

Centro de Formación Schneider

Medidas y vigilancia de las instalaciones de puesta a tierra



Merlin Gerin

Eunea Merlin Gerin

Modicon

Telemecanique

Mesa

Hímel

Square D

Publicación Técnica Schneider: PT-009

Edición: Mayo 2001

Schneider
 **Electric**

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades en automatismos industriales y electrotécnica. Tienen origen en el Centro de Formación para cubrir un amplio abanico de necesidades pedagógicas y están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada Publicación Técnica recopila conocimientos sobre un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet: <http://www.schneiderelectric.es>.

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider
C/ Miquel i Badia, 8 bajos
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80
Fax: (93) 219 64 40
e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Publicaciones Técnicas**, junto con los Cuadernos Técnicos (ver CT-0), forma parte de la «Biblioteca Técnica» del **Grupo Schneider**.

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de esta Publicación Técnica está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción de la Publicación Técnica nº 009 Medidas y vigilancia de las instalaciones de puesta a tierra de Schneider Electric».

PT-009

Medidas y vigilancia de las instalaciones de puesta a tierra



Andrés Granero

Ingeniero Técnico Eléctrico, ha desempeñado el cargo de Director Técnico en diversas Empresas Instaladoras y de Mantenimiento Eléctrico en Barcelona. Actualmente ejerce como Responsable Técnico y Promotor Comercial de Transformadores de Potencia en el Departamento T&D de Schneider Electric.

En el campo de la docencia ha sido profesor invitado para impartir cursos y conferencias en distintas empresas e instituciones públicas y privadas de educación media y superior. Así también, ha publicado diversos trabajos de memorias en simposios, congresos y revistas técnicas, y ha editado y colaborado en numerosas obras y libros de texto.

Índice

1	Introducción	p. 5
2	Ejemplos de situaciones de riesgo por transferencias de tensiones a través de los sistemas de puesta a tierra	p. 7
3	Sinóptico sobre el tratamiento de la red de tierras en plantas con C.T. propio	p. 11
4	Medida y vigilancia de las instalaciones de puesta a tierra	p. 12
5	Vigilancia periódica	p. 13
6	Técnicas de medición de instalaciones de puesta a tierra	p. 14
7	Medidas de resistencias de grandes electrodos de tierras. «Método de la intersección de curvas»	p. 17
8	Medición de la resistividad del terreno	p. 20
9	Investigación del suelo en capas inferiores	p. 22
10	Medida de las tensiones de paso y contacto	p. 22
Anexo 1:	Módulo de alimentación del equipo de comprobación Vp y Vc de la casa C.E.E.	p. 25
Anexo 2:	Unidad de medida del equipo de comprobación Vm y Vc de la casa C.E.E.	p. 26
Anexo 3:	Conexiones	p. 27
Anexo 4:	Tabla de valores de p/c para distintos valores de «μ»	p. 29

1 Introducción

En esta guía práctica se establecen los procedimientos a emplear para la realización de medidas y vigilancia en instalaciones de puesta a tierra de pequeña y gran superficie según se desprende del ánimo prevencionista del MIE-RAT-ITC 13.

Con cierta frecuencia se piensa que cualquier objeto metálico puesto a tierra puede ser tocado sin peligro. Este error de concepto ha dado lugar a graves accidentes desde los primeros tiempos de la electrotecnia.

La experiencia ha demostrado que aún en el caso de puestas a tierra bastante «seguras» (muy baja impedancia) pueden aparecer tensiones peligrosas en la instalación.

Ello nos debe hacer reflexionar sobre el hecho de que las puestas a tierra no garantizan la inocuidad de los sistemas de puesta a tierra en las instalaciones

eléctricas sino que incluso, en determinados casos (transferencias de tensiones, contactos directos... etc.) pueden ser el coadyuvante y el amplificador de la gravedad del accidente.

Es necesario tener presentes los valores de la resistencia de puesta a tierra y el de la intensidad que puede fluir hacia el terreno.

Cuanto mayor sea el producto $R_{pat} \cdot I_{pat}$, mayores serán los gradientes de tensión que podrán aparecer en el sistema de puesta a tierra (figura 1). Para limitarlo, deberán tomarse las precauciones oportunas en el proyecto de cualquier instalación eléctrica.

