

# PRECALCULOS

## CALCULOS PREVIOS A LAS MEDICIONES

	Pág.
1. INTRODUCCION	2
2. OBJETIVOS	2
3. CRITERIOS DE SEGURIDAD DE LAS MEDIDAS	2
4. PROBLEMAS GENERALES RELATIVOS A LAS MEDICIONES	5
5. RESISTIVIDAD DEL SUELO	7
6. IMPEDANCIA DE PUESTA A TIERRA	7
7. TENSION MAXIMA DEL ELECTRODO	8
8. TENSION DE CONTACTO	8
9. TENSION DE PASO	9
10. PRUEBA DE INTEGRIDAD O DE EQUIPOTENCIALIDAD	10

## 1. INTRODUCCION

Considerando la esquematización de la referencia ANSI / IEEE 81 de 1983 "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", antes de la realización de las mediciones eléctricas de los parámetros de los sistemas de puesta a tierra, principalmente electrodos tipo malla para subestación, se propone realizar una serie de cálculos.

Con el objeto de simplificar, los cálculos antes de realizar las mediciones, se denominarán precálculos y cuando se hace referencia al electrodo, se debe leer el electrodo en estudio del sistema de puesta a tierra de interés, para el caso de otros tipos de electrodos, tal como los electrodos de medida, se aclara en cada mención.

La presente propuesta, o metodología, puede aplicarse a cualquier tipo de sistema de puesta a tierra, no importando sus dimensiones geométricas, tipos de señales de corriente (fallas a tierra a 60 Hz, corrientes armónicas a tierra vía neutro, corrientes directas, radiofrecuencias, descargas eléctricas atmosféricas o rayos, etc.), ubicación urbana o rural, etc.

La calidad de los precálculos es función de la calidad esperada de los parámetros a calcular, y éstos son dependientes de la refinación de los modelos analíticos (simplificados o detallados) de simulación de cálculos y de los parámetros de entrada o datos previos. Se recomienda, y es básicamente necesario, utilizar programas detallados de simulación del comportamiento o respuesta de electrodos de puesta a tierra ante sobrecorrientes.

## 2. OBJETIVOS

El propósito de la realización de los precálculos, en general, es: planificar con mayor seguridad las acciones de las mediciones para mantener la **integridad** de las personas, los animales, ambiente y de activos propios o ajenos, ante los posibles riesgos por las actividades de las medidas eléctricas de los sistemas de puesta a tierra y **determinar** previamente los parámetros eléctricos que **condicionarán** las medidas eléctricas de los sistemas de puesta a tierra.

## 3. CRITERIOS DE SEGURIDAD DE LAS MEDIDAS

Las acciones de seguridad para mantener la integridad de las personas, los animales, ambientales y de activos propios o ajenos por los posibles riesgos ante las actividades de las medidas eléctricas de los sistemas de puesta a tierra, se deben planificar con criterios claros y con una adecuada sustentación técnica y física.

Se deben determinar los niveles de **corrientes** permanentes o transitorias involucradas desde el electrodo con respecto a suelo lejano, debido a que por seguridad, es necesaria la protección ante los efectos electromagnéticos

causados por estas corrientes al momento de las medidas por medio de equipos y cableados con suficiente capacidad (potencia suficiente nominal y transitoria), procedimientos seguros de trabajo eléctrico, etc.

Se deben determinar los niveles de **tensiones o potenciales** involucrados desde el electrodo con respecto a suelo lejano, debido a que por seguridad, es necesaria la protección ante diferencias de tensiones o diferencias de potencial por medio de equipos o barreras de aislamiento eléctrico, procedimientos seguros de trabajo, etc.

Tensiones o potenciales elevados pueden aparecer entre el electrodo de puesta a tierra y suelo lejano, a causa de las corrientes eléctricas circulantes permanentes o transitorias desde el electrodo hasta suelo lejano, corrientes eléctricas provenientes desde los elementos propios puestos a tierra, masas metálicas bajo suelo en contacto directo o indirecto (inducidas, acopladas, conducidas, etc.) con el electrodo o partes conductoras de los elementos puestos a tierra o del sistema de puesta a tierra. Las corrientes eléctricas permanentes o transitorias son generadas por posibles sucesos de fallas a tierra, descargas eléctricas atmosféricas, drenaje de cargas estáticas, corrientes armónicas vía neutros a tierra, etc.

