce.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 8 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

4 CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 Introducción

En las Figuras 3 y 4 del Anexo II, se muestran cuatro situaciones en las que una persona está involucrada en una falla sobre el sistema de puesta a tierra presente.

Para un contacto pie-pie, el circuito equivalente es el de la Figura 1 del Anexo II y la tensión aplicada es igual a E_s (“tensión de paso”).

Para las otras tres situaciones de contacto mano-ambos pies es aplicable el circuito equivalente de la Figura 2 del Anexo II y la tensión aplicada es igual a E_t (“tensión de contacto”), o E_m (“tensión de malla”), o E_{trrd} (“tensión de transferencia”).

Se denomina GPR a la máxima elevación de potencial en la red de una subestación con respecto a un punto distante que se asume está al potencial de tierra remoto.

Bajo condiciones normales, el equipo eléctrico puesto a tierra opera muy cerca del potencial cero, es decir que el potencial de un conductor neutro es casi idéntico al potencial de tierra remota.

Durante una falla a tierra, la porción de la corriente de falla que es conducida por la red de tierra de la playa interperie al terreno circundante causa la elevación del potencial respecto a un punto remoto. Esta elevación de potencial GPR es proporcional a la magnitud de la corriente de la red de tierra y a la resistencia de dispersión de dicha red.

a) Tensión de Paso

La tensión de paso es la diferencia de potencial en la superficie que experimenta una persona uniéndose con sus pies una distancia de 1 metro, sin tocar ninguna otra estructura puesta a tierra.

b) Tensión de Contacto

La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre un punto de la superficie sobre el que se encuentra parada una persona y el de una estructura puesta a tierra que la persona esté tocando con las manos.

c) Tensión de Malla

La tensión de malla es la máxima tensión de contacto que se pueda encontrar dentro de una malla de una red (se define como malla a una de las cuadrículas de la red).

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 9 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

d) Tensión de Transferencia

La tensión de transferencia es un caso especial de la tensión de contacto, cuando el GPR total es transferido hacia o desde la subestación.

4.2 Valores Límite de Diseño

En esta Guía se asume que:

- Las resistencias de contacto de pies y manos son iguales a cero (es decir, que se supone que la persona no lleva zapatos ni guantes).
- La resistencia del cuerpo humano (R_b), tanto entre mano-ambos pies como mano-mano y pié-pié, se representa con un valor de 1000Ω .

a) Valor Límite para la Tensión de Paso

La seguridad de una persona consiste en evitar que absorba una cantidad crítica de energía antes de que la falla sea despejada por los dispositivos de protección. Las máximas tensiones de cualquier circuito accidental no deberán exceder los límites que se establecen a continuación.

La corriente admisible soportada por el cuerpo humano es

$$I_B = 0,116 / t_s^{1/2} \text{ (para una persona de 50 Kg)}$$

$$I_B = 0,157 / t_s^{1/2} \text{ (para una persona de 70 Kg)}$$

También ha sido determinado que la resistencia de los dos pies en serie es

$$R_{2Fs} = 6 (\rho)$$

y que la resistencia de los pies en paralelo es

$$R_{2Fp} = 1,5 (\rho)$$

Para la tensión de paso el límite es

$$E_{step} = (R_b + R_{2Fs}) \cdot I_B$$

Consecuentemente resulta

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 10 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

$$E_{step} = (1000 + 6 \rho).0,157 / t_s^{1/2}.$$

La tensión de paso real deberá ser menor que la máxima tensión de paso tolerable E_{step} para asegurar la seguridad de las personas.

b) Valor Límite para la Tensión de Contacto

Análogamente, la tensión de contacto límite es:

$$E_{touch} = (R_b + R_{2Fp}) I_B, \text{ resultando:}$$

$$E_{touch} = (1000 + 1,5 \rho).0,157 / t_s^{1/2} = (157 + 0,235 \rho) / t_s^{1/2},$$

donde:

ρ resistividad del suelo. Si se trata de una capa de material artificial como por ej. piedra partida, corresponde aplicar ρ_s (resistividad superficial),

t_s duración del shock (seg).

Las tensiones reales de contacto de malla o de transferencia deben ser menores que la máxima tensión de contacto tolerable, para asegurar la seguridad de las personas.

Los valores límites para las tensiones de paso y de contacto están implícitas en el cálculo de la longitud total de conductores indicado más abajo.

4.3 Sección Mínima del Conductor de Tierra

La sección mínima de los conductores de tierra deberá ser determinada en función de la corriente máxima previsible de falla, con la metodología desarrollada en la Sección 9 de la IEEE Std. 80.

