



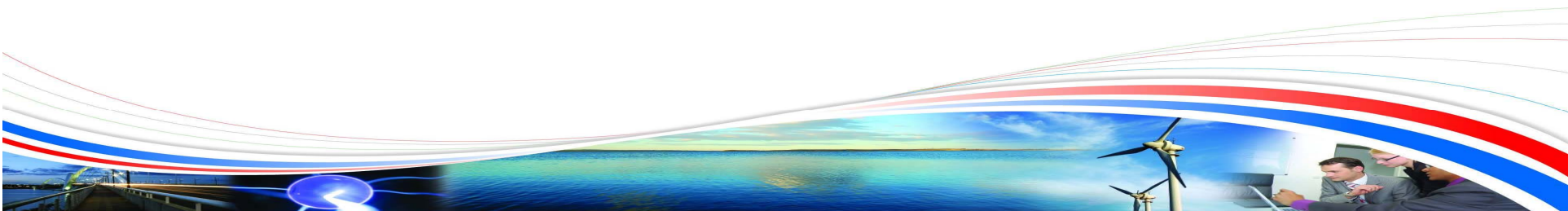
INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN RETIE

Módulo III

Sistemas de Puesta a Tierra PARTE III Resistencia de puesta a tierra

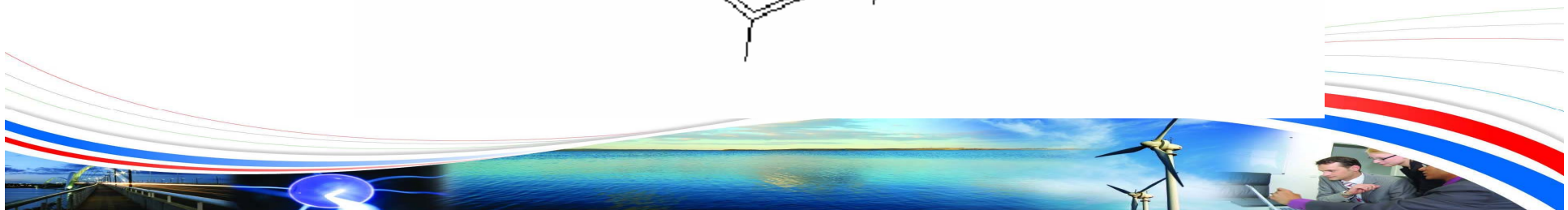
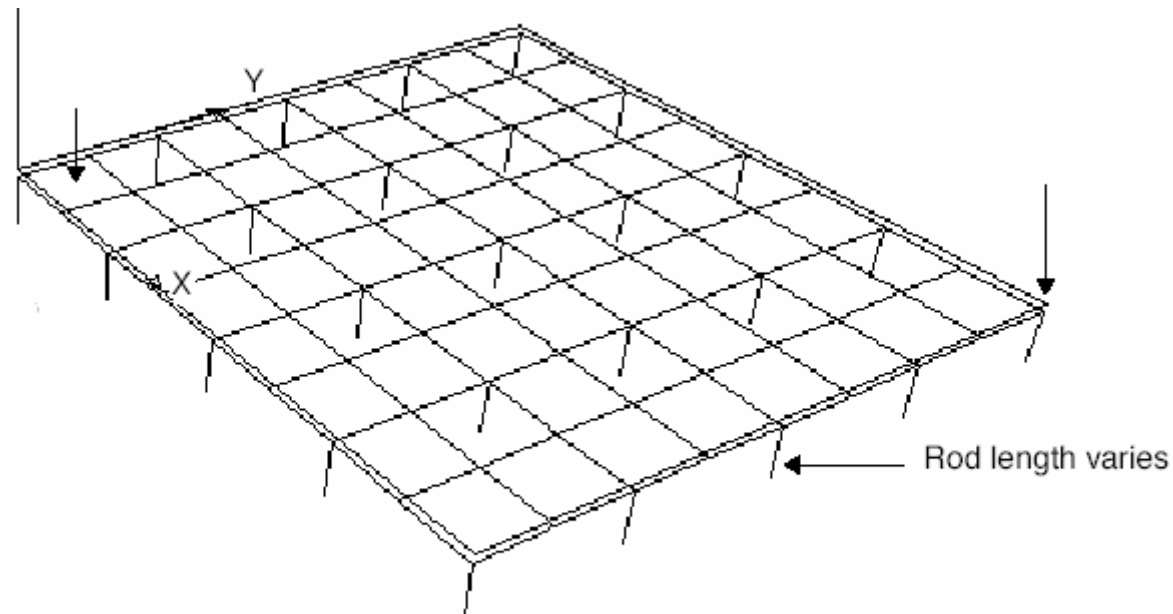
Conferencista:

Iván Giraldo Ardila



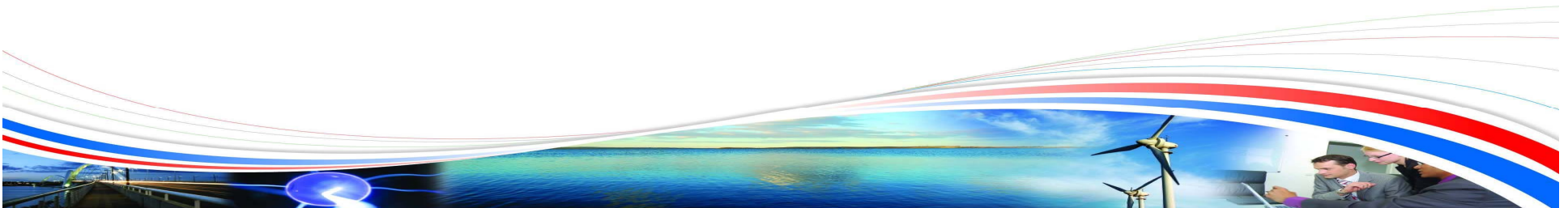
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Con base en la **normatividad** recomendada se indica como se **mide** una resistencia de puesta a tierra, cuales son los **métodos** mas utilizados, como se **interpretan** y que consideraciones se deben tener en cuenta antes de realizar una medida



RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La adecuada y **correcta** medida de un sistema de puesta a tierra es una tarea **fundamental**, por razones de inspección, verificación y mantenimiento, es importante que las medidas de resistencia de puesta a tierra se lleven a cabo de una forma **confiable** y precisa, por lo que la metodología de medición debe efectuarse siguiendo cuidadosamente las recomendaciones de las normas aplicables.



RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La Figura 1 muestra un sistema de puesta a tierra **típico**, que está conformado por la malla de tierra de la subestación unida con las puestas a tierra de las torres del sistema de transmisión o distribución (también se pueden encontrar puestas a tierra de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, puestas a tierra de sistemas electrónicos, etc).

Al aplicar los métodos tradicionales de medición se está tomando todo el **sistema completo**, es decir, el **paralelo** de todas las puestas a tierra asociadas a este sistema. Se puede comprobar el valor de la resistencia del sistema completo pero no el valor individual de cada puesta a tierra.



RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

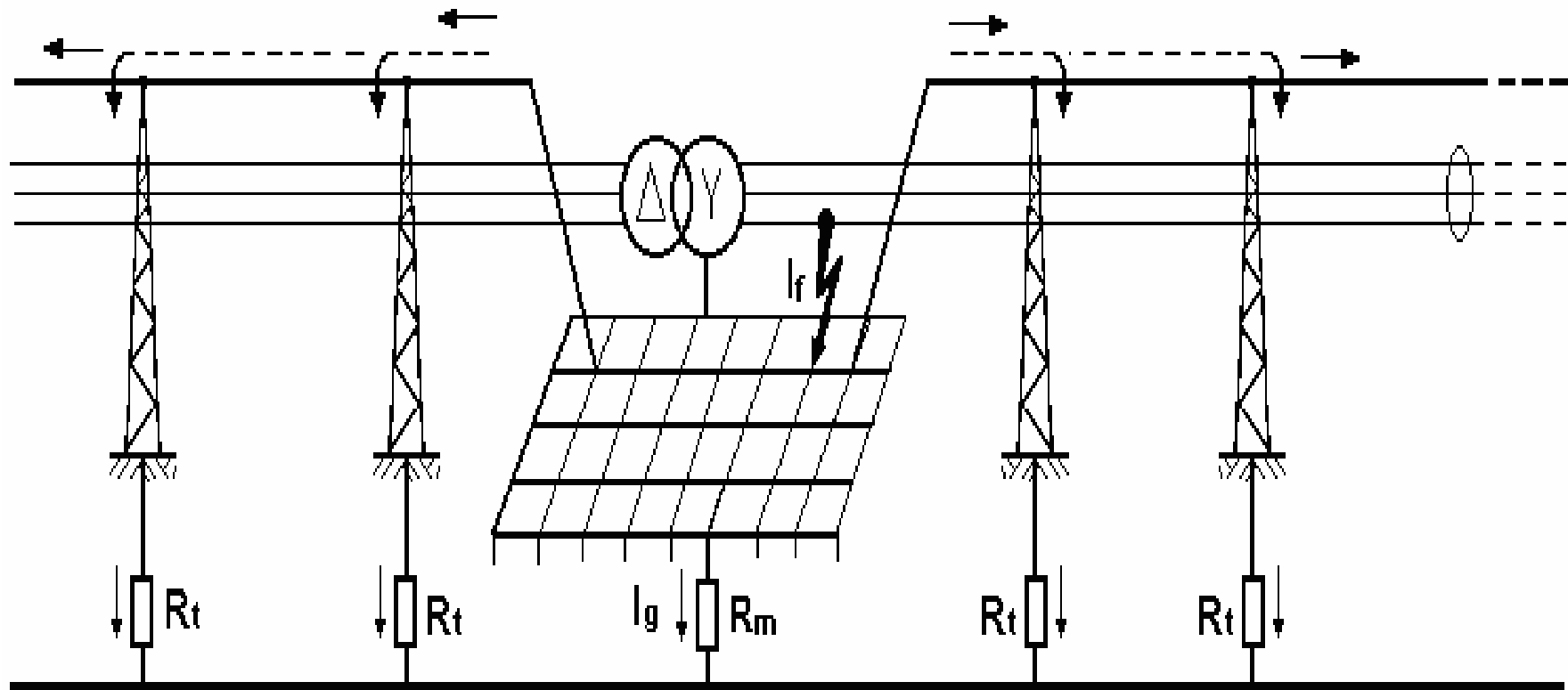


Figura 1. Sistema de puesta a tierra típico

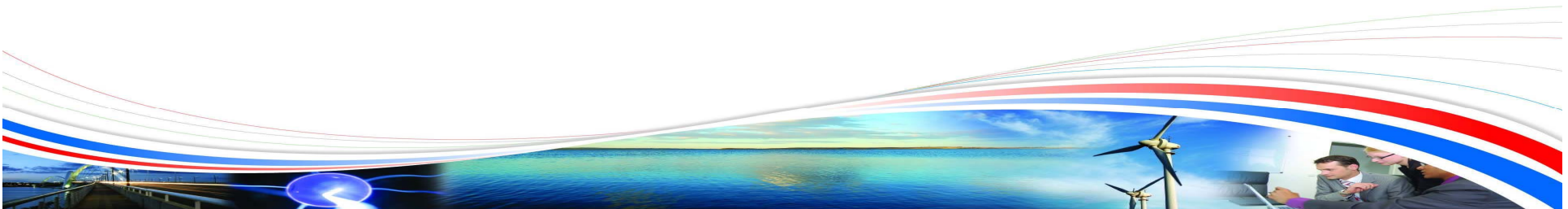
RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA



Para determinar si la resistencia de algún sistema de puesta a tierra no es el adecuado se deben aplicar los métodos que se describen mas adelante.

NORMA

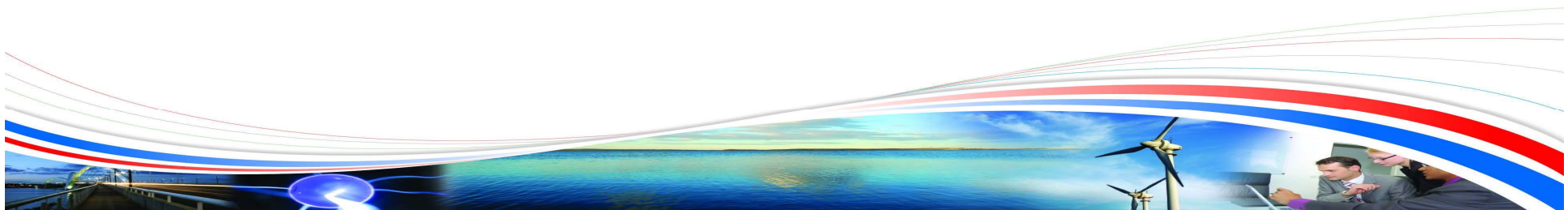
ANSI/IEEE Std.81 “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”.



QUÉ ES LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

Como vimos en las definiciones la **tierra** es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por la cual un circuito eléctrico o equipo es conectado a la tierra o a un cuerpo conductor de tamaño relativamente grande que sirve en lugar de la tierra.

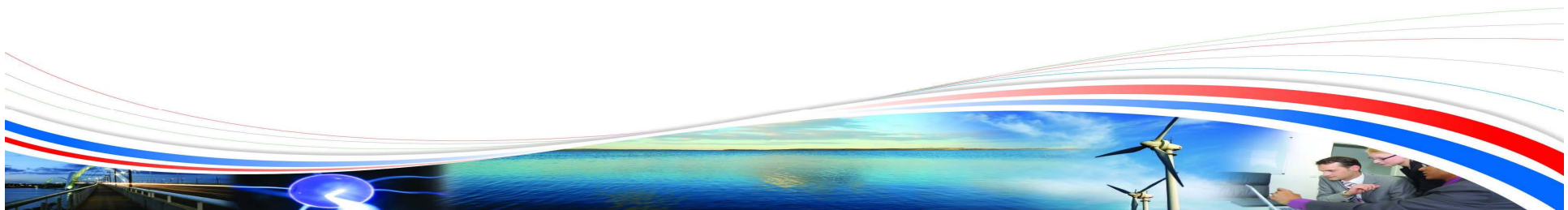
La **mall de tierra** es el sistema de electrodos de tierra horizontales que consiste en un número de conductores desnudos interconectados y enterrados en la tierra, proporcionando una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, usualmente en un lugar específico.