Previamente, se deben determinar los niveles de las corrientes circulantes en estado permanente o transitorio desde el sistema de puesta a tierra a suelo lejano (o de polaridad contraria), por la consideración de todas las posibles fuentes citadas.

### Tensiones máximas del electrodo

Con base a las recomendaciones de la norma NTC en estudio o discusión, previamente a las mediciones se tendrán establecidas las características del diseño del sistema de puesta a tierra, tales como los niveles de corriente en función a la frecuencia o del tipo de señal al electrodo de puesta a tierra de interés y los demás parámetros de todas las componentes del sistema de puesta a tierra (como la distribución geométrica de los electrodos, las características de los conductores horizontales, verticales, posicionamiento y ubicación del electrodo en el suelo, cableados a elementos a poner a tierra, masas metálicas bajo suelo, resistividad del suelo, resistividades junto a los espesores de las capas artificiales superficiales, condiciones frontera reglamentados, etc.), con cuyas características se puede calcular las tensiones máximas del electrodo con respecto a suelo lejano (o tierra lejana).

Para el caso de sistemas de puesta a tierra existentes, o ya construidos, se deben conocer al menos los niveles máximos de corriente a disipar por el electrodo de puesta a tierra y con los registros de mediciones previas de impedancias (o resistencias, para el caso de electrodos de puesta a tierra de valores superiores a 1 ohmio o electrodos embebidos en suelos de bajas y moderadas resistividades o señales de bajas frecuencias o que no sean del tipo impulso) de puesta a tierra con respecto a suelo lejano o por medio de una simulación analítica simplificada o detallada, se pueden calcular las tensiones máximas del electrodo con respecto a suelo lejano (o tierra lejana).

La tensión máxima del electrodo con respecto a suelo lejano, es el denominado en idioma inglés por las siglas GPR, para el máximo nivel de corriente según el tipo de señal de corriente al electrodo de puesta a tierra que se disipará con respecto a suelo lejano, especialmente para fuentes de corriente del tipo falla a tierra a 60 Hz, pero que en forma genérica se puede aplicar a otros tipos de señal de corriente al sistema de puesta a tierra.

### Tensiones máximas de los electrodos de medida

Los electrodos de medida de potencial, de corriente, de simulación del calzado de las personas, también pueden presentar elevados niveles de tensiones máximas de cada uno de estos electrodos con respecto a suelo lejano (o tierra lejana), en función de su impedancia propia, sus dimensiones geométricas, la resistividad local de los suelos naturales y artificiales, los niveles de los valores de las corrientes transitorias o permanentes al momento de las mediciones provenientes del electrodo del sistema de puesta a tierra en pruebas o mediciones o en ensayo, etc.

Por lo cual se deben precalcular los niveles de corriente y los correspondientes niveles de las tensiones máximas de los electrodos de medida, antes de las acciones de medición.

### Corrientes máximas

Sobre los tipos de corrientes permanentes o transitorias circulantes por los cables conductores de pruebas entre el electrodo del sistema de puesta a tierra y los electrodos de medida, se considera lo expresado en los apartes respectivos en lo afirmado anteriormente sobre las corrientes al electrodo.

### Suelo lejano o tierra lejana

La localización del inicio de tierra lejana, en el sentido radial al electrodo, sobre la superficie del suelo, tiene como propósito el posicionamiento de la referencia de las tensiones o potenciales respecto al electrodo y de la zona de influencia eléctrica del electrodo con respecto a suelo lejano.

La localización o ubicación del punto donde se inicia la zona denominada suelo lejano o tierra lejana para el electrodo del sistema de puesta a tierra, puede ser determinado, dependiendo de las características del electrodo del sistema de puesta a tierra, por medio de la regla del 61,8 % siguiendo la teoría básica del método de la caída de potencial de aplicación en las mediciones de impedancia de puesta a tierra.