Los gradientes de tensión que pueden aparecer en la superficie del terreno en caso de producirse un defecto a tierra podrían poner en peligro la integridad física de las personas que se encuentren próximas y provocar la destrucción del

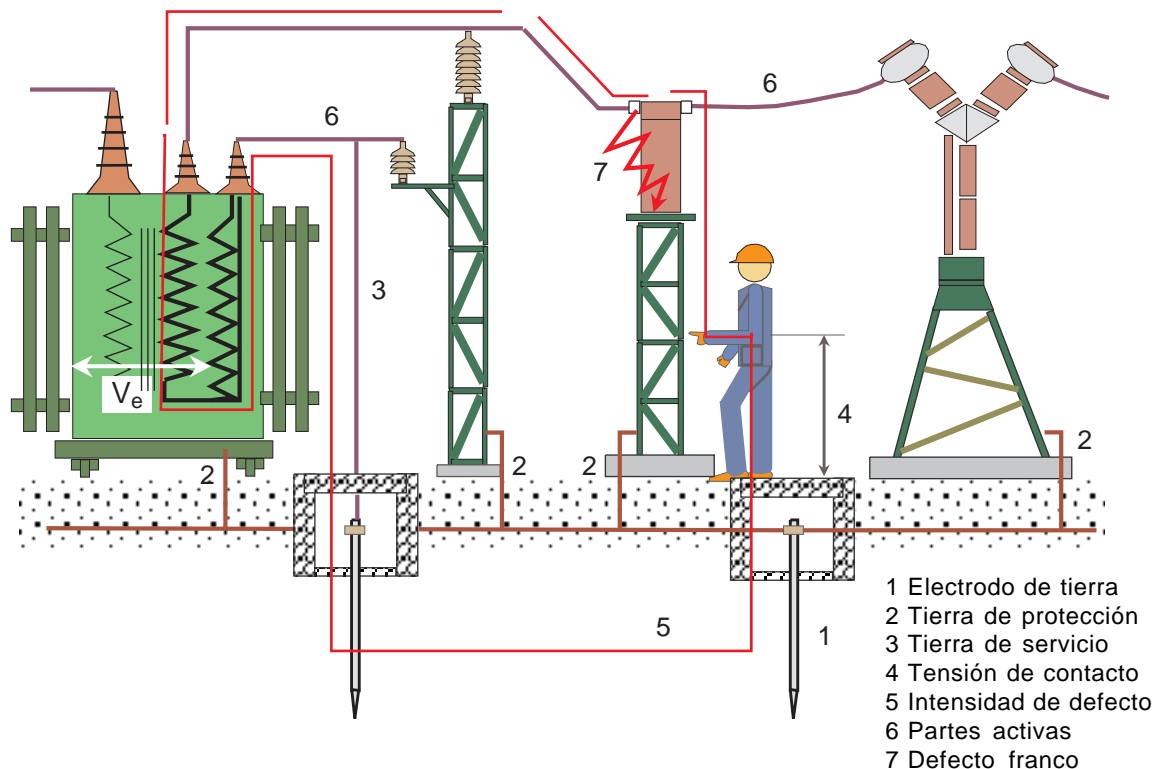


Fig. 1: Tensión de contacto establecida a través del sistema de p.a.t. en una S.E.T.

material eléctrico y electrónico situado en su radio de influencia; incluso en el caso de que en el lugar del defecto existieran elementos conductores tales como: conducciones metálicas, cercados, conductores apantallados, etc. podrían transferirse tensiones peligrosas a lugares muy alejados.

Los factores que intervienen en estas condiciones de peligro son:

1º.- La elevada magnitud de la corriente de falta en relación al área ocupada por el sistema de puesta a tierra.

2º.- Resistencia del sistema de puesta a tierra insuficientemente baja.

3º.- Resistividad del suelo y distribución de las corrientes de paso a tierra tales que permitan la aparición de gradientes de tensión importantes en la superficie del terreno.

4º.- Presencia de un individuo en el lugar, instante y posición tales que esté en contacto con puntos de diferente potencial.

5º.- Suficiente duración de la falta para causar daño a las personas.

La coincidencia de todos estos factores es difícil, por lo que a veces se admiten ciertas reducciones en los proyectos de p.a.t. para no tener en cuenta la simultaneidad de todas las circunstancias desfavorables.

2

Ejemplos de situaciones de riesgo por transferencias de tensiones a través de los sistemas de puesta a tierra

«Las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación deberán interconectarse, constituyendo una instalación de tierra general.

Excepcionalmente, de esta regla general deben excluirse aquellas puestas a tierra a causa de las cuales puedan presentarse en algún punto tensiones peligrosas para las personas, bienes o instalaciones eléctricas.» MIE-RAT ITC 13 P. 6.3.

Cabe preguntarse, no obstante, porqué si hay que unir las tierras de protección y las tierras de servicio, no sería mejor construir una única red de tierras. Entendemos que se hace con el ánimo de facilitar la posible separación, si durante la explotación del sistema surgieran situaciones no previsibles en proyecto (aumento de la potencia de cortocircuito de la red exterior o interior, por ejemplo) que aconsejaran en

un caso aislado proceder a separar las redes, lo cual resultaría muy tedioso si en la construcción se hubiera establecido por diseño una red única.

Cuando, de acuerdo con lo dicho anteriormente, se conecten los neutros de baja tensión a una tierra separada de la tierra general del centro, se cumplirán las siguientes prescripciones: MIE-RAT ITC 13 p. 7.7.2.:

a) «Las instalaciones de tierra deberán aislarse entre sí para la diferencia de tensiones que pueda aparecer entre ambas».

La tensión a que se refiere este apartado no es otra que la caída de tensión en la red general de tierras en caso de defecto. Es decir, $R_t \times I_d$. (Figura 2).

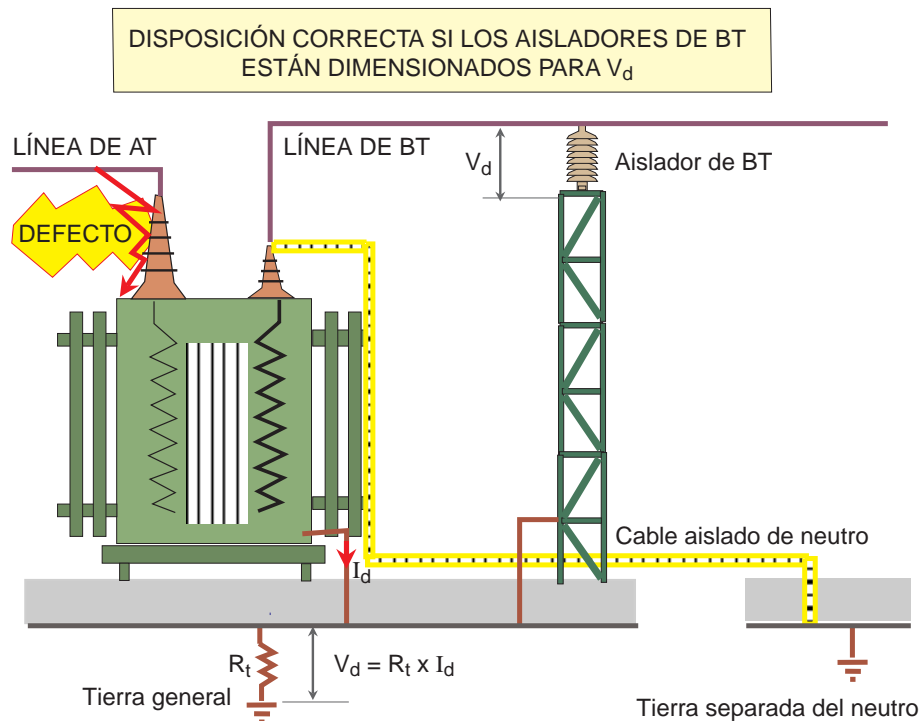


Fig. 2.

b) «El conductor de conexión entre el neutro de baja tensión del transformador y su electrodo de tierra ha de quedar aislado dentro de la zona de influencia de la tierra general. Dicha conexión podrá realizarse conectando al electrodo directamente, un punto del conductor neutro y estableciendo los aislamientos necesarios».

Se desprende de lo anterior que con **neutro conectado a una tierra separada** tal conexión puede hacerse en algún punto del neutro, no necesariamente en el propio borne de neutro del transformador. (Figura 3).

c) Las instalaciones de baja tensión en el interior de los centros de transformación poseerán con respecto a tierra, un aislamiento correspondiente a la tensión señalada en el punto a),

En el caso que el aislamiento propio del equipo de baja tensión alcance este valor, todos los elementos conductores del mismo que deban ponerse a tierra, como canalizaciones, armazón de cuadros, carcasas de aparatos, etc., se conectarán a la tierra general del centro, uniéndose a la

tierra separada solamente los neutros de baja tensión.

Cuando el equipo de baja tensión no presente el aislamiento indicado anteriormente, los elementos conductores del mismo que deban conectarse a tierra, como canalizaciones, armazón de cuadros, carcasas de aparatos, etc., deberán montarse sobre aisladores de un nivel de aislamiento correspondiente a la tensión señalada en el punto a). En este caso, dichos elementos conductores se conectarán a la tierra del neutro de baja tensión, teniendo entonces especial cuidado con las tensiones de contacto que puedan aparecer».

d) «Las líneas de salida de baja tensión deberán aislarse dentro de la zona de influencia de la tierra general teniendo en cuenta las tensiones señaladas en el punto a). Cuando las líneas de salida sean en cable aislado con envolventes conductores, deberá tenerse en cuenta la posible transferencia al exterior de tensiones a través de dichas envolventes».

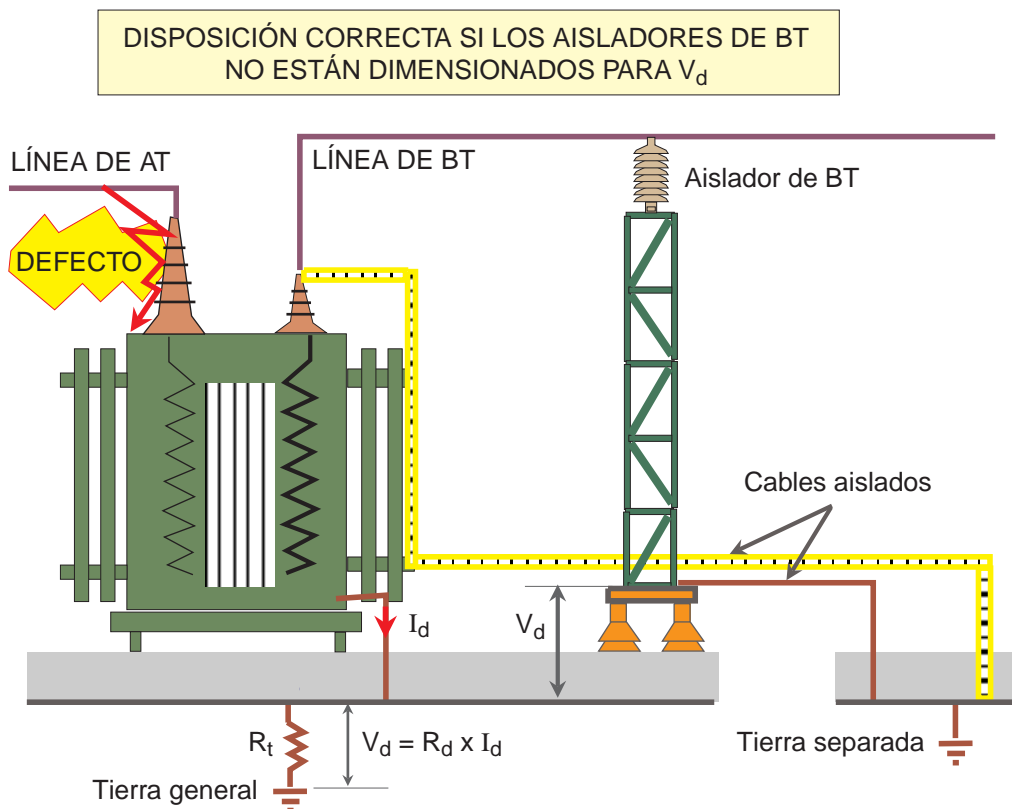


Fig. 3.

Igualmente es de gran importancia lo prescrito en el punto 7.1 sobre descargadores de sobretensión. (Figura 4).

«La puesta a tierra de los dispositivos utilizados como descargadores de sobretensiones se conectarán a la puesta a tierra del aparato o aparatos que protejan».

La importancia de esta precisión estriba en la tendencia generalizada y prescrita en el antiguo Reglamento (2-49) de conectar las autoválvulas a tierra separada lo cual ha