QUÉ ES LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

Un sistema de tierra ideal debe tener una **resistencia** con respecto a la tierra remota cerca de cero. La unidad de medida de una resistencia de puesta a tierra es en **Ohmios (Ω)**.

Como se indica en el artículo 15 “Puestas a tierra”, en razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas (por eso es importante que el valor sea bajo) se pueden tomar los siguientes valores máximos de resistencia de puesta a tierra adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050, NTC 4552.



QUÉ ES LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

Tabla 1. Valores máximos de resistencia de puesta a tierra

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (Ω)
Estructuras de líneas de transmisión	20 Ω
Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión	25 Ω

QUÉ ES LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

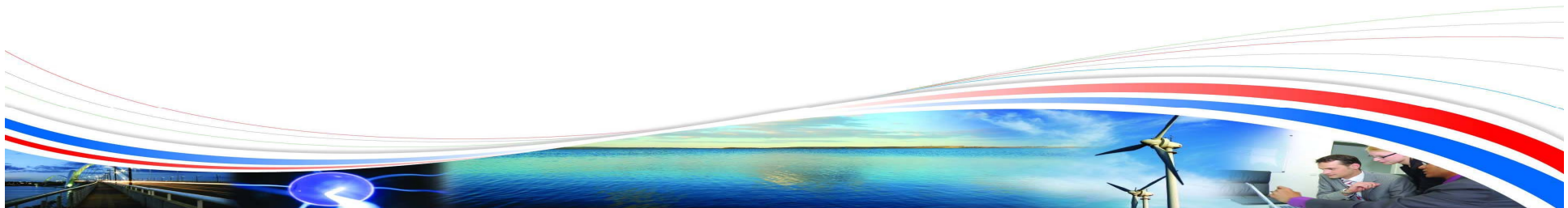
De acuerdo con el artículo 8 “Clasificación de los niveles de tensión en corriente alterna” del RETIE se fijan los siguientes niveles de tensión, establecidos en la norma NTC 1340, así:

Extra alta tensión (EAT): tensiones superiores a 230 kV

Alta Tensión (AT): Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.

Media Tensión (MT): Tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.

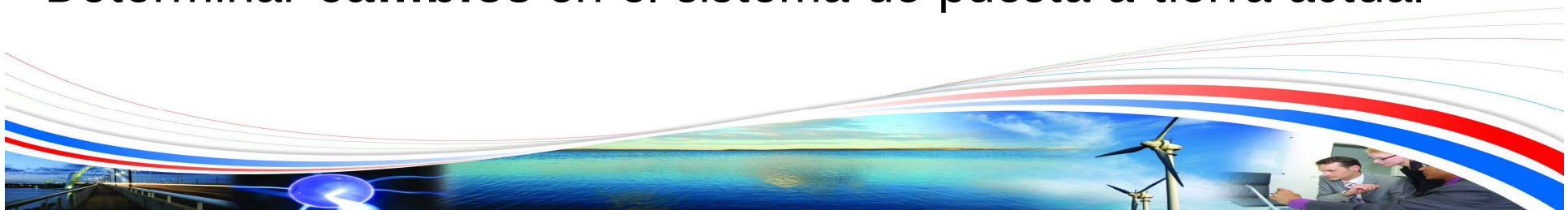
Baja Tensión (BT): Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.



POR QUÉ SE DEBE MEDIR LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

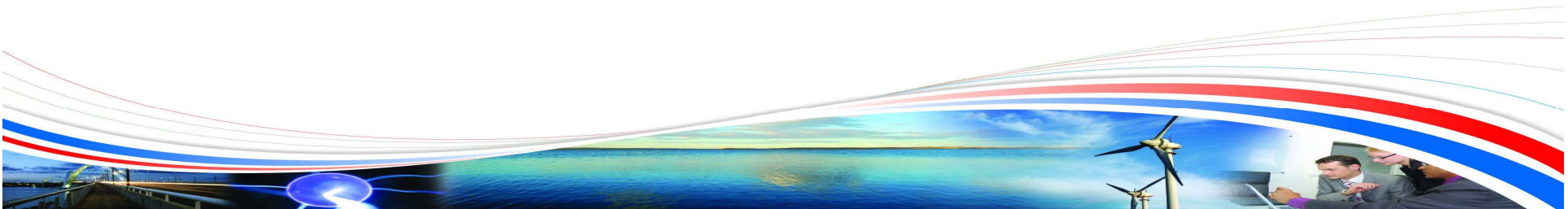
La medición de la resistencia o impedancia de puesta a tierra así como los potenciales que se puedan generar en la superficie de la tierra debido a corrientes de tierra es necesaria por diferentes razones, entre ellas:

- Determinar la **resistencia actual** de las conexiones a tierra
- Verificar la **necesidad** de un nuevo sistema de puesta a tierra.
- Determinar **cambios** en el sistema de puesta a tierra actual



POR QUÉ SE DEBE MEDIR LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA?

- Se **verifica** si es posible o no **incorporar** nuevos equipos o utilizar el mismo sistema de puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas y otros.
- Determinar los valores de **voltajes** de paso, toque y transferidos y su posible aumento que resulta de una corriente de falla en el sistema.
- Diseñar **protecciones** para el personal y los circuitos de potencia y comunicación.

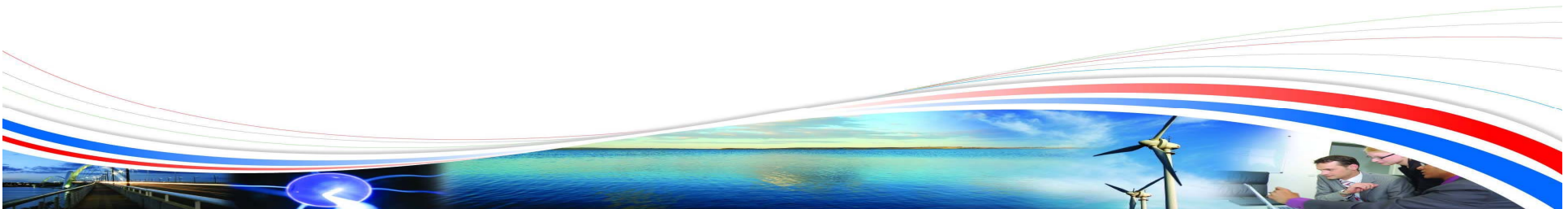


EQUIPOS DE MEDIDA

Primero que todo se necesita el equipo adecuado.

Se necesita preferiblemente un telurómetro de 4 terminales, con los de 3 solo sirven para medir resistencia de puesta a tierra.

En lo posible se debe utilizar un **telurómetro digital** de cuatro terminales, el cual inyecta una corriente del orden de miliamperios con una frecuencia no múltiplo de 60 Hz, adicionalmente es conveniente que el equipo cuente con indicadores de ruido eléctrico y verificación de las conexiones de la medida, de forma que entregue un valor medido de alta confiabilidad.



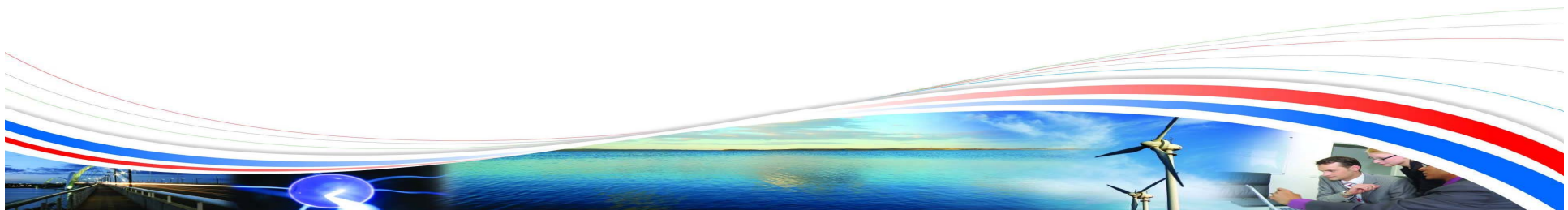
EQUIPOS DE MEDIDA

Los equipos de cuatro terminales permiten medir **resistividad** y **resistencia** de puesta a tierra por los métodos de caída de potencial y suma de resistencias.

Equipos de última generación permiten llevar a cabo mediciones de resistencia de tierra usando varios métodos diferentes. Se puede medir la resistencia total o la resistencia parcial (individual) en sistemas integrados de puestas a tierra.

Hay muchas marcas y referencias de equipos para medir resistencias de puesta a tierra, hay equipos marca AEMC, marca METREL, marca AVO, marca LEM, etc.

Estos equipos entregan directamente el valor de resistencia.



EQUIPOS DE MEDIDA

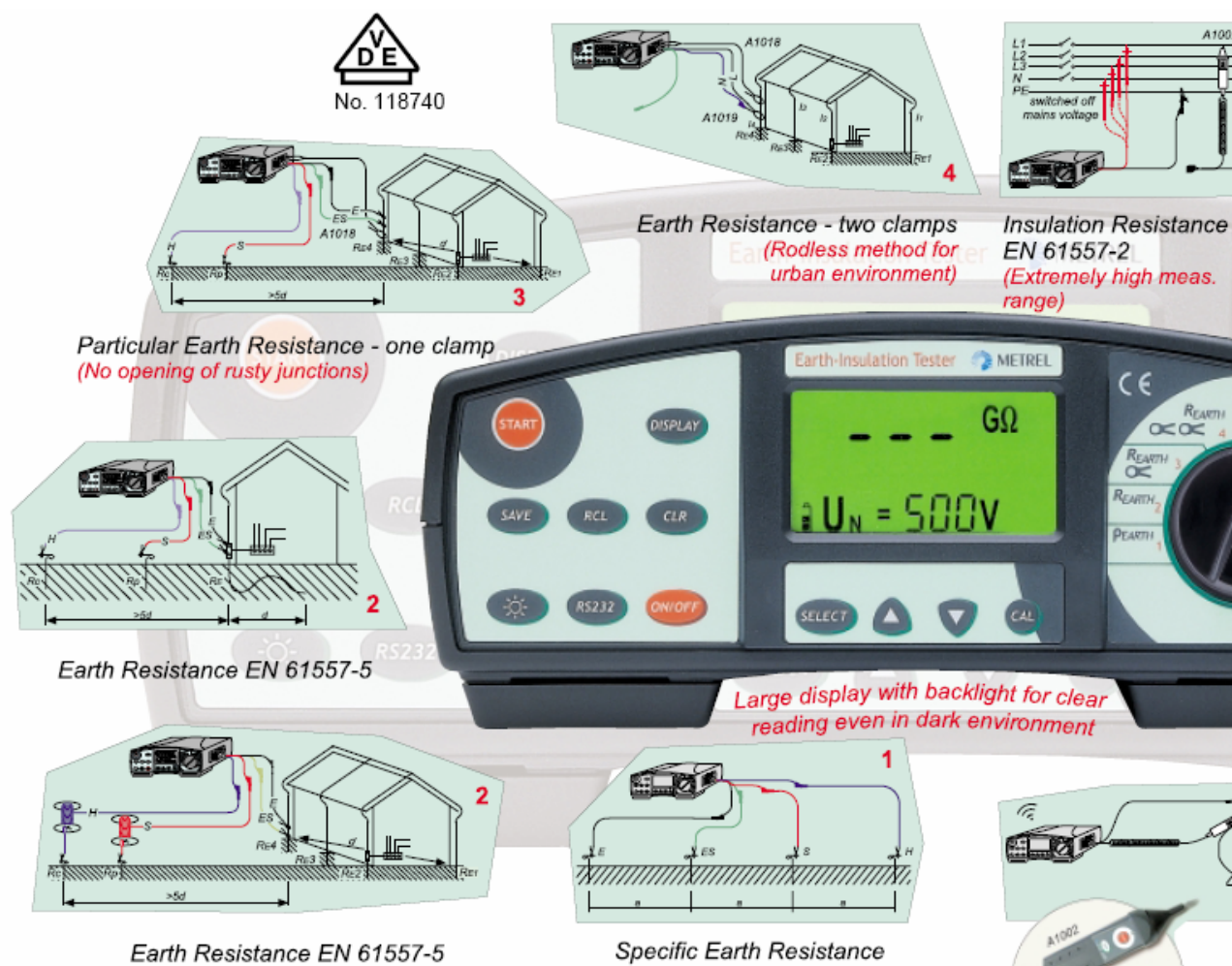
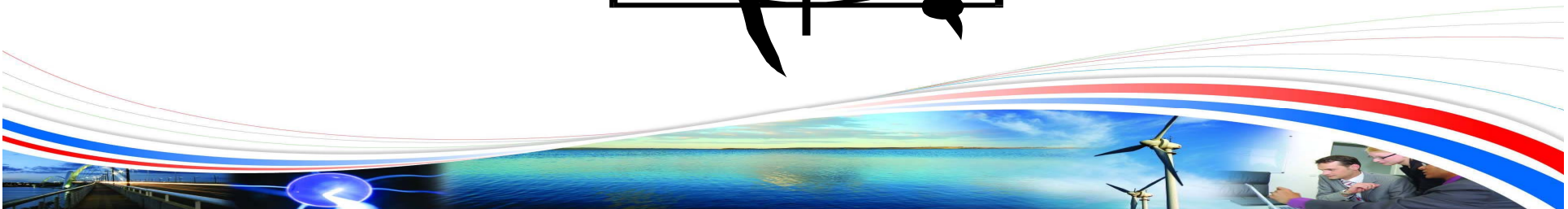
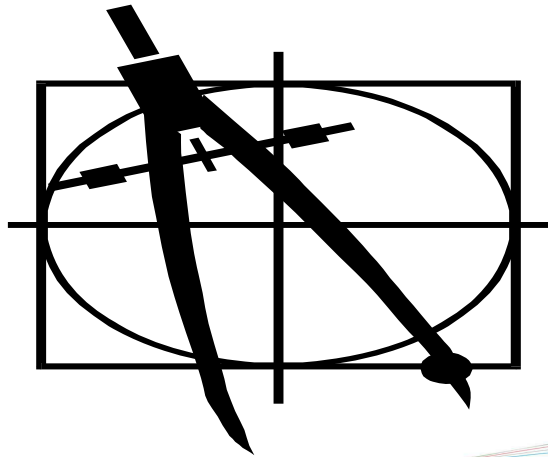


Figura 2. Telurómetro METREL MI 2088

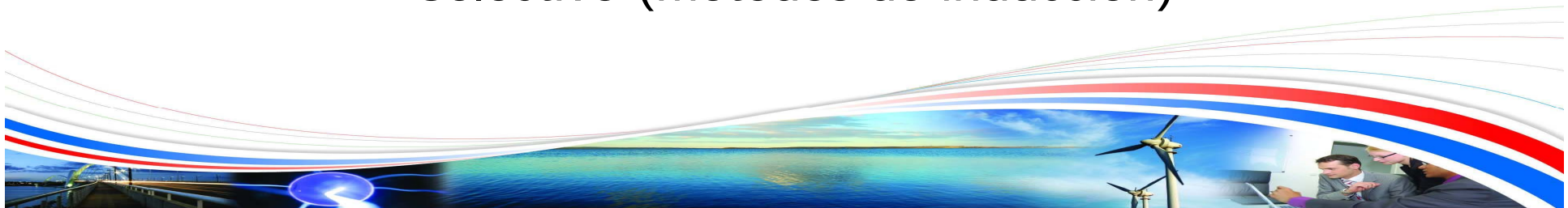
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Con el fin de evaluar la resistencia de un sistema de puesta a tierra existen, entre otras, dos metodologías recomendadas por la norma ANSI/IEEE Std 81 y una metodología de medición con telurómetros con pinzas de puesta a tierra o pinzas de puesta a tierra individuales.



MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

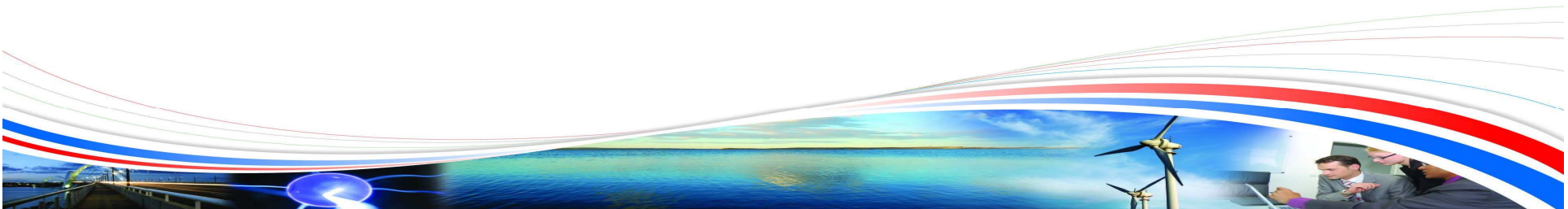
- De la curva de la caída de potencial
 - De la regla del 62%
 - De las dos resistencias
 - De las tres resistencias
 - De la pendiente
- De los cuatro potenciales o de Tagg
 - De intersección de curvas
 - De triangulación o de Nippold
 - Por corriente inyectada
 - Por tensión inducida
- Selectivo (métodos de inducción)



MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

Como observamos, existen **varios métodos** para medir la impedancia de una malla de tierra ya construida. Uno de los métodos más utilizados es el de **caída de tensión** y es el indicado en el numeral 5.2 “Medición de resistencia de puesta a tierra” del artículo 15 del RETIE.

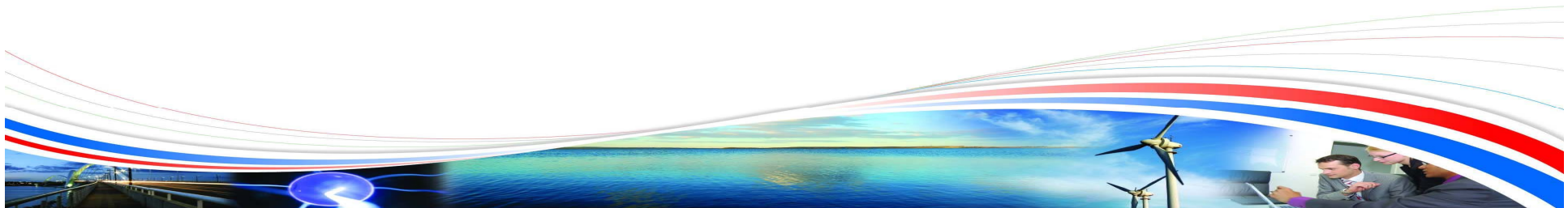
El método se basa en hacer **circular** una **corriente** I entre un electrodo auxiliar de corriente y la malla de tierra, y se **analiza** la **caída de tensión** V que se produce entre un electrodo auxiliar de tensión y la malla de tierra.



MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

En la Figura 3 se aprecia el montaje en donde el **terminal X** corresponde a la **mall de tierra** y los **terminales Y y Z** corresponden a los **electrodos** auxiliares de **potencial** y de **corriente** respectivamente.

La distancia **D** corresponde a la **separación** entre la malla de tierra y el electrodo auxiliar de corriente Z, y la distancia H corresponde a la distancia entre la malla de tierra X y el electrodo auxiliar de tensión Y.



MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

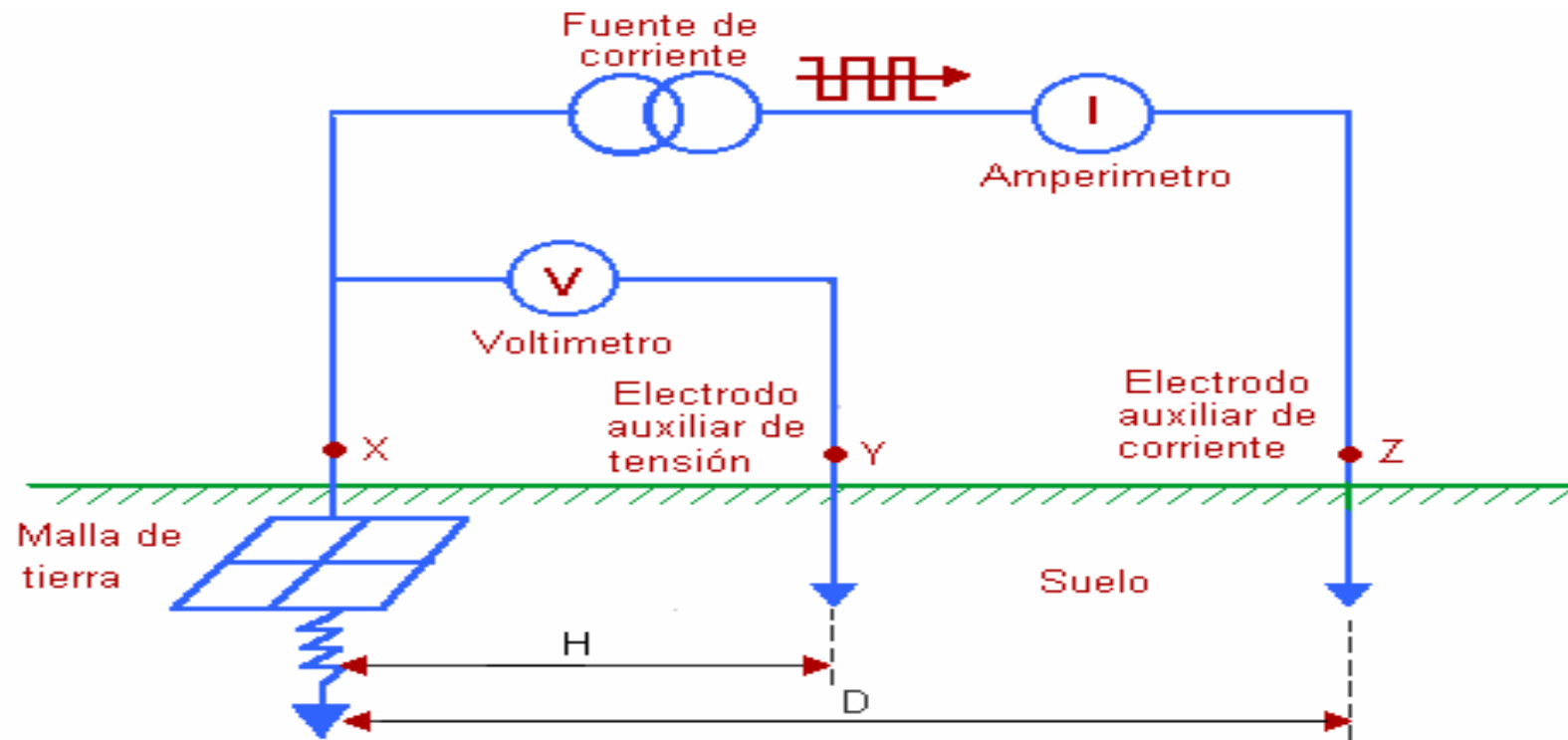
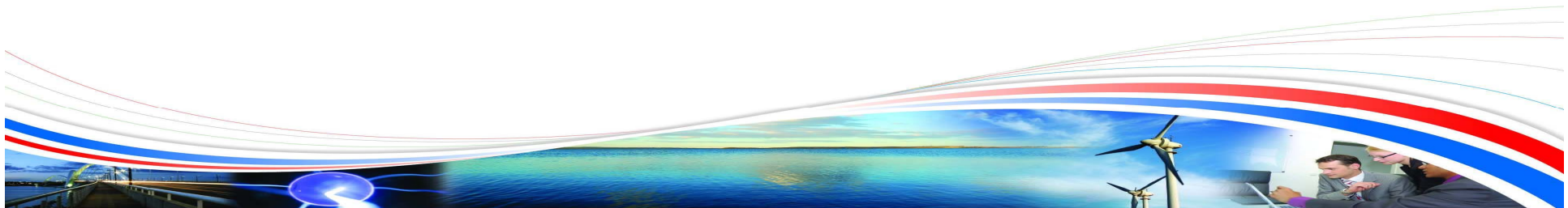


Figura 3. Método de la caída de potencial

MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

El método consiste en **desplazar** el electrodo **Y** en la dirección **XZ** y elaborar la gráfica de la **relación $V/I = R$** en función de la distancia **H** como se aprecia en la Figura 4.

Se observa en la curva una **región plana** que corresponde al valor de la resistencia de puesta a tierra de la malla medida; esta área plana por lo general se localiza cuando la distancia **H** equivale al **62 %** de la distancia **D**.



MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

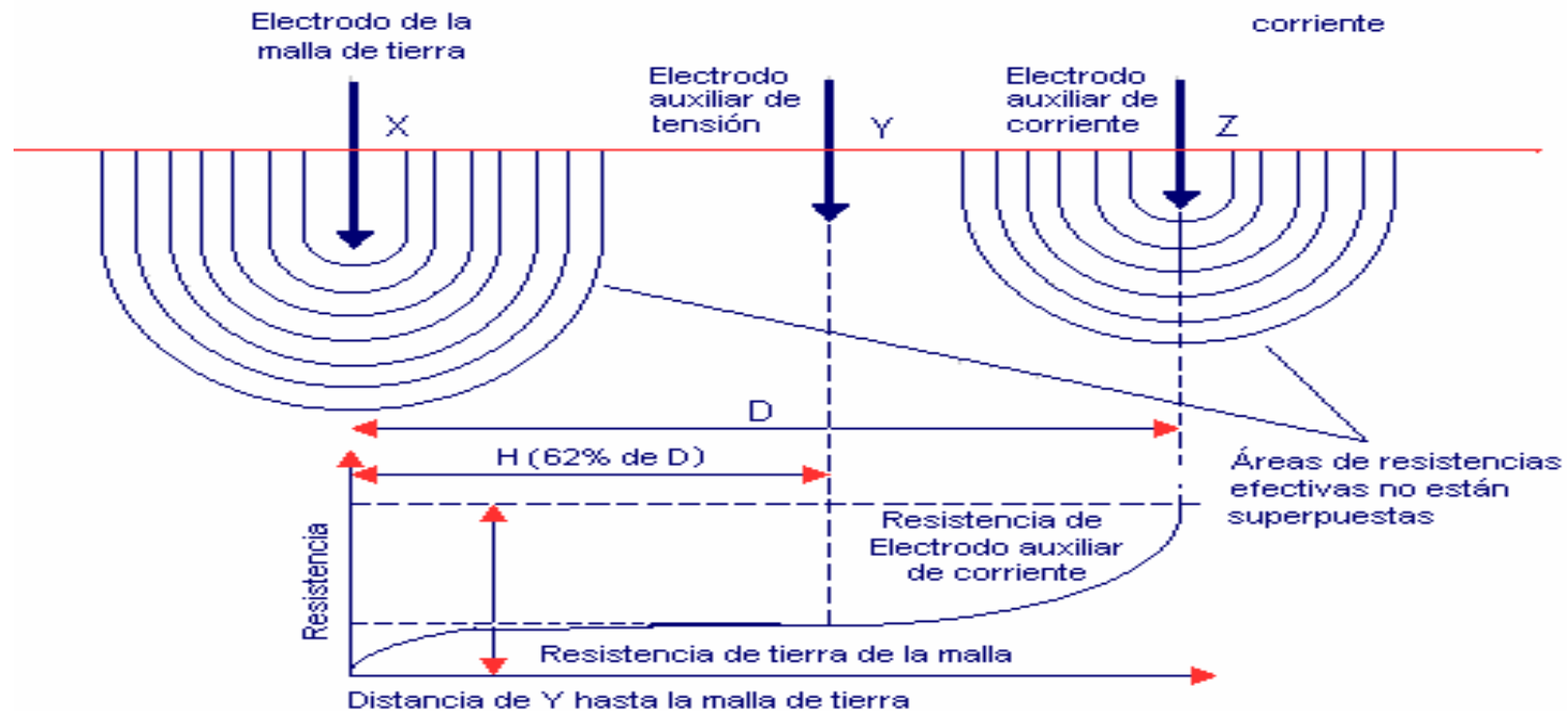


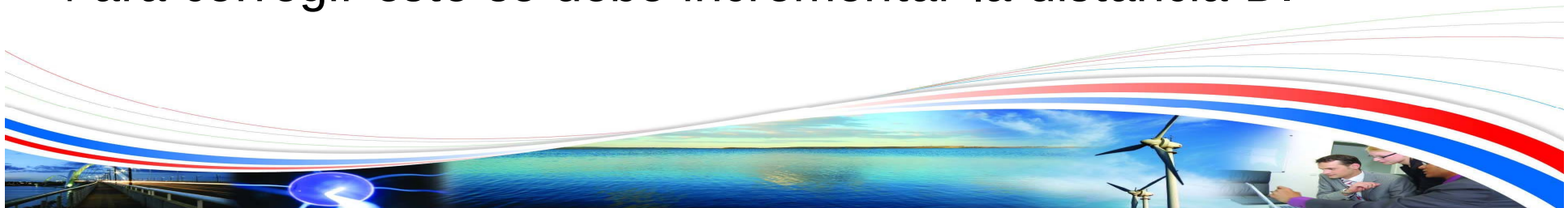
Figura 4. Método de caída de potencial - Curva obtenida.

MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

Para obtener esta región plana en la curva se requiere que la **distancia D** sea lo suficiente mente **grande** para que el electrodo auxiliar de corriente este **fuera** del área influencia de la malla de tierra, por lo general la distancia D equivale a 3 ó 4 veces del tamaño longitudinal de la malla medida. Según el RETIE 6,5 veces la mayor dimensión del SPT a medir.

En caso en que la **distancia D** no sea lo suficiente para **aislar** las **áreas de influencias** de la malla del electrodo **no** se observarán regiones planas en la curva como se muestra en la Figura 5.

Para corregir esto se debe incrementar la distancia D.



MÉTODO DE CURVA DE CAIDA DE POTENCIAL

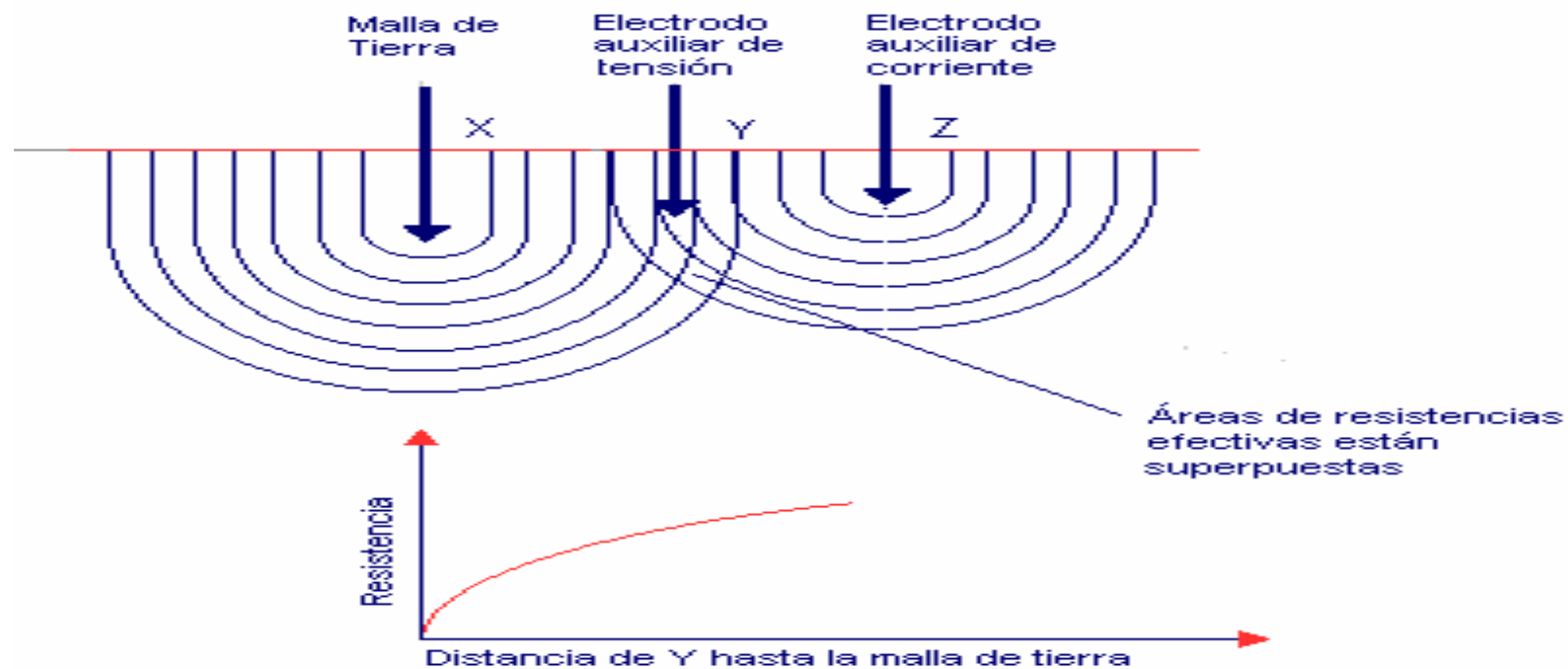
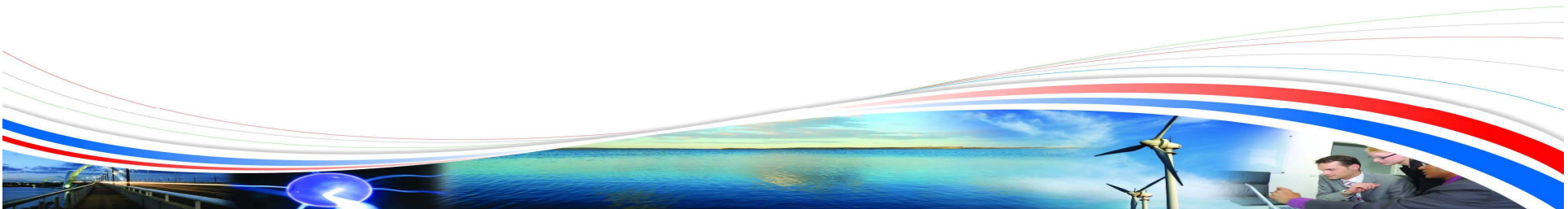


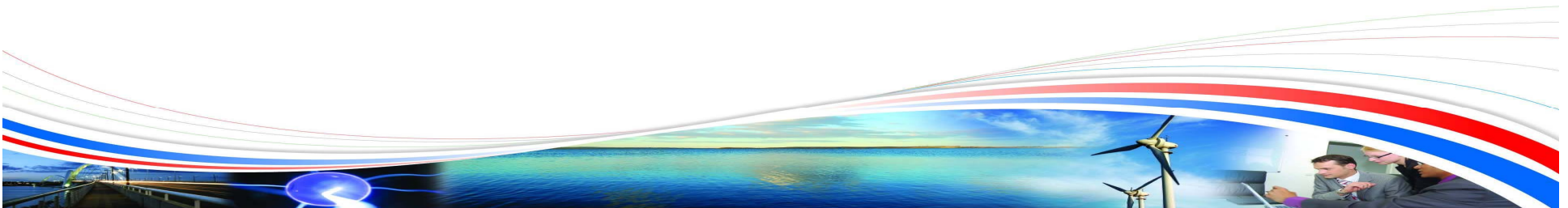
Figura 5. Método de caída de potencial - Curva sin área plana.



MÉTODO DE LA REGLA DEL 62 %

Las zonas de **influencia** de puestas a tierra pueden ser tan grandes que para **evitar** la superposición de estas áreas, quien va a medir debe tomar **distancias considerables** ente el electrodo de corriente y la puesta a tierra a evaluar. Es fundamental para el método, que las áreas de influencia no se superpongan entre sí.

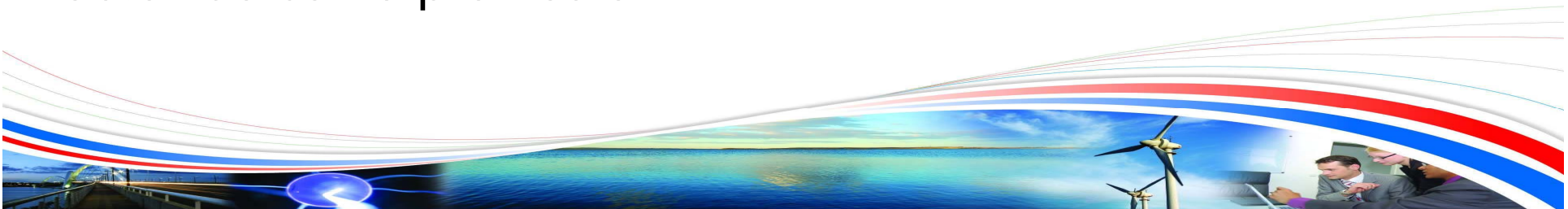
Este método requiere las mismas distancias que el anterior. La distancia entre el electrodo de corriente y la puesta a tierra a evaluar debe ser entre **3 y 5 veces** la mayor dimensión de la puesta a tierra o el diámetro equivalente.



MÉTODO DE LA REGLA DEL 62 %

La diferencia está en que el punto donde se debe tomar el valor verdadero de la resistencia de puesta a tierra, es con el electrodo de tensión a **0,618 de D.**

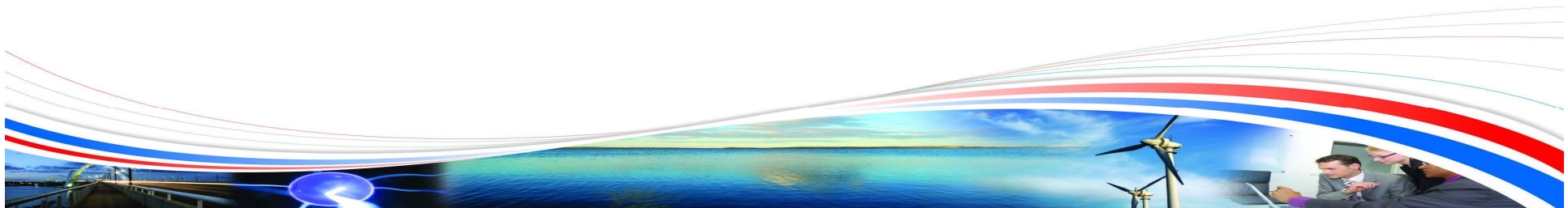
El método como se aplica actualmente, recomienda hacer **tres mediciones**, siendo la primera con el electrodo de tensión al 62% de la distancia del de corriente y las otras dos a +/- 10 % de este punto. El valor verdadero de las resistencias es el obtenido en el punto del 62% y no el obtenido como promedio.



MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

Para la medida de la resistencia de puesta a tierra también se puede utilizar el método de la **suma de resistencias**, también recomendada por la norma ANSI/IEEE Std.81 “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”.

Este método es empleado cuando se tiene **limitaciones de espacio** o imposibilidad de enterrar los electrodos de prueba para la medida de las resistencias de las mallas de tierra por el método de la caída de potencial o para **comprobar** la independencia o unión de resistencias existentes relativamente cercanas entre sí.



MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

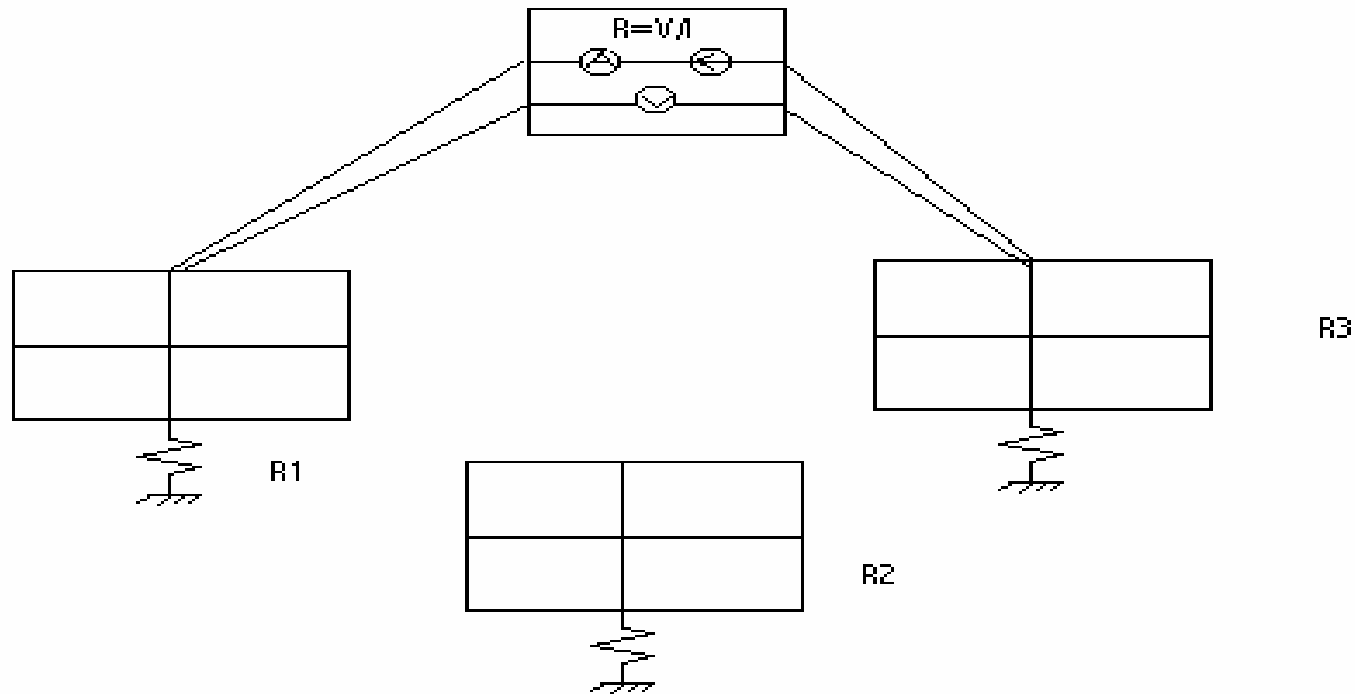


Figura 6. Método de la suma de resistencias

MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

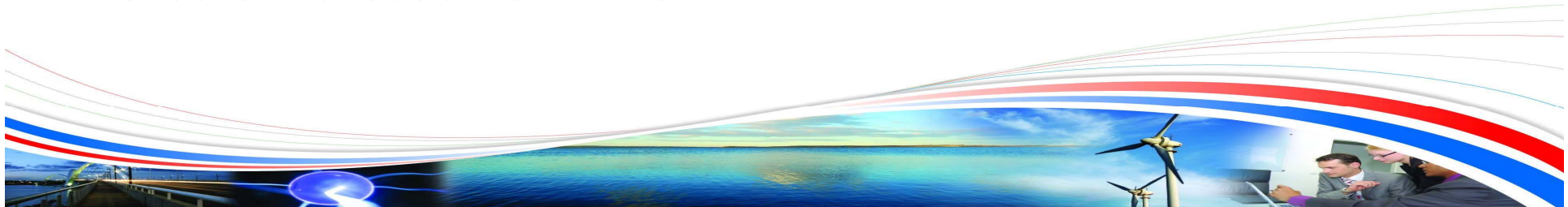
Con este método se involucra el uso de dos **puestas a tierra de prueba** (R2 y R3) y la **propia** puesta a tierra a ser medida (R1) y consiste en **medir** las resistencias entre cada par de puestas a tierra (R12, R13 y R23) donde:

$$R12 = R1 + R2 \quad R13 = R1 + R3 \quad R23 = R2 + R3$$

Resolviendo simultáneamente estas ecuaciones se tiene que:

$$R1 = (R12 + R13 - R23) / 2$$

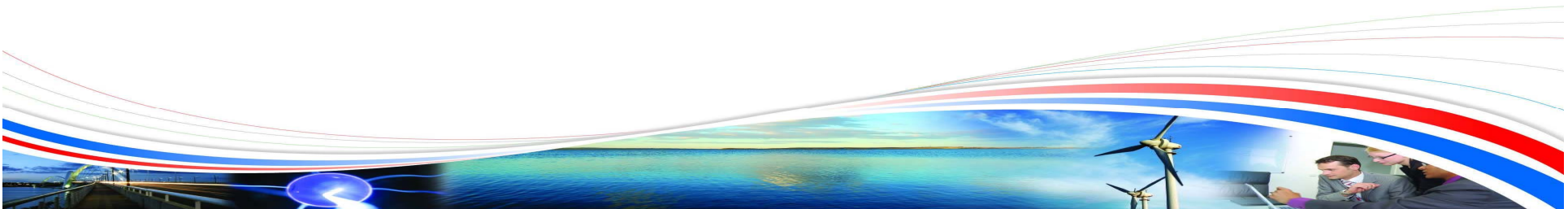
El valor de R1 se puede establecer **midiendo** la **resistencia serie** entre cada par de mallas de tierra y substituyendo estos valores en la ecuación anterior.



MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

En este método se tratan de **utilizar** puestas a tierra **existentes** o electrodos **auxiliares** que se presuman sean de resistencia **similar** al electrodo en estudio para obtener mejores resultados.

Igualmente, se clavan los electrodos auxiliares de modo tal que queden todos los **electrodos** lo suficientemente **alejados** y no se traslapen las áreas de influencia de la resistencia de cada uno y evitar resultados absurdos. Se **recomienda** una **distancia** entre electrodos de **8 metros** o más cuando se estudie un electrodo simple.

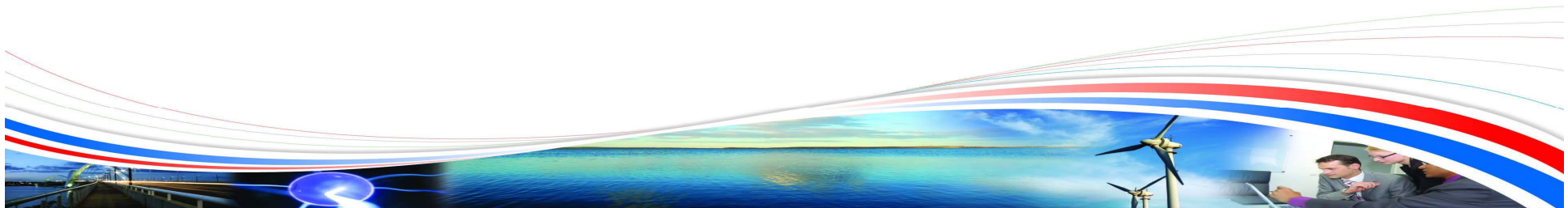


MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

En este método existen **influencias** marcadas por **objetos metálicos** enterrados y no existe forma de eliminar dicha influencia.

Tampoco es muy efectivo a la hora de evaluar **valores bajos** de **resistencia** o valores de **resistividad** muy **altos** del terreno involucrado donde la resistencia de contacto de los electrodos sea apreciable.

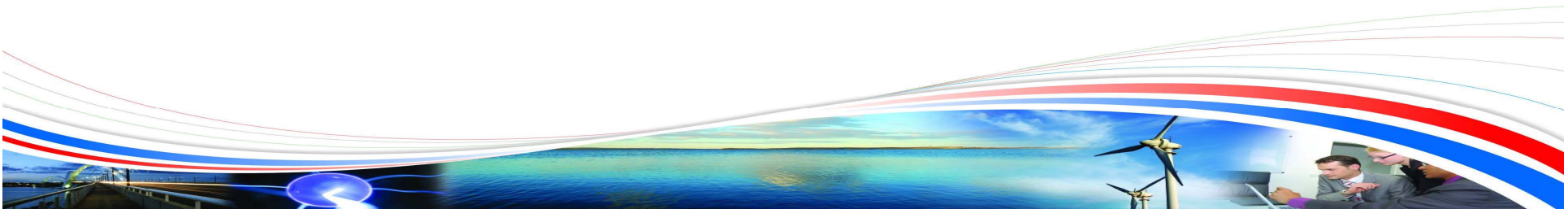
Otra desventaja es que en este método se considera que el **terreno** es completamente **homogéneo**. Por estas razones este método es poco utilizado.



MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

Sin embargo, puede ser **útil** cuando existen **limitaciones** de **espacio** y no se pueden colocar los electrodos en línea recta para realizar una medición con el método de caída de potencial, por ejemplo.

Los resultados de las mediciones de las resistencias de puesta a tierra se registran en la siguiente tabla, teniendo en cuenta factores como distancia de separación de la medida, condiciones del lote, ubicación de los ejes de medida, etc.



MÉTODO DE CURVA DE CAÍDA DE POTENCIAL

Tabla 2. Formato para el registro de medidas de resistencia de malla de tierra

Método de la caída de potencial

Localización :			
Separación electrodos :			Observaciones
MEDIDA	m	Medida [Ohm]	
62%			
10%			
20%			
30%			
40%			
50%			
60%			
70%			
80%			

MÉTODO DE LAS TRES RESISTENCIAS

Método de la suma de resistencias

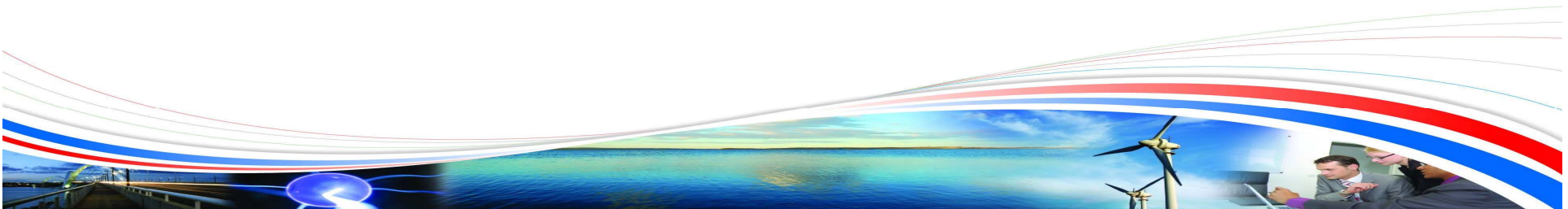
Tabla 3. Formato para el registro de medidas de resistencia de malla de tierra

Nombre de la puesta a tierra	Suma de resistencias (ohm)	Valor calculado (ohm)
R1 =	R1 + R2 =	
R2 =	R1 + R3 =	
R3 =	R2 + R3 =	

MÉTODO DE INDUCCIÓN

Se puede **medir** la **resistencia** de tierra **parcial**, usando **pinzas** de prueba (sin desconexión mecánica de la puesta a tierra a medir). También se pueden realizar mediciones, **sin electrodos** (jabalinas) auxiliares, **utilizando** dos **pinzas** de prueba (depende del equipo de medida).

Consiste en **inducir** mediante una pinza **una corriente** y **leer** mediante otra pinza **la corriente inducida** por ésta, la cual **depende** de la **impedancia** del lazo de tierra formado por las puestas a tierra interconectadas.



MÉTODO DE INDUCCIÓN

Este tipo de equipos consiste en una o varias pinzas de inducción y de medida, la cual **permite** la **suma** de las **resistencias** de puesta a tierra del **loop** y su cable de interconexión.

Este principio de medición existente **garantiza** que **no** hay ninguna necesidad de **separar** eléctrica y mecánicamente el electrodo de tierra probado en casos dónde hay más electrodos de tierra combinados en paralelo.

Aplicando éstos métodos e incluso combinándolos se pueden tener las siguientes mediciones:



MÉTODO DE INDUCCIÓN

1. Medida de resistencia total de tierra

- Método clásico de cuatro terminales, dos jabalinas (método de la caída de potencial o método del 62%).
- Método sin jabalinas, con dos pinzas.

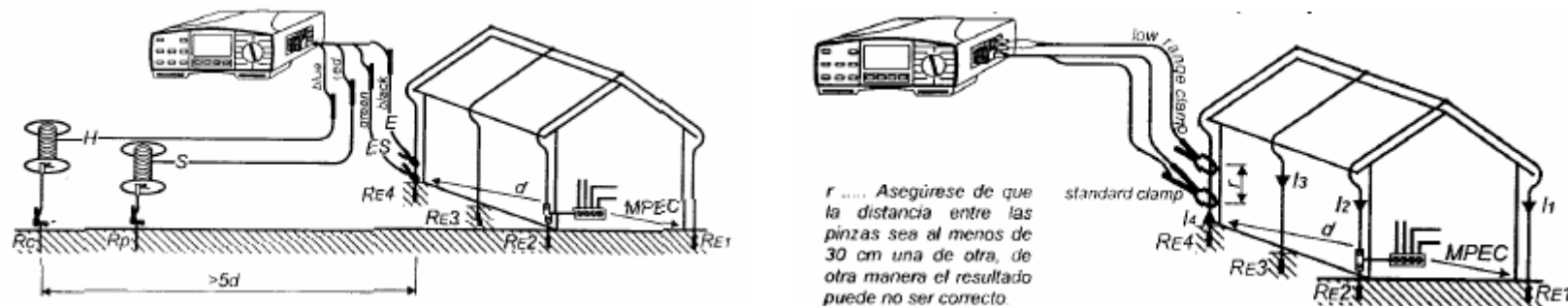


Figura 7. Métodos de medición

MÉTODO DE INDUCCIÓN

2. Medida particular de resistencia de tierra

- Medición con desconexión mecánica de electrodo particular probado y usando el método clásico de 4 terminales, dos jabalinas (electrodos auxiliares).
- Medición con desconexión mecánica de electrodo y usando método de 4 terminales y dos jabalinas (los propios electrodos de la puesta a tierra).
- Medición usando 4 terminales y 2 jabalinas en combinación con pinza.
- Método sin jabalinas, con dos pinzas

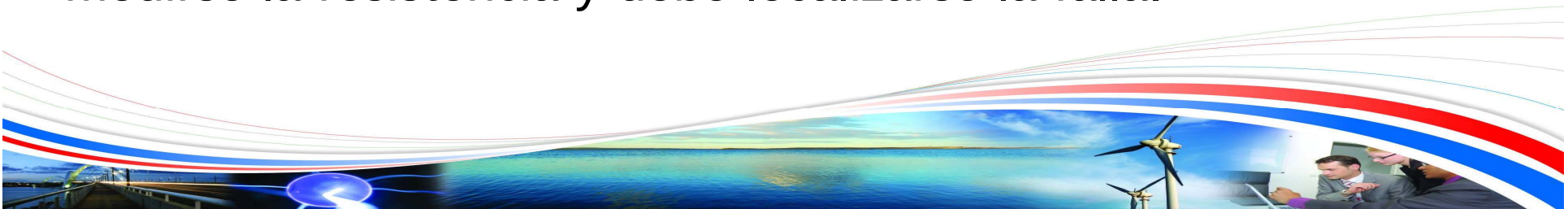


RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

Seguridad:

Cuando se está haciendo la medición de la resistencia de puesta a tierra, se podría **quedar expuesto** a gradientes de **potencial** letales que pueden existir **entre** la tierra a medir y la tierra remota. Por ello, es importante cumplir las siguientes recomendaciones:

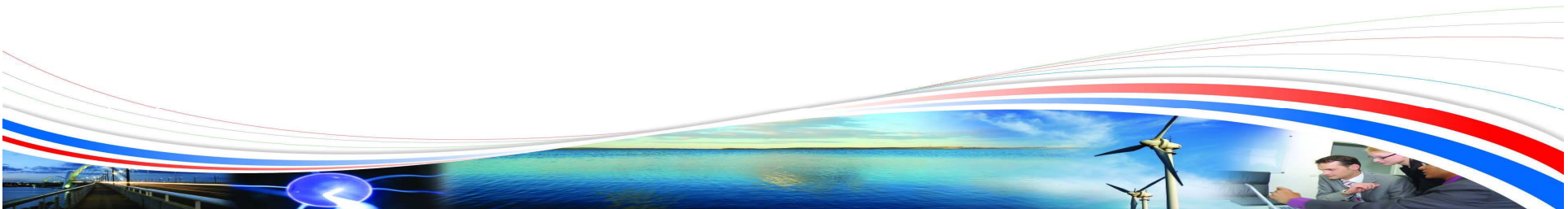
- Antes de proceder a la medición de resistencia debe **medirse** la **tensión** originada por corrientes espúrias. Si supera los **30 V** (yo diría que no supere los 10 V), no debe medirse la resistencia y debe localizarse la falla.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

- Utilice **guantes** y **calzado** con suela dieléctrica
- Cuando se manipulen los cables de los electrodos de prueba, procure bajo **ninguna** circunstancia **completar** (cerrar) el **circuito** con las manos u otra parte del cuerpo.