Otro método para determinación del punto de inicio de la zona del suelo lejano, tiene como base la teoría descrita en el Apéndice C de la referencia citada al inicio, y los modelos de cálculo detallados del comportamiento eléctrico de electrodos ante corrientes normales o transitorias, el cual consiste en calcular: la tensión o potencial máximo del electrodo del sistema de puesta a tierra con respecto a suelo lejano para el nivel máximo de corriente dependiendo del tipo

de señal de corriente de medida o ensayo y sus coordenadas ( $\pm x_0, \pm y_0, -z_0$ ) o ubicación en el electrodo de éste máximo punto de tensión o potencial eléctrico. Posteriormente, se procede a calcular en la dirección radial hacia el punto probable de ubicación del electrodo de corriente de medida de la impedancia de puesta a tierra, gradualmente desde el punto ( $\pm x_0, \pm y_0, -z_0$ ), la tensión del electrodo con respecto a tierra lejana para el valor de corriente dado, con incrementos de 1 metro respecto al punto anterior de cálculo. Se realiza un gráfico de la tensión del electrodo con respecto a suelo lejano en función de la distancia desde el punto ( $\pm x_0, \pm y_0, -z_0$ ), si se desea visualizar la tendencia de los resultados. Cuando se alcance un valor calculado de tensión del electrodo con respecto a suelo lejano, inferior a un porcentaje prefijado, por ejemplo 0,01 a 0,1 % de la tensión máxima a la corriente dada, allí se ubicará el punto ( $\pm x_{sl}, \pm y_{sl}, 0$ ) de inicio de la zona del suelo lejano o tierra lejana en esa dirección de medida. El punto ( $\pm x_{sl}, \pm y_{sl}, 0$ ) determina el inicio de la zona plana solicitada por el método de caída de potencial de la función impedancia de puesta a tierra en dependencia de la distancia, en dirección radial al punto de máximo potencial del electrodo (y no desde el punto periférico del electrodo, como se ha mantenido este paradigma en la literatura actual).

En aplicaciones de la medida de impedancias de puesta a tierra por el método de la caída de potencial con los electrodos de potencial y de corriente en iguales direcciones, por ejemplo, en el punto ( $\pm x_{sl}, \pm y_{sl}, 0$ ), se podrá ubicar inicialmente el electrodo de potencial, donde se tendrá el valor de la impedancia esperada inicial en esa dirección, en este punto se presenta el primer cambio de la curvatura de la función de impedancia de puesta a tierra en función de la distancia, calculada a partir de la división de la tensión calculada en la corriente de medida, siempre y cuando este punto se encuentre alejado de la zona de influencia eléctrica del electrodo de corriente al conducir la corriente de medida, que es del mismo modo calculable en dirección inversa a la ruta de cálculo inicial. Adicionalmente, este criterio es aplicable a la medida de impedancias de puesta a tierra por el método de la caída de potencial con los electrodos de potencial y de corriente en diferentes direcciones y no necesariamente a 180 °.

#### **4. PROBLEMAS GENERALES RELATIVOS A LAS MEDICIONES**

##### Complejidad

Simular o calcular previo a las mediciones, la incidencia de las masas metálicas embebidas en el suelo, ubicadas bajo el área eléctrica propia del electrodo y la zona de influencia de la ubicación de los electrodos de corriente en zonas de suelo lejano o tierra lejana, sobre los diferentes parámetros de los sistemas de puesta a tierra, especialmente de los electrodos de puesta a tierra, tales como la resistividad eléctrica del suelo, la impedancia de puesta a tierra y potenciales de malla, máximos, de contacto y de paso, cuando se tienen electrodos en áreas con gran polución de construcciones de diferente tipo a su alrededor.

En el caso de corrientes circulantes en el suelo (“stray”), se deben inicialmente tomar los registros previos o medir sus magnitudes, tipos de onda y polaridades, y posteriormente calcular los diferentes potenciales y efectos mutuos, en la configuración de equipos y cableados probables de medida, con el objeto de seleccionar los equipos, la configuración final de medida y los aditamentos de seguridad de protección de la integridad de los actores propios o externos durante las acciones de mediciones eléctricas.

Simular la variación posterior temporal de los valores medidos de impedancias de puesta a tierra y otros parámetros, con respecto a suelo lejano, en función de la porosidad o compactación, la humedad, la temperatura, factores de corrosión, etc., dependiendo de modelos analíticos fiables disponibles según las dimensiones del electrodo del sistema de puesta a tierra.

### Electrodos de ensayo

Calcular la impedancia de puesta a tierra con respecto a suelo lejano o tierra lejana de los electrodos de potencial, de corriente, de contacto y de paso, a fin de calcular la corriente que circulará a futuro por el circuito del electrodo del sistema de puesta a tierra y el electrodo de corriente a ser ubicado en suelo lejano. La magnitud de la impedancia de los electrodos de medida se precalcula a partir de datos de resistividad de suelos y la configuración de electrodos de medida.