No obstante, en el diseño de la red se ha mantenido, basado en un criterio de prevención de los daños producidos por corrosión, como sección mínima 90 mm^2 constituido por 7 hilos de cobre.

4.4 Geometría de la Red

La geometría de la red de puesta a tierra deberá ceñirse a la ubicación en planta del equipamiento de la playa intemperie, tendiéndose los conductores en los corredores entre filas de los equipos, al costado de las bases.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 11 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Los espaciamientos típicos de los conductores de la red están entre 5-15 metros, mientras que la profundidad normal es de 0,80 m.

El diámetro de conductores entre 90 y 250 mm² normalmente empleados tiene un efecto despreciable en el “potencial de malla”.

El área de la playa intemperie es el factor individual geométrico determinante en la resistencia de dispersión de la red. Cuanto mayor sea dicho área, menor será la resistencia y en consecuencia menor la elevación de potencial y por ende el “potencial de malla”.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 12 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

5 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE PUESTA A TIERRA

5.1 Red de Puesta a Tierra

Deberá determinarse la resistencia de dispersión a tierra de la red de conductores horizontales enterrados. Para las profundidades usuales de instalación de la malla en el sistema interconectado (mínimo 0,8 m), dicho valor es:

$$R = r \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right],$$

donde:

- h profundidad de instalación de la red,
- L longitud de conductor enterrado,
- A área cubierta por la malla en m².

Una puesta a tierra ideal debería ser de una resistencia cercana a cero. En la práctica, la elevación de potencial de la red se incrementa proporcionalmente con la corriente de falla. Por lo tanto, cuanto mayor sea la intensidad de falla, menor debería ser la resistencia de dispersión a obtener.

Para grandes estaciones transformadoras y playa de maniobras de EAT, la resistencia a tierra debe ser menor a 1 ohm.

5.2 Contribución de las Jabalinas

La jabalinas de neutros y descargadores se vinculan a la malla de tierra y deben ser tenidas en cuenta al determinar el valor total del sistema de puesta a tierra.

Asimismo, cuando es difícil alcanzar los valores pretendidos con la malla solamente, el uso de jabalinas es el recurso adecuado para alcanzar dichos valores.

Debido a su influencia mutua, la resistencia total de la combinación “red horizontal de conductores-electrodos verticales” es menor que cualquiera de los componentes separados pero mayor que la resistencia de su conexión en paralelo.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 13 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

La resistencia combinada es:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - (R_{12})^2}{R_1 \cdot R_2 - 2R_{12}},$$

donde:

- R_1 resistencia de la red horizontal,
- R_2 resistencia combinada de todas las jabalinas,
- R_{12} resistencia mutua entre el grupo de conductores horizontales y el grupo de jabalinas.

Cuando se hincan jabalinas profundamente en el terreno, a fin de alcanzar sue los más conductivos, son aplicables las siguientes expresiones:

$$R_1 = (\rho_1 / \pi l_1) (\ln (2l_1 / h') + K_1 (l_1 / A^{1/2}) - K_2),$$

$$R_2 = (\rho_a / 2n\pi l_2) [\ln (8l_2 / d_2) - 1 + 2 K_1 (l_2 / A^{1/2}) (n^{1/2} - 1)^2],$$

$$R_{12} = (\rho_a / \pi l_1) [\ln (2l_1 / l_2) + K_1 (l_1 / A^{1/2}) - K_2 + 1],$$

donde:

- ρ_1 resistividad del suelo encontrada por los conductores de red enterrados a la profundidad \underline{h} (ohm.m),
- ρ_a resistividad aparente del suelo para una jabalina (ohm.m),
- H espesor de la capa superior de suelo (m),
- ρ_2 resistividad de la capa inferior de suelo (ohm.m),
- l_1 longitud total de los conductores de la red (m),
- l_2 longitud promedio de las jabalinas (m),
- h profundidad de empotramiento de la red (m),
- h' $(d_1 h)^{1/2}$ para conductores enterrados a la profundidad \underline{h} ,
- A área cubierta por la red de dimensiones $\underline{a} \times \underline{b}$ (m²),
- n número de jabalinas dentro del área A,
- $K_1 ; K_2$ constantes relacionadas con la geometría del sistema (Fig. 45 y 46 de IEEE St-80 sección 12.3),
- d_1 diámetro de los conductores de la red (m),
- d_2 diámetro de las jabalinas (m),

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 14 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- a lado menor del rectángulo (m),
- b lado mayor del rectángulo (m).