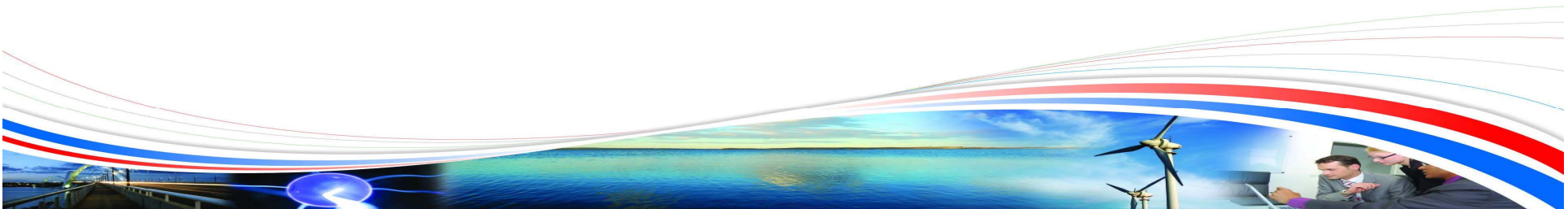
Se debe **procurar** que alrededor del electrodo de corriente no haya curiosos, ni animales durante la prueba.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

Técnicas de medición: Cuando se está haciendo la medición de la resistencia de puesta a tierra por el **método** de la **caída** de **potencial**, es importante tener en cuenta las siguientes observaciones:

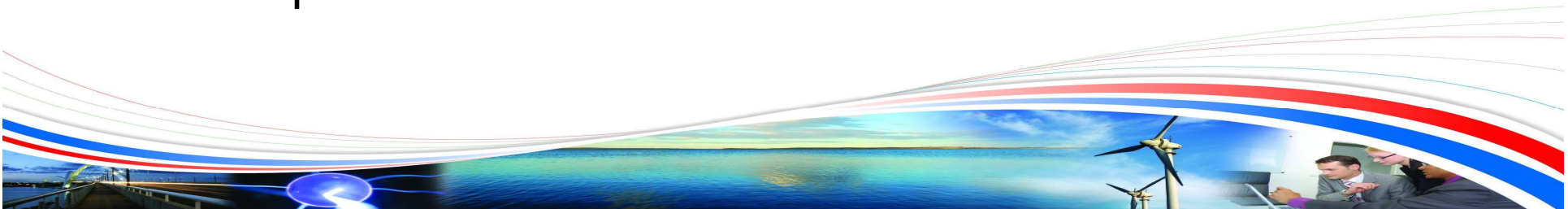
La **profundidad** a la cual se entierran los electrodos de prueba (corriente y voltaje) **no afecta** el resultado de la medición. Todo lo que se necesita es que tengan un **buen contacto** con tierra.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

Una **limitación** del método del 62% es que asume condiciones ideales. Estas incluyen un **distanciamiento** adecuado entre los electrodos, siempre en línea recta y un suelo homogéneo.

Podría pasar que los electrodos no estuviesen lo suficientemente **separados** al 62% y se tomase una **lectura** en la gráfica resistencia en función de la distancia en el momento en que la resistencia está **apenas** aumentando (y no cuando la curva ya se ha estabilizado como se indicó anteriormente) y pensar erróneamente, que se ha cumplido con los requerimientos.

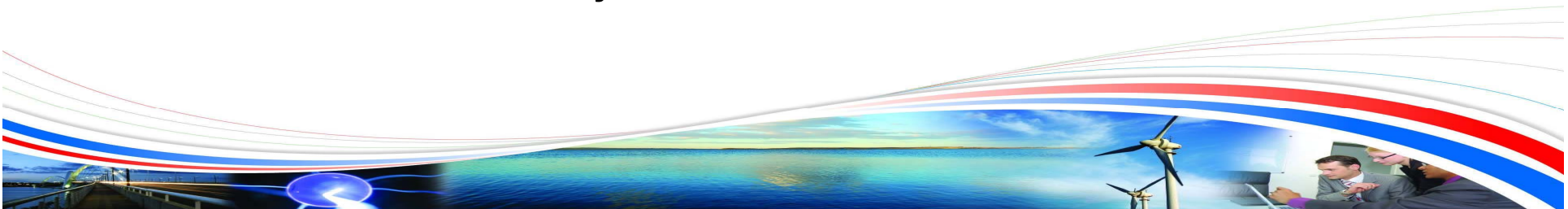


RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

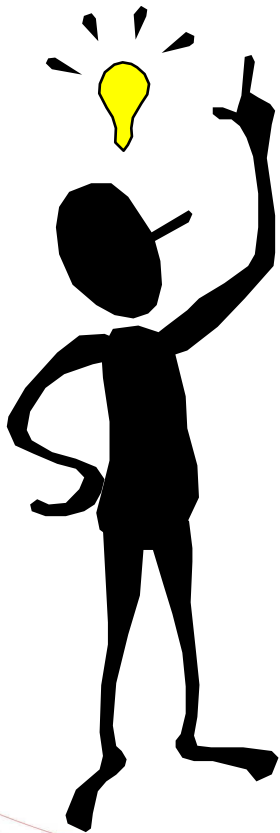
La **ventaja** del método del 62% sin embargo, está en que una vez que se han verificado las **distancias adecuadas** para la medición de resistencia es **sencillo y rápido** realizar nuevas mediciones en sitio con fines de mantenimiento.

RECOMENDACIONES ADICIONALES:

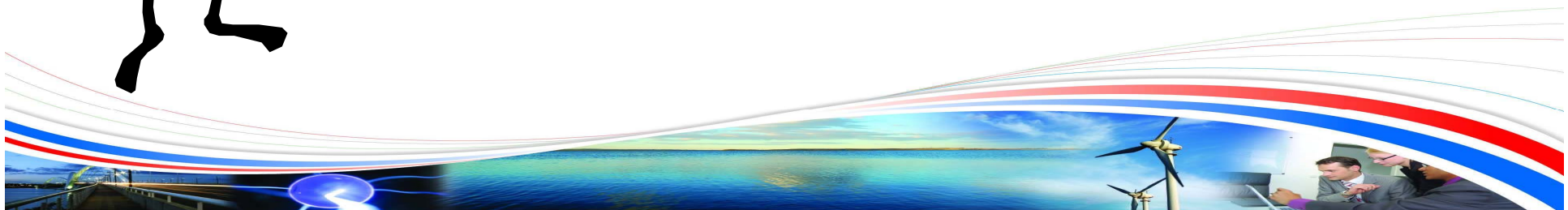
En caso de realizar mediciones en **áreas** donde se encuentren objetos **metálicos** enterrados se requiere realizar **mediciones ortogonales** y la interpretación de las gráficas resultantes, para poder **eliminar** así de la medición la **influencia** de estos objetos metálicos.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA



La presencia de **líneas** energizadas de **alta tensión** en las **cercanías** del área donde se está llevando a cabo la medición, **afecta** la calidad de la misma. Para evitar esta interferencia se debe realizar la medición en una dirección **perpendicular** a la línea de transmisión. Incluso, se pueden lograr los resultados satisfactorios abriendo los electrodos de potencial y corriente unos 90° como se muestra en la Figura 8.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

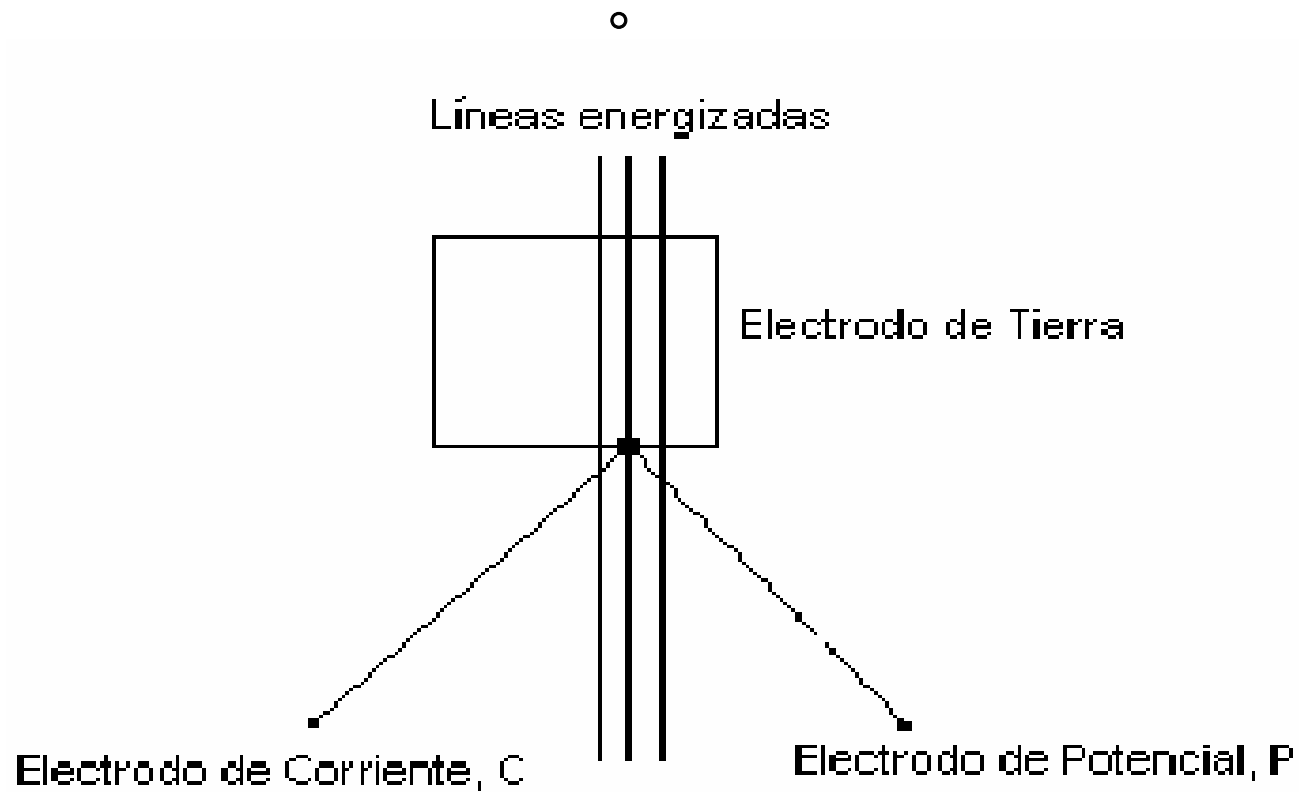
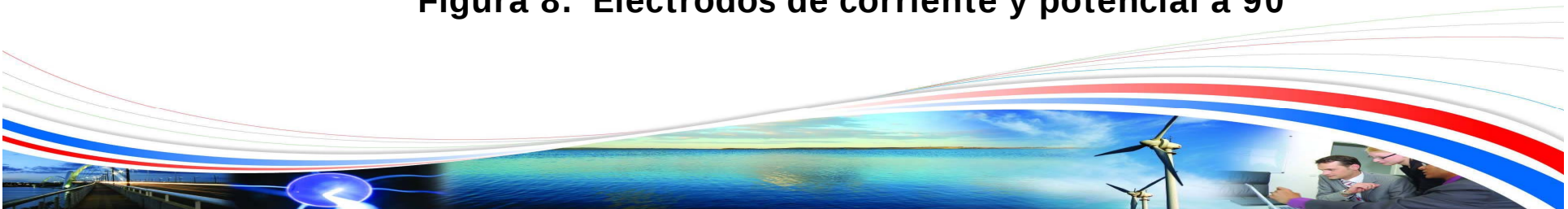


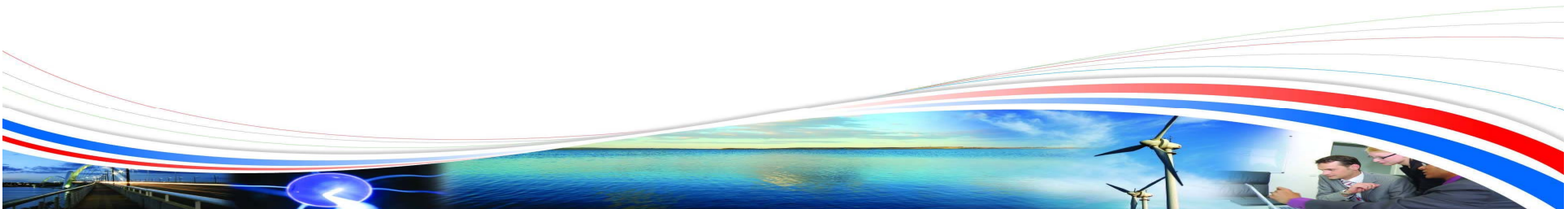
Figura 8. Electrodos de corriente y potencial a 90°



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

En caso de que el **terreno** esté muy **seco**, es recomendable **humedecer** los **electrodos** de los extremos especialmente (los de corriente), para disminuir la resistencia del electrodo de tierra.