Con la magnitud de la corriente calculada de ensayo, se podrá definir si se reducen los valores de impedancias de puesta a tierra de los electrodos de medida, la tensión de la fuente de medida, las dimensiones de los equipos, la sensibilidad de equipos, la sección de los cableados, se puede comparar con las magnitudes de las corrientes circulantes por el suelo con sus posibles efectos en la selección de la magnitud – forma de onda - polaridad y frecuencia de la fuente de corriente de medida, posible necesidad de implementación de filtros en los circuitos de medida, los elementos de protección, de seguridad respecto a los potenciales de los electrodos de medida, de seguridad respecto a los potenciales de los cableados, la metodología de las mediciones, etc.

### Componentes reactivas

Los modelos de simulación de precálculo a las acciones de medición, en su forma más refinada, deben implementar modelos adecuados que consideren las componentes resistivas, inductivas y capacitivas de las impedancias involucradas. Lo cual significa una gran complejidad y alejamiento de los modelos simplificados resistivos normales, con el objeto de disponer de información con mayor confiabilidad en las interpretaciones de los fenómenos reales previos y posteriores, involucrados en las acciones de las mediciones. Podemos citar, entre la gran cantidad fenómenos, los efectos de las frecuencias y amplitudes mínimas de las señales de las fuentes de medida y los acoplamientos electromagnéticos entre puntas de prueba de tensión a causa de la circulación de corriente de medida en las puntas de prueba de corriente, que son apreciables en electrodos de grandes dimensiones geométricas con magnitudes de impedancias de puesta a tierra cercanas a 1

ohmio y menores a 10 ohmios, lo cual puede ser controlado por medio de adecuados enrutamientos de los cableados de las puntas de prueba y / o la disposición de un máximo ángulo entre las direcciones de los cableados de potencial y corriente.

## 5. RESISTIVIDAD DEL SUELO

Para ambos métodos, método de los cuatro puntos de igual espaciamento o de Wenner o de los cuatro puntos de desiguales espaciamentos o de Schlumberger – Palmer, especialmente en áreas de gran polución de construcciones alrededor del sitio de construcción del sistema de puesta a tierra, se sugiere simular el comportamiento de los potenciales con respecto a suelo lejano para el conjunto de electrodos de potencial y de corriente, con un modelo de resistividad conocido de las estratigrafías del área de interés, considerando la incidencia de masas metálicas embebidas en el suelo, con el objeto de precalcular la respuesta a un tipo de señal dada de la fuente de alimentación en las medidas de resistividad de suelos y poder seleccionar la magnitud de la corriente de prueba, las mejores configuraciones de los equipos de medida, las direcciones adecuadas, la ubicación final de los electrodos de medida y sus distancias de espaciado o distancias interelectrodos.

## 6. IMPEDANCIA DE PUESTA A TIERRA

Como se ha adelantado en los precálculos para la determinación del inicio de la zona denominada suelo lejano o tierra lejana, se requieren herramientas de simulación digital detalladas de las tensiones o potenciales del electrodo en función de la distancia radial en dirección al máximo potencial del electrodo, con el objeto de conocer el punto de inicio de la zona del suelo lejano o tierra lejana.

En aplicaciones de la medida de impedancias de puesta a tierra por el método de la caída de potencial con los electrodos de potencial y de corriente en iguales direcciones, por ejemplo, en el punto  $(\pm x_{sl}, \pm y_{sl}, 0)$ , se podrá ubicar inicialmente el electrodo de potencial, donde se tendrá el valor de la impedancia esperada inicial en esa dirección, en este punto se presenta el primer cambio de la curvatura de la función de impedancia de puesta a tierra en función de la distancia, calculada a partir de la división de las magnitudes de la tensión calculada en la corriente de medida, siempre y cuando este punto se encuentre alejado de la zona de influencia eléctrica del electrodo de corriente al conducir la corriente de medida, que es del mismo modo calculable en dirección inversa a la ruta de cálculo inicial. Adicionalmente, este criterio es aplicable a la medida de impedancias de puesta a tierra por el método de la caída de potencial con los electrodos de potencial y de corriente en diferentes direcciones y no necesariamente a  $180^\circ$ .

El efecto de masas metálicas enterradas bajo suelo en la impedancia de puesta a tierra, en la zona de influencia eléctrica del electrodo, se puede precalcular, lo

cual permitirá mejorar las acciones de medición de la impedancia de puesta a tierra y su interpretación.