Las ecuaciones anteriores son válidas para un suelo de dos capas, en el cual las jabalinas pasan la capa superior y penetran la capa inferior más conductiva. En esas condiciones en las que $\rho_1 > \rho_2$ y donde la red es enterrada en la capa superior ρ_1 , pero las jabalinas están parcialmente en ρ_1 y parcialmente en ρ_2 , los valores de R_2 y R_{12} son calculados con el uso de ρ_a que es la resistividad aparente del suelo vista por las jabalinas.

El valor de ρ_a se define, para el caso más común en que el extremo superior de las jabalinas se encuentra al nivel en que se halla enterrada la red, mediante la siguiente expresión:

$$\rho_a = \frac{b (\rho_1 \rho_2)}{(\rho_2 (H - h) + \rho_1 (b + h - H))}$$

Para suelos uniformes, ρ_2 y ρ_1 tienen el mismo valor.

Las ecuaciones resultantes son razonablemente exactas para la mayoría de los cálculos prácticos, cuando se cumple que la diferencia entre ρ_1 y ρ_2 no es muy grande (preferentemente ρ_2 no menor a $0,2 \cdot \rho_1$) y el espesor de la capa superior H es al menos $0,1 \cdot b$.

5.3 Máximas Tensiones de Paso y de Malla dentro de la Estación

Para los rangos usuales de sección de conductor, profundidad de enterramiento y espaciamiento, puede decirse que:

$$E_{\text{step}} = 0,1 \text{ a } 0,15 \rho i,$$

$$E_{\text{touch}} = 0,6 \text{ a } 0,8 \rho i,$$

$$E_{\text{mesh}} = \rho i,$$

donde:

i corriente en A por metro de conductor enterrado fluyendo en el terreno,

ρ resistividad ($\Omega \cdot m$).

En la estimación de la longitud mínima de conductor enterrado para controlar los gradientes, deberá tomarse como referencia la tensión de malla, que es la más desfavorable de las tensiones de contacto.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 15 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Deberá incluirse un “factor de irregularidad” para contemplar la no-uniformidad en el flujo de corriente a tierra por unidad de longitud de conductor enterrado.

La tensión de malla puede determinarse por:

$$E_{\text{mesh}} = \rho K_m K_i I_G / L,$$

donde:

K_m coeficiente que toma en consideración el efecto del número n ; espaciado D ; diámetro d y profundidad de enterramiento h de los conductores de la red.

Su valor puede ser determinado como:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \cdot \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \cdot \ln \cdot (3/4)(5/6)(7/8),$$

siendo el número de factores entre paréntesis, en el segundo término, igual al número de conductores en paralelo de la red básica (excluyendo conductores cruzados), menos 2.

K_i “factor de irregularidad” de corrección, calculado de acuerdo a IEEE STD 80

ρ resistividad promedio del terreno ($\Omega \cdot m$),

I_G corriente máxima de falla (A), que fluye entre la red y el terreno antes calculada,

L longitud mínima total de conductor enterrado (m).

Si este valor de E_{mesh} se iguala al valor máximo tolerable antes calculado, resulta:

$$\rho K_m K_i I_G / L = (157 + 0,235 \rho_s) / t_s^{1/2}.$$

Se ha incluido ρ_s para considerar la resistividad superficial.

Resulta:

$$L = \rho K_m K_i I_G t_s^{1/2} / (157 + 0,235 \rho_s)$$

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 16 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Con el dato de L y el de R_g (resistencia de dispersión de la red), se tienen dos datos básicos para el diseño de la red, que podrá afinarse sobre el plano de planta de la subestación.

Si la longitud de conductor resultante por razones geométricas y físicas, por la necesidad de conexión de todo el equipamiento, es mayor que el valor L calculado, el problema está básicamente resuelto. De lo contrario, deberán reducirse las dimensiones de la cuadrícula hasta obtener el valor de L necesario para el control de los gradientes.

Por otro lado, con el valor de R_g y el de la intensidad de falla más desfavorable I_G , se tiene el valor de GPR, con el cual se analizarán eventuales problemas con la “tensión de transferencia”.

5.4 Tensión de Contacto del Lado Exterior del Cerco Perimetral

Es recomendable extender la red de puesta a tierra fuera del cerco perimetral para evitar tensiones de contacto peligrosas para una persona parada en el lado exterior y tocando el cerco. El aumento del área de cobertura de la red tiene la ventaja adicional de reducir la resistencia. El cerco perimetral debe conectarse cuidadosamente a la red. Cuando el cerco está distante de la malla de puesta a tierra, se deberá conectarle conductores paralelos para mantener los valores de tensión de contacto por debajo de los máximos establecidos.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 17 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

6 MATERIALES

6.1 Materiales para la Red de Puesta a Tierra

En la elección de los materiales de puesta a tierra, deberá considerarse su resistencia a la corrosión en distintos medios y su compatibilidad para conectarse en las uniones de conductores y jabalinas o conductores y estructuras u otros.

En las estaciones transformadoras, por razones de confiabilidad, se usarán conductores de cobre (eventualmente, aunque menos recomendable, conductores de acero-cobre) y jabalinas de acero-cobre.

Los materiales a utilizar deberán ajustarse a las normas que se detallan a continuación:

- a) Jabalina cilíndrica de acero-cobre y sus accesorios: Norma IRAM 2309.
- b) Soldadura cuproaluminotérmica: Norma IRAM 2315.
- c) Conductores de Cobre desnudos: Norma IRAM 2004.
- d) Conductores de Cobre recubiertos con PVC: Norma IRAM 2143.
- e) Conductores de Acero recubiertos en cobre cableados en capas concéntricas: Norma IRAM 2467.
- f) Alambres de Acero recubiertos de cobre trefilado duro: Norma IRAM 2466.
- g) Alambres de Acero-Cobre: Norma ASTM B-227
- h) Código de práctica para Puesta a tierra de Sistemas Eléctricos: Norma IRAM 2281.
 - Parte I: Consideraciones generales.
 - Parte II: Guía de mediciones de magnitudes de puesta a tierra (resistencia, resistividades y gradientes).
 - Parte IV: Centrales, subestaciones y redes.
- i) Guantes de protección eléctrica, de elastómero: Norma IRAM 3604.
- j) Cascos de seguridad de uso industrial: Norma IRAM 3620.

La recepción y ensayos de los materiales de puesta a tierra deberán ajustarse a lo especificado en las normas correspondientes a cada uno de ellos.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 18 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

7 CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE MONTAJE

Dada la importancia de la malla de puesta a tierra, tanto desde el punto de vista operativo como de seguridad, los siguientes aspectos deberán ser tenidos en cuenta desde la etapa de proyecto.

7.1 Fundaciones

En las fundaciones, previo al hormigonado, deberán instalarse caños plásticos de diámetro mínimo 25 mm para el pasaje de los conductores de puesta a tierra. Todos los cables de conexión deberán quedar protegidos para evitar que puedan ser dañados. Todos los bulones de conexión deberán ser accesibles para inspección.

Todas las armaduras de las fundaciones tendrán continuidad eléctrica mediante soldadura y serán conectadas a la malla de tierra mediante un chicote.

7.2 Malla de Puesta a Tierra y Conexiones

Al margen de las necesidades específicas relativas a la resistividad del terreno y a las tensiones de paso y de contacto, la cuadrícula de la malla de tierra se densificará mediante el agregado de ramas adicionales en las proximidades de las estructuras aporricadas de retención de barras e hilo de guardia, los transformadores de medida, descargadores de sobretensión y capacitores de acoplamiento para el sistema de onda portadora.

Las bajadas para conexión a la malla deberán ser conectadas, con la mínima longitud posible, a dos de los lados de la cuadrícula que rodean los pórticos y/o estructura soporte de equipo. Cada conexión deberá hacerse lo más cercana a los cruces de la malla. La sección de los cables de bajada deberá ser igual a la sección del cable de la malla de tierra.

Todas las conexiones de la malla deberán ser ejecutadas mediante soldadura exotérmica y las conexiones a equipos y estructuras mediante terminales y bulones.

Los descargadores de sobretensión, los transformadores de tensión y los neutros de los transformadores de potencia deberán estar conectados, además de su vinculación a la malla, a jabalinas con cámara de inspección.

Los descargadores deberán conectarse a la red de tierra de forma tal que las corrientes que drenen no afecten la zona de puesta a tierra de aparatos fuentes de señal (TC, TV, capacitores de acople).

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 19 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

La puesta a tierra del neutro de los secundarios de los transformadores de medida deberá ser realizada en la caja de conjunción de cada terna de transformadores.

7.3 Canales para Cables

Los canales para el tendido de cables llevarán a lo largo, como mínimo, un conductor de la misma sección que la malla de puesta a tierra, al que se conectarán todos los soportes metálicos colocados dentro de los canales.

Dicho conductor deberá ser conectado a la malla de puesta a tierra cada 20 m como máximo.

7.4 Edificios

Las armaduras de edificios serán puestas a tierra con igual criterio que las fundaciones de playa. Igualmente, todas sus partes metálicas, aberturas, cubiertas, etc. deberán ser conectadas a la malla de puesta a tierra. De acuerdo con las dimensiones, se las vinculará en uno o más puntos. Las partes móviles deberán estar vinculadas a las partes fijas mediante cintas flexibles.

Los canales interiores para cables llevarán un conductor de puesta a tierra similar al de los exteriores igualmente vinculado a la malla de puesta a tierra.

Todos los canales sobre los cuales se instalan tableros deberán estar recorridos por una pletina de cobre de sección mínima 120 mm^2 y a una distancia de 10 cm por debajo del nivel de montaje de tableros. Este colector se unirá regularmente a la malla de puesta a tierra y, al mismo, deberán ser conectados los siguientes elementos:

- Los blindajes de los conductores, separados al pie de los tableros.
- Los conductores de reserva de los cables multifilares indicados en el párrafo respectivo.
- Los bastidores o estructuras de los tableros y/o de los equipos móviles instalados en él.

Los locales donde se instale equipamiento electrónico deberán estar provistos de un plano de tierra equipotencial, compuesto por una hoja de cobre continuo sobre todo el piso, con un espesor aproximado 0.1 mm o cinta de cobre 100 x 1 mm en configuración mallada, dependiendo del número y posición de los aparatos, instalada por ejemplo bajo el falso piso.

Dicho plano de tierra constituirá el colector de la puesta a tierra funcional y de seguridad, para todos los aparatos electrónicos instalados, de clase 2 kV.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 20 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

El plano de tierra deberá ser conectado a una única toma de tierra que llegue a la malla de tierra mediante conexión de sección adecuada. Dicha conexión, si es de longitud superior a algunos metros, deberá ser de tipo blindado, debiendo ser dicho blindaje conectado a tierra, sólo del lado de la malla de tierra.

Las tierras de los aparatos deberán conectarse al mencionado plano de tierra equipotencial, en modo radial, cada una con conexión propia de mínima longitud.

Cuando se trate de locales en distintas cotas, deberá realizarse la interconexión de los planos de tierra equipotencial de los mismos, con conexiones de baja impedancia (cuerdas múltiples y/o pletina de cobre 100 x 1 mm).

Todos los aparatos no electrónicos (otras alimentaciones y servicios como la instalación de acondicionamiento de aire, etc.), deberán conectarse a la toma de tierra utilizando conexiones independientes de las anteriores.

7.5 Estructuras

En las estructuras metálicas, deberá asegurarse la continuidad, para permitirles actuar como conductor de puesta a tierra y deberán preverse los agujeros necesarios para la colocación de los bulones de conexión a la malla de puesta a tierra.

La puesta a tierra de funcionamiento de los seccionadores, transformadores de medida, capacitores de acoplamiento, deberá ser realizada mediante cables o pletinas de cobre de sección igual a la de la malla.

7.6 Cables

Los blindajes de los cables deberán ser conectados a tierra en ambos extremos de cada tramo con conexiones lo más cortas posibles, con las siguientes excepciones:

- cables para el envío de señales de muy bajo nivel (por ejemplo termorresistencias o termocuplas), cuyo blindaje deberá ser conectado a tierra en un solo extremo. Estos cables deberán, además, conducirse por cañería o por bandeja apantallante puesta a tierra cada 20 m.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 21 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- cables provenientes de trasductores del tipo doble apantallado; la pantalla interior, cinta de material no magnética, deberá ser conectada a tierra en un solo extremo, en tanto que la pantalla exterior, malla de cobre, deberá ser conectada a tierra en ambos extremos.
- cables provenientes de capacitores de acoplamiento de onda portadora, cables triaxiales, que además de los anteriores, su blindaje externo se conectará a tierra en ambos extremos.

En todos los casos, el blindaje de los cables deberá ser conectado mediante un collar de cobre soldado a aquél y de la misma sección.

Todos los conductores libres de cables multifilares deberán ser conectados a tierra en ambos extremos.

Los blindajes de los cables provenientes de la playa de alta tensión, deberán ser conectados a tierra, a la entrada de los edificios, pudiendo luego proseguir y transitar en proximidad de otros circuitos y de aparatos electrónicos.

7.7 Cerco Perimetral

El cerco perimetral de acero cincado deberá conectarse a la red de puesta a tierra mediante conductores de cobre o acero-cobre. La conexión se efectuará con conectores de acero cincado o aluminio bifilares bimetálicos.

Deberá extenderse hacia fuera, mediante los conductores necesarios, para controlar la tensión de contacto en la parte exterior del cerco.

Se garantizará que todas y cada una de las secciones del cerco perimetral se encuentren conectadas a la red de tierra. Las puertas se conectarán al cerco mediante cintas flexibles de cobre estañado.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 22 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

8 PROYECTO

8.1 Memoria y Planos

Como se ha visto en el desarrollo de esta Guía, la ejecución de la red de tierra tiene una íntima relación con las obras civiles. Por tanto, el proyecto deberá ser desarrollado sobre planos avanzados con disposición general de las fundaciones de playa e incluidos caminos y canales.

El proyecto de la malla deberá definir y acotar el tendido de conductores y detallar el punto de conexión de ramas y derivaciones. La precisión del proyecto y la cuidadosa ejecución de la obra son las que garantizan el funcionamiento adecuado de la puesta a tierra y la obtención de los valores de puesta a tierra establecidos.

8.2 Especificaciones Técnicas

El proyecto contendrá en las Especificaciones Técnicas Particulares de Provisión y Montaje, las especificaciones de todos y cada uno de los materiales empleados y su metodología de instalación.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 23 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

9 REFERENCIAS

- Ref. 1 - ANSI/IEEE Std. 80-1986 “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”.
- Ref. 2 - ANSI/IEEE Std. 81-1983.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 24 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

**SISTEMA DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELECTRICA
EN ALTA TENSION**

**GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE
ESTACIONES TRANSFORMADORAS**

ANEXO

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 25 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

ANEXO I

A.- Relación entre la Resistividad del Suelo y la Resistencia de Dispersión de un Electrodo Cilíndrico de Dimensiones Conocidas

La fórmula de Dwight para obtener la resistencia de dispersión a tierra aplicable a un electrodo cilíndrico es:

$$R = \rho / 2\pi L [1n (4L/a) - 1],$$

donde:

- ρ resistividad "aparente" o "equivalente" del suelo atravesado por el electrodo ($\Omega \cdot \text{cm}$),
- L longitud del electrodo (cm),
- a radio del electrodo (cm),
- R resistencia de dispersión a tierra (Ω).

Por tanto, la resistividad "equivalente" del terreno que rodea al electrodo es:

$$\rho = R * 2\pi L / [1n (4L/a) - 1]$$

Medida entonces la resistencia de dispersión R hincada hasta la profundidad L y conocidas las dimensiones físicas del electrodo, se puede calcular la resistividad "equivalente" ρ .

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 26 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

ANEXO I

B.- Método de Wenner para Medición de la Resistividad de Suelos

El método de Werner de cuatro electrodos es el más común de las técnicas utilizadas.

En resumen, se instalan cuatro electrodos a lo largo de una línea recta, separados por distancias iguales A, hincados a una profundidad B. Se mide la tensión entre los electrodos interiores (de potencial), inyectando corriente entre los dos electrodos exteriores (de corriente). La resistividad es entonces:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{1/2}} - \frac{A}{(A^2 + B^2)^{1/2}}}, \quad (I-1)$$

donde:

- ρ resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$),
- R resistencia en ohms resultante de la división de la tensión entre los electrodos de potencial por la corriente en amperes fluyendo entre los electrodos de corriente,
- A distancia entre electrodos adyacentes (m),
- B profundidad de los electrodos.

Si B es pequeña comparada con A, ($B < 20 A$) como en el caso más común, la ecuación anterior se reduce a la más conocida

$$\rho = 2 \pi A R.$$

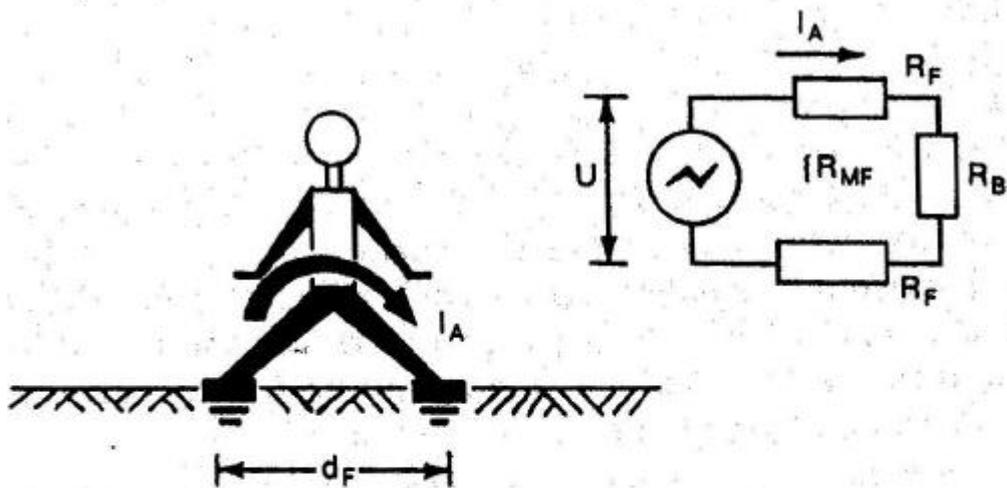
La corriente tiende a fluir cerca de la superficie, para separación pequeña entre electrodos, mientras que para separaciones mayores, la corriente penetra los suelos más profundos. Por tanto, es costumbre asumir (aunque no sea estrictamente cierto) que la resistividad medida, para una cierta separación A, representa la resistividad del suelo a la profundidad A. Entonces, la Ec. (I-1) puede usarse para determinar la resistividad aparente ρ a la profundidad A.

ANEXO II

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 27 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

Figura 1

CIRCUITO EQUIVALENTE TENSION DE PASO



$$d_F = 1 \text{ m}$$

$$R_A = R_B + 2R_F - 2R_{MF}$$

$$I_A = U/R_A$$

$$R_B = 1000 \Omega$$

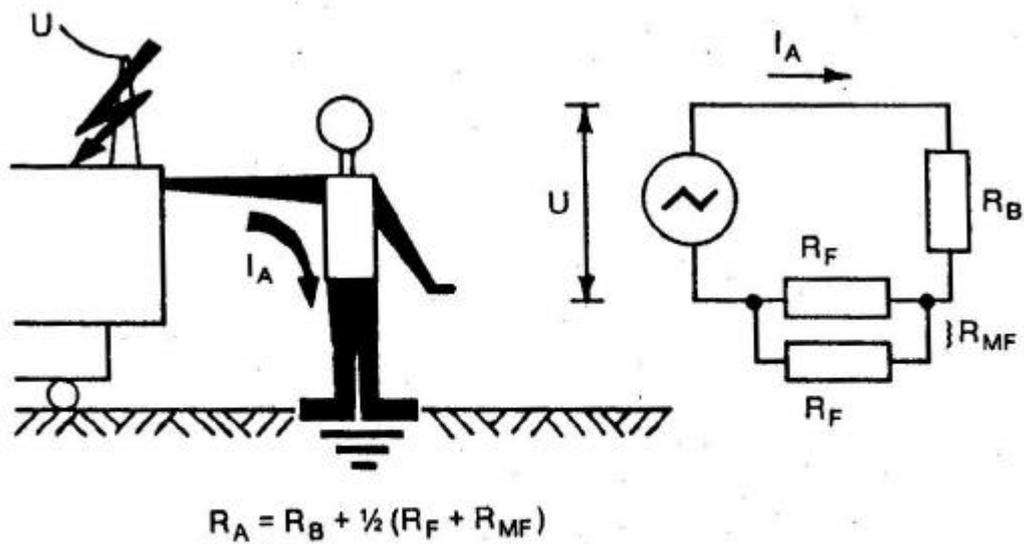
Donde:

I_A = Corriente del circuito accidental.

R_A = Resistencia total del circuito accidental.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 28 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Figura 2

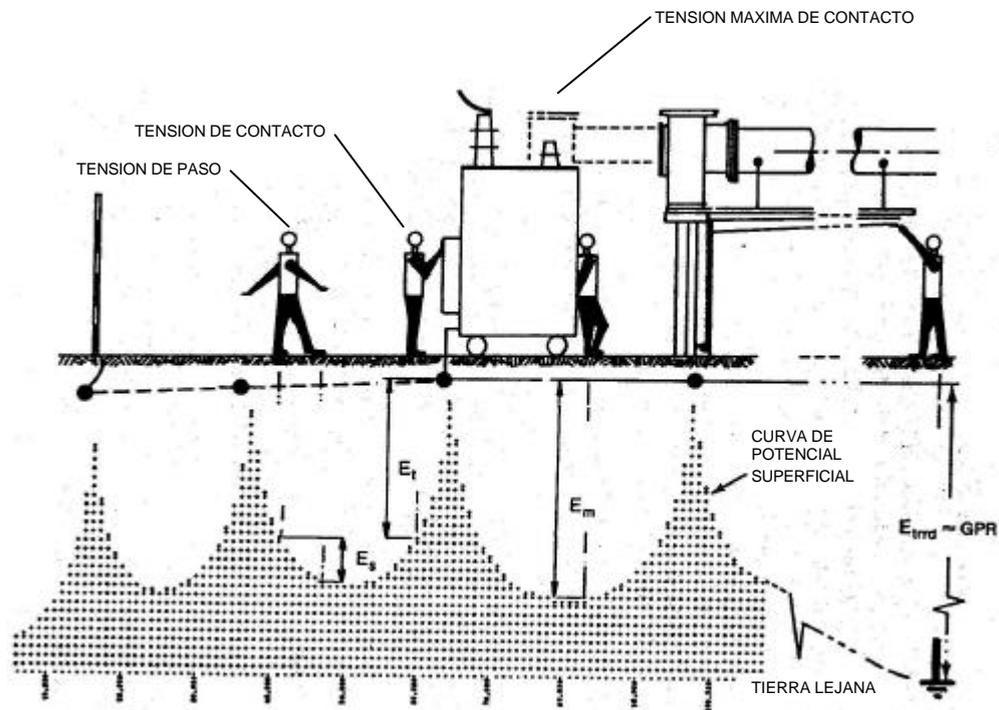


CIRCUITO EQUIVALENTE TENSION DE CONTACTO

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 29 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

ANEXO II

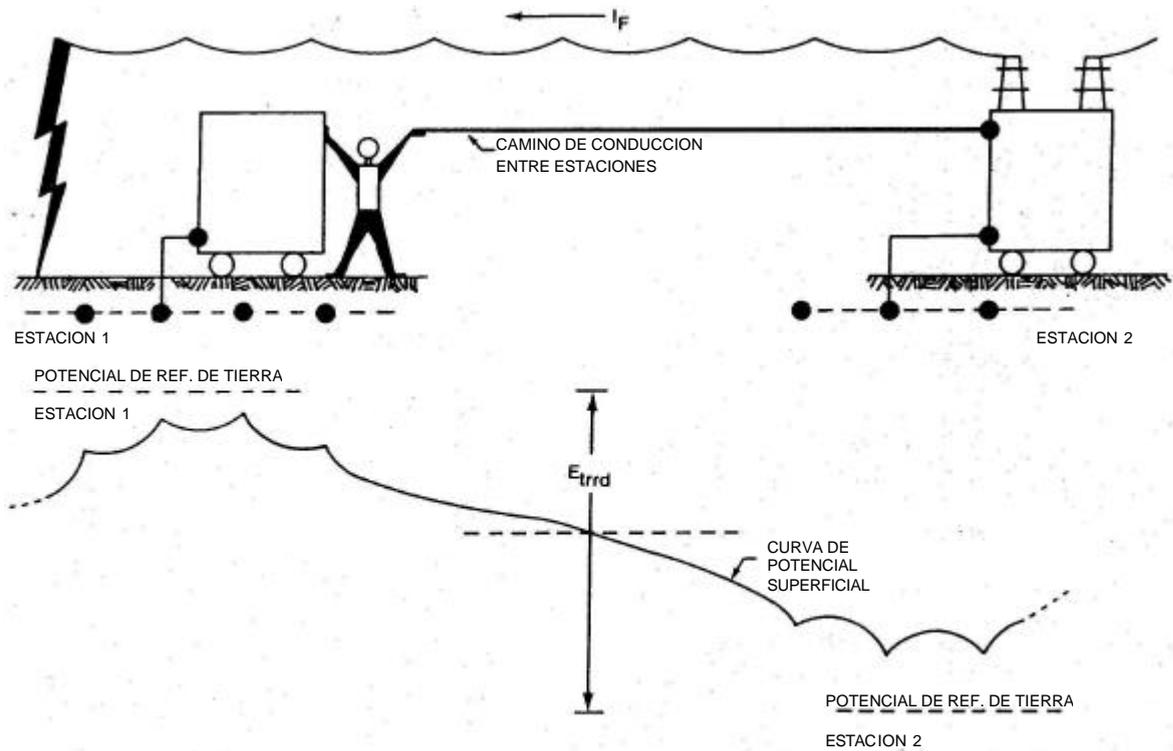
Figura 3



SITUACIONES BASICAS DE SHOCK ELECTRICO

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS PARA PUESTA A TIERRA DE ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Página 30 de 30
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica		
GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

Figura 4



SITUACIONES TÍPICAS DE POTENCIAL EXTERNO TRANSFERIDO