Cuando hay **ruido excesivo** puede interferir con la medición debido a la gran longitud de los cables de los electrodos de prueba. Para medir el ruido se puede conectar un voltímetro entre las terminales X y Z (P1 y C2 en otros equipos) como se observa en la Figura 9.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

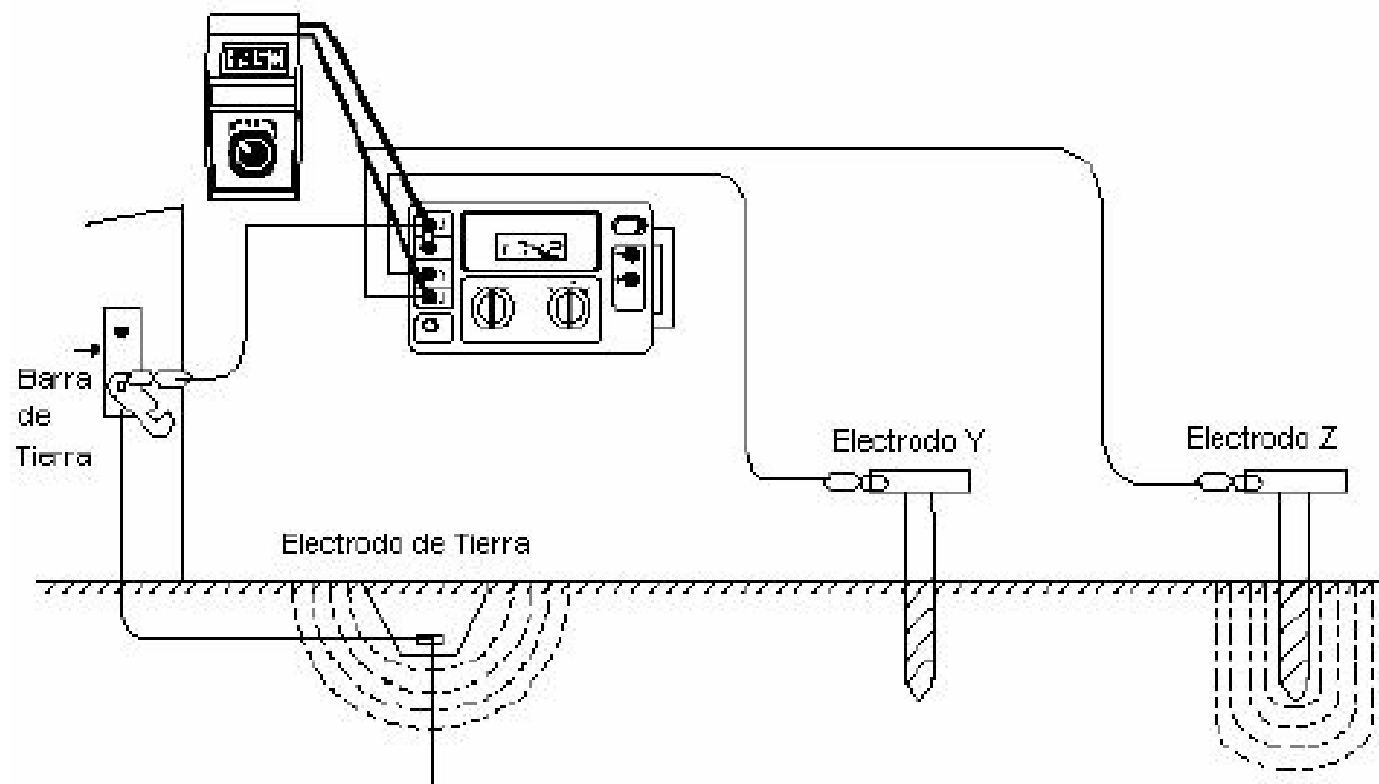
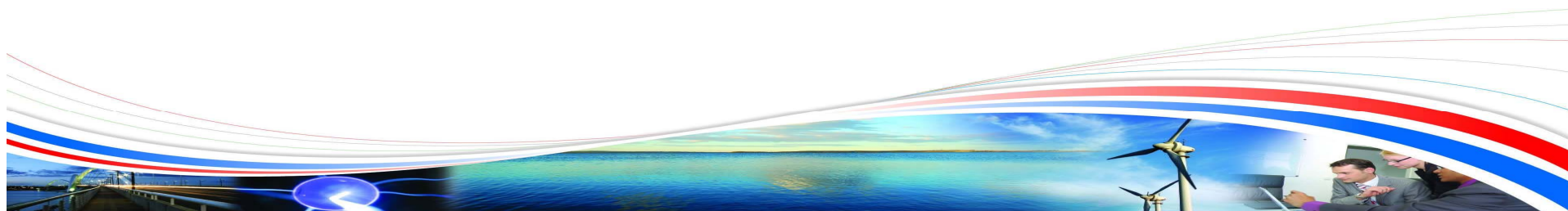


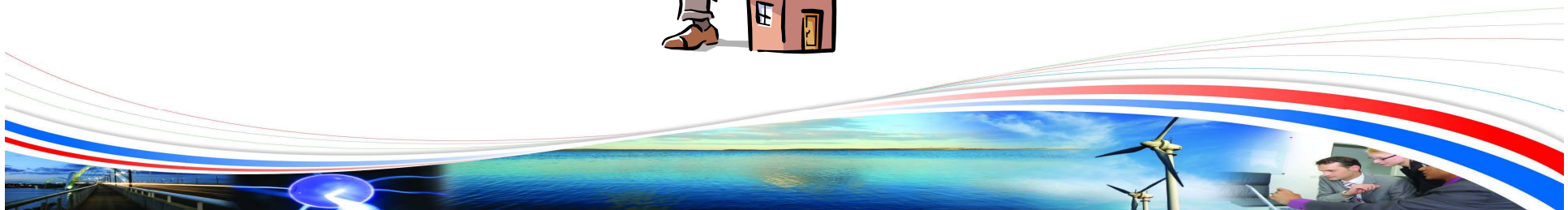
Figura 9. Método de caída de potencial. Medición de ruido



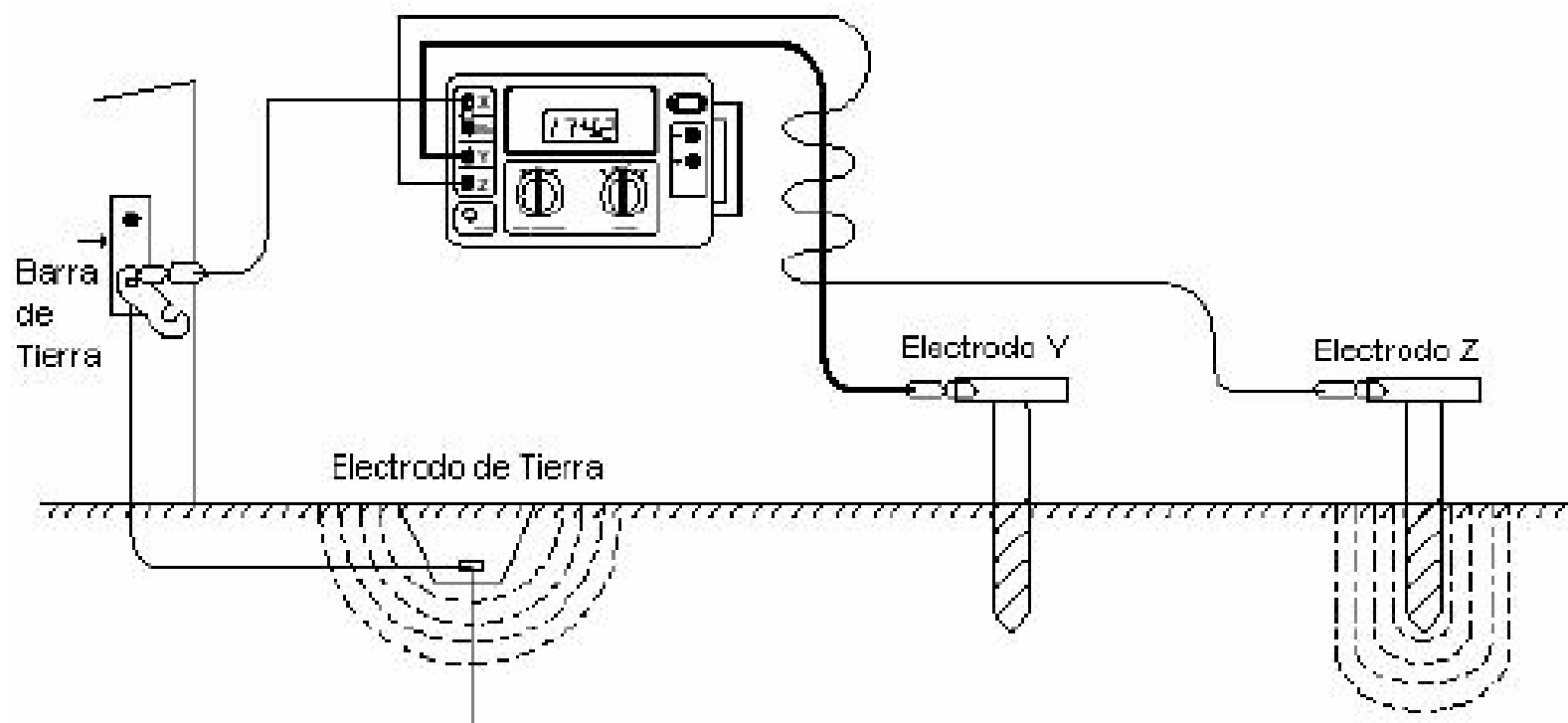
RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

El voltaje leído con el voltímetro debe estar dentro de la **tolerancia** del equipo de medición de puesta a tierra utilizado. De no ser así se puede utilizar una de las siguientes técnicas.

Trenzar los cables que van hasta los electrodos de prueba. Esto puede cancelar los voltajes de **modo común** entre los dos conductores. En la Figura 10 se ilustra como:



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

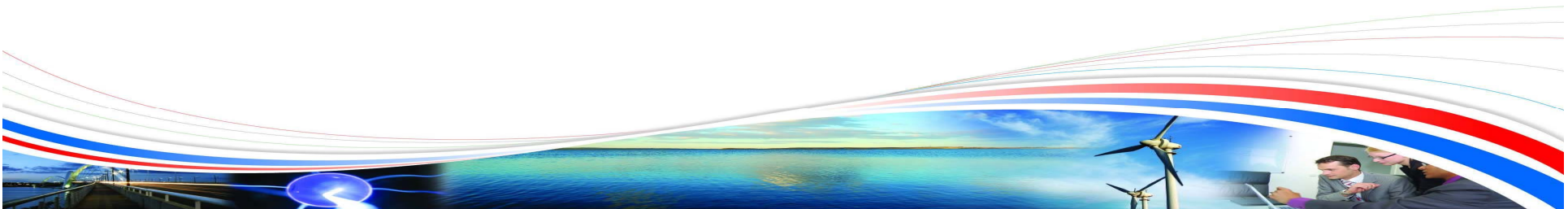


**Figura 10 . Método de caída de potencial.
Trenzado de cable de los electrodos de prueba**

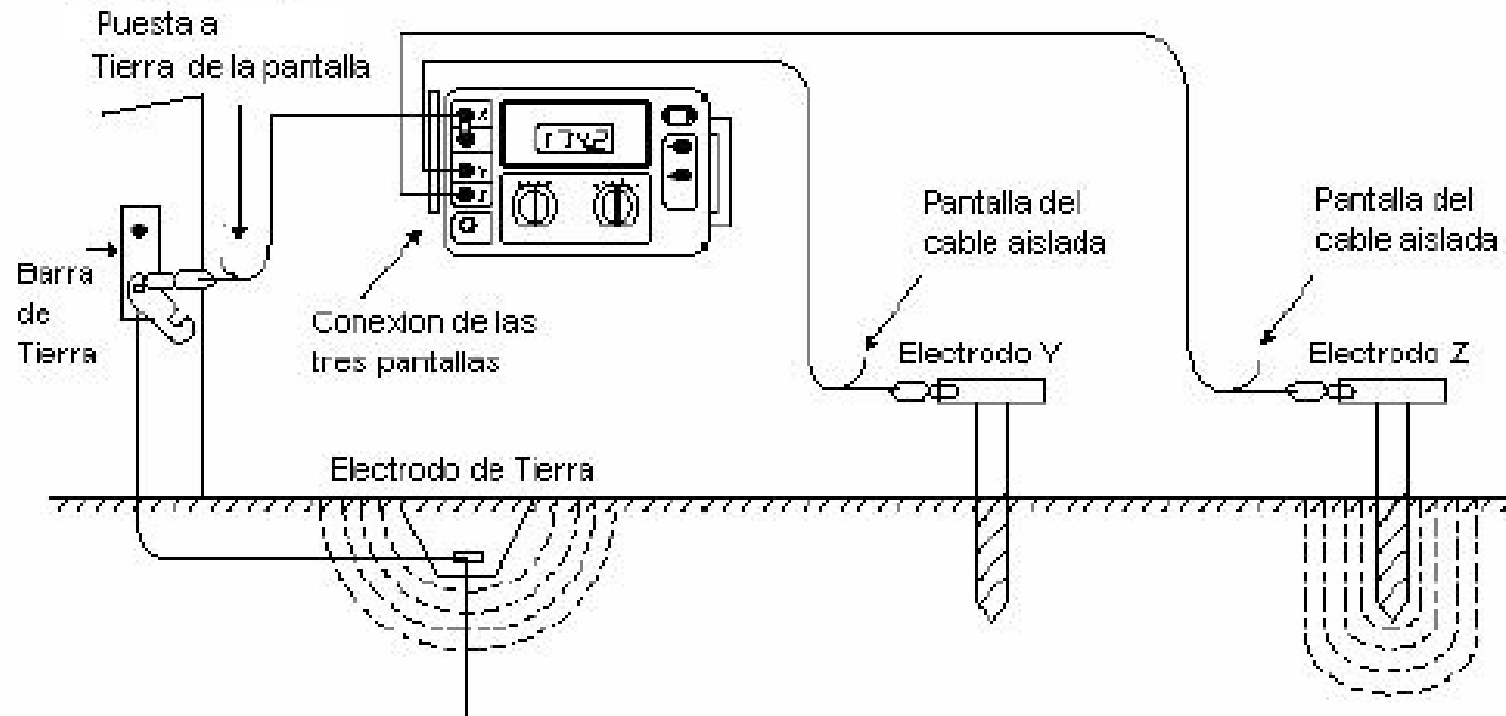
RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA

Si no funciona lo anterior se debe revisar también si los **cables** están **paralelos** o no a una **línea** eléctrica. De estarlo, se debe buscar la forma de colocarlos en forma perpendicular.