Las impedancias mutuas pueden ser precalculadas y reconfigurar el sistema de medida, hasta lograr su reducción a los mínimos valores posibles.

## **7. TENSION MAXIMA DEL ELECTRODO**

En el ítem de precálculo de las tensiones máximas del electrodo, se ha descrito la metodología a seguir en la determinación de las máximas tensiones o potenciales máximos con respecto a suelo lejano, para electrodos existentes o nuevos, utilizando métodos aproximados o detallados en función de la distancia.

Las tensiones o potenciales máximos pueden ser precalculados sobre la superficie del suelo o en proximidad a la superficie exterior de los conductores del electrodo del sistema de puesta a tierra embebidos en el suelo, para diferentes puntos de interés (estos últimos de uso en las consideraciones de los potenciales transferidos máximos), con la determinación de las coordenadas de su ubicación espacial.

El efecto de masas metálicas enterradas bajo suelo en la tensión máxima del electrodo u otros potenciales, en la zona de influencia eléctrica del electrodo, se puede precalcular, lo cual permitirá mejorar las acciones de medición de la tensión máxima del electrodo u otros potenciales, analizando el efecto conservativo en los resultados y su interpretación.

Para diferentes niveles de corrientes de falla a tierra, localizados en diferentes puntos, se deben precalcular las tensiones máximas del electrodo, con el objeto de conocer la incidencia de su variación con la ubicación de los puntos de inyección de corriente al electrodo de puesta a tierra y magnitudes de corriente.

## **8. TENSION DE CONTACTO**

En el ítem de precálculo de las tensiones máximas del electrodo, se ha descrito la metodología a seguir en la determinación de las máximas tensiones o potenciales máximos con respecto a suelo lejano, para electrodos existentes o nuevos, utilizando métodos aproximados o detallados en función de la distancia.

Los métodos aproximados o simplificados determinan las tensiones o potenciales en las esquinas (o las esquinas de los electrodos son los puntos de referencia de localización de las tensiones de contacto o de toque). Utilizando los métodos de cálculo generalizados o detallados, en función de las distancias, de la respuesta o comportamiento de electrodos ante corrientes normales o transitorias, se trazan rutas a lo largo de los ejes de interés sobre la superficie del suelo del electrodo (longitudinal y transversalmente) y se procede a calcular las tensiones de contacto o de toque a lo largo de cada ruta. En los puntos, a lo largo de las rutas seleccionadas, donde se esté próximo a rebasar los máximos



niveles de soportabilidad de las máximas tensiones tolerables de contacto o de toque, se consideraran sus coordenadas previamente determinadas, para la verificación por medio de mediciones de las tensiones de contacto o de toque el no rebosamiento de los niveles máximos de soportabilidad ante tensiones de contacto o de toque para los puntos con las coordenadas precalculadas.

En otros puntos de interés, tal como en proximidad a equipos puestos a tierra, rieles, bajantes, cárcamos, zonas de accesos peatonales, contorno periférico, etc., se precalculan las tensiones de contacto o de toque y posteriormente se verifica por medio de mediciones eléctricas el no rebosamiento de los niveles máximos de soportabilidad ante tensiones de contacto o de toque.

Puntos adicionales, pueden ser seleccionados, a fin de precalcular las tensiones de contacto o de toque y su verificación posterior en las mediciones, según criterios de los aspectos normativos o reglamentados o de interés de los actores del diseño, medición y operación de los sistemas de puesta a tierra.

Otro paradigma, que se cuestiona, es la medición de las tensiones de contacto sólo en los accesos y sector periférico, ya que con esta metodología se pueden analizar las tensiones de contacto en los puntos críticos o de interés y adicionalmente en los sectores de los accesos y periféricos.

El efecto de masas metálicas enterradas bajo suelo en la tensión de contacto o de toque, en la zona de influencia eléctrica del electrodo, se puede precalcular, lo cual permitirá mejorar las acciones de medición de la tensión de contacto o de toque y su interpretación.

Para diferentes niveles de corrientes de falla a tierra, localizados en diferentes puntos, se deben precalcular las tensiones de contacto o de toque, con el objeto de conocer la incidencia de su variación con la ubicación de los puntos de inyección de corriente al electrodo de puesta a tierra y magnitudes de corriente.

## **9. TENSION DE PASO**

En el ítem de precálculo de las tensiones máximas del electrodo, se ha descrito la metodología a seguir en la determinación de las máximas tensiones o potenciales máximos con respecto a suelo lejano, para electrodos existentes o nuevos, utilizando métodos aproximados o detallados en función de la distancia.