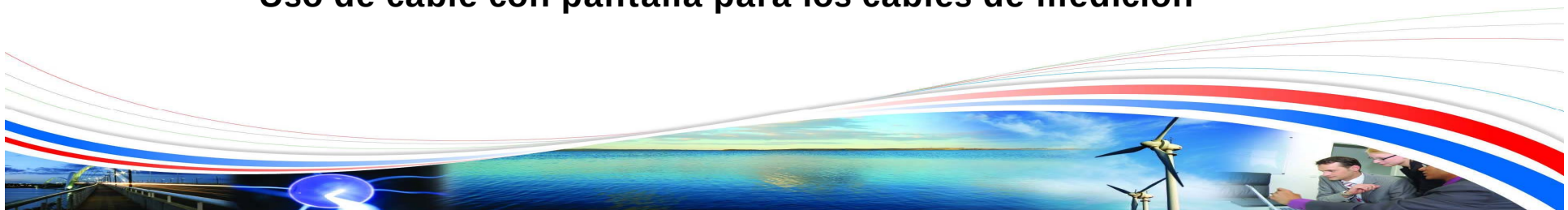
Si el valor de voltaje deseado no es obtenido, el **uso** de **cables** con **pantalla** puede ser requerido. La pantalla o escudo puede **proteger** el **cable interior** al tomar los voltajes no deseados y drenándolos a tierra. La forma de conexión se muestra en la Figura 11.



RECOMENDACIONES PARA REALIZAR MEDICIONES DE PUESTA A TIERRA



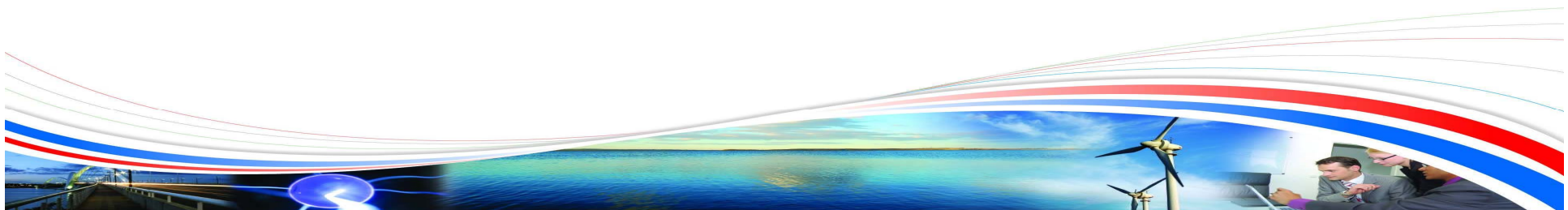
**Figura 11. Método caída de potencial.
Uso de cable con pantalla para los cables de medición**



EXCESIVA RESISTENCIA DE LOS ELECTRODOS AUXILIARES:

Una excesiva resistencia de los electrodos de prueba puede **impedir** que la corriente que debe pasar por el electrodo de corriente pase por el mismo o que **no se pueda** medir el potencial a través del electrodo de potencial. Esto puede deberse a un **mal contacto** con el suelo o por **elevada resistividad** del mismo.

Si el problema es la resistividad, se puede **mojar** el área alrededor del electrodo, con lo que ésta disminuirá. Incluso se podrían utilizar **varios electrodos** de potencial y corriente para disminuir la resistencia de contacto con el suelo.

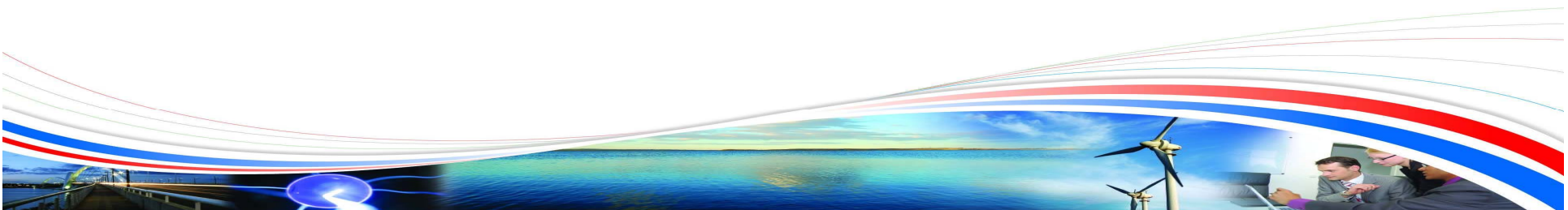


SUELOS DE CONCRETO O MATERIAL EN EL CUAL NO SE PUEDEN INSERTAR LOS ELECTRODOS:

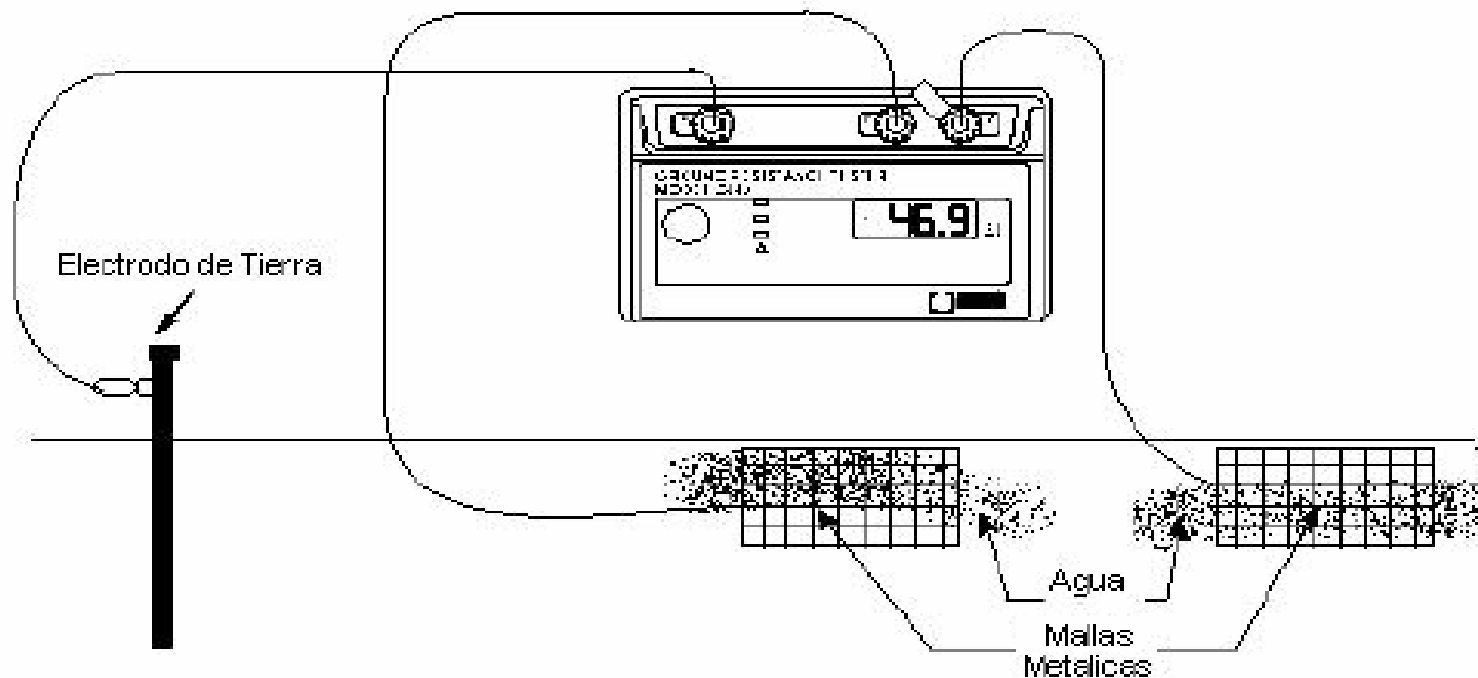
Algunas veces el electrodo bajo prueba está **instalado** en **cemento, concreto** o cualquier superficie en la que no es fácil la colocación de los electrodos de prueba.

En estos casos, dependiendo de la **sensibilidad** del equipo, puede bastar **colocar** los electrodos sobre la **superficie** y **mojar** dicha área, si el equipo tiene una **gran tolerancia** a grandes resistencias de contacto.

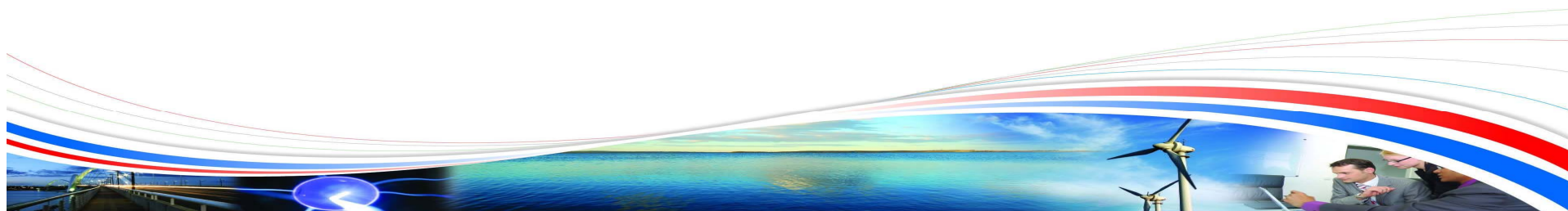
Sin embargo, si esto no es suficiente y el equipo de medición presenta alarmas de alta resistencia, se pueden utilizar **mallas** o pantallas metálicas y agua como se muestran en la Figura 12, para disminuir la resistencia de contacto de los electrodos con el suelo.



SUELOS DE CONCRETO O MATERIAL EN EL CUAL NO SE PUEDEN INSERTAR LOS ELECTRODOS:



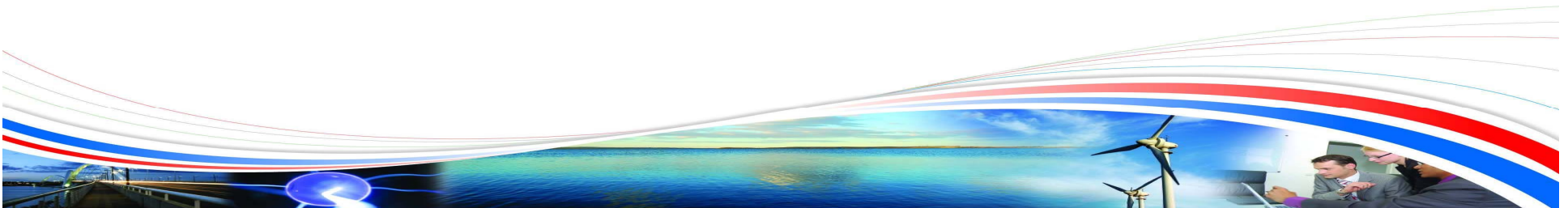
**Figura 12. Método de caída de potencial.
Uso de mallas metálicas como electrodos de prueba**



CONCLUSIONES



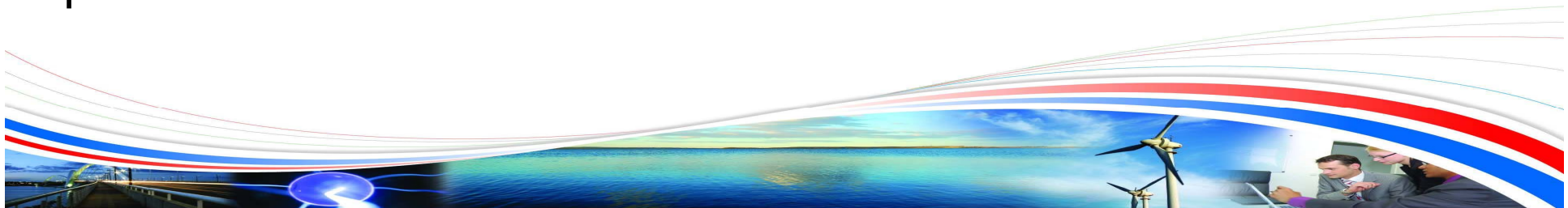
Para verificar el **valor real** de la **resistencia** de las puestas a tierra en sistemas **multiaterizados**, se deben **combinar** varios **métodos** para determinar que puntos del sistema no son adecuados y se deben corregir, como es el caso de líneas de transmisión, distribución y sistemas unificados de puestas a tierra.



CONCLUSIONES



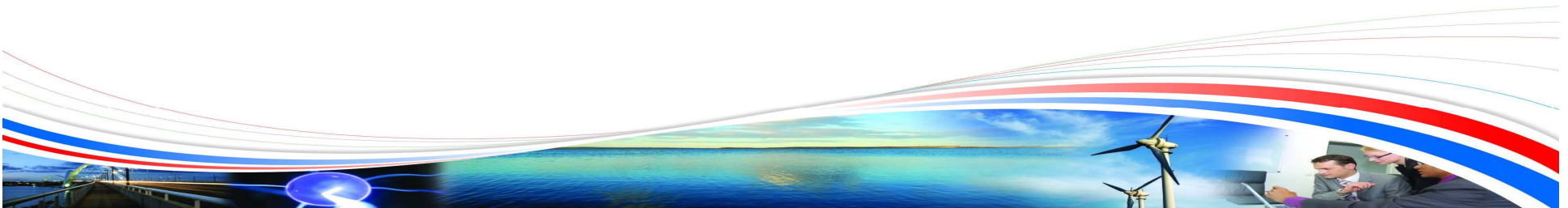
Al utilizar estos equipos se puede presentar alguna **imprecisión**, si utilizamos el método de la **caída de potencial** solamente, sólo se puede determinar el **paralelo** de todo el sistema de puesta a tierra interconectado. Si utilizamos el método de las **pinzas** la medida se ve **afectada** por la impedancia de los cables que interconectan la puesta a tierra y **mide la suma** de la resistencia a medir, más el paralelo de las demás resistencias del sistema.



CONCLUSIONES



No obstante, **combinando** con el método de caída de potencial, se convierte en una de las opciones de **medida** más **completa y precisas** teniendo en cuenta las dificultades que presenta la desconexión de puestas a tierra en los sistemas multiaterrizados.



BIBLIOGRAFÍA

Código	Nombre del Documento
[1] ANSI/IEEE Std 80-2000	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
[2] ANSI/IEEE Std142-1991	IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System
[3] ANSI/IEEE Std 81-1983	IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System
[4]	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)
[5]	Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión. Mejía Villegas. Segunda Edición. 2003
[6]	Tierras – Soporte de la Seguridad Eléctrica – Segunda Edición.
[7]	Extracto – “Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas”. Ingeniero Ignacio Agulleiro
[8]	Sistemas de puesta a tierra. Memorias de la diplomatura “Tópicos especiales del RETIE” Jaime Blandón