Los métodos aproximados o simplificados determinan las tensiones o potenciales de paso en las esquinas, o las esquinas de los electrodos son los puntos de referencia de localización de las tensiones de paso. Utilizando los métodos de cálculo generalizados o detallados, en función de las distancias, de la respuesta o comportamiento de electrodos ante corrientes normales o transitorias, se trazan rutas a lo largo de los ejes de interés sobre la superficie del suelo del electrodo y se procede a calcular las tensiones de paso a lo largo de cada ruta. En los puntos, a lo largo de las rutas seleccionadas, donde se esté próximo a rebasar los máximos niveles de soportabilidad de las máximas

tensiones tolerables de paso, se consideraran sus coordenadas previamente determinadas, para la verificación por medio de mediciones de las tensiones de paso el no rebosamiento de los niveles máximos de soportabilidad ante tensiones de paso para los puntos con las coordenadas precalculadas.

En otros puntos de interés, tal como en proximidad a equipos puestos a tierra, rieles, bajantes, cárcamos, zonas de accesos peatonales, contorno periférico, etc., se precalculan las tensiones de paso y posteriormente se verifica por medio de mediciones eléctricas el no rebosamiento de los niveles máximos de soportabilidad ante tensiones de paso.

Puntos adicionales, pueden ser seleccionados, a fin de precalcular las tensiones de paso y su verificación posterior en las mediciones, según criterios de los aspectos normativos o reglamentados o de interés de los actores del diseño, medición y operación de los sistemas de puesta a tierra.

Otro paradigma, que se cuestiona, es la medición de las tensiones de paso sólo en los accesos y sector periférico, ya que con esta metodología se pueden analizar las tensiones de paso en los puntos críticos o de interés y adicionalmente en los sectores de los accesos y periféricos.

El efecto de masas metálicas enterradas bajo suelo en la tensión de paso, en la zona de influencia eléctrica del electrodo, se puede precalcular, lo cual permitirá mejorar las acciones de medición de la tensión de paso y su interpretación.

Para diferentes niveles de corrientes de falla a tierra, localizados en diferentes puntos, se deben precalcular las tensiones de paso, con el objeto de conocer la incidencia de su variación con la ubicación de los puntos de inyección de corriente al electrodo de puesta a tierra y magnitudes de corriente.

## **10. PRUEBA DE INTEGRIDAD O DE EQUIPOTENCIALIDAD**

Siguiendo la metodología generalizada del cálculo de las tensiones máximas y sus coordenadas de ubicación, se pueden precalcular las coordenadas de ubicación y las magnitudes de tensiones o diferencias de potencial con respecto a suelo lejano en las superficies de los conductores horizontales o verticales.

Con estas magnitudes de tensiones superficiales de los conductores, se procede a precalcular las diferencias de tensión entre los diferentes puntos en los cuales se va a evaluar la resistencia de equipotencialidad o realizar las pruebas de integridad del sistema de puesta a tierra. La resta de las magnitudes de las tensiones superficiales de los conductores entre los puntos seleccionados y prefijados por las coordenadas y su división matemática por la magnitud de la corriente de precálculo, nos determina la impedancia existente entre los dos puntos, que por simplificación se asume igual a la resistencia eléctrica entre los dos puntos determinados para las coordenadas predeterminadas o establecidas. La suposición anterior, en el contexto citado,

magnitud de la resistencia igual a la magnitud de la impedancia, es claro, que la medida debe realizarse utilizando el tipo de señal considerada en el precálculo de las tensiones superficiales en los conductores y realizar las apreciaciones necesarias para la no consideración de la componente reactiva de la impedancia calculada.

El efecto de masas metálicas enterradas bajo suelo en la impedancia de equipotencialidad, en la zona de influencia eléctrica del electrodo, se puede precalcular, lo cual permitirá mejorar las acciones de medición de la impedancia de equipotencialidad y su interpretación.

Otro método para la determinación anticipada aproximada de las medidas de equipotencialidad o pruebas de integridad del sistema de puesta a tierra, consiste en precalcular la resistencia (o impedancia) resultante de thevenin por el método de reducción de redes de resistencias (o impedancias), pero involucrando los efectos de la propagación de señales de corriente en cada uno de los conductores enterrados o bajo suelo, la resistividad eléctrica del material de los conductores, el diámetro de los conductores, etc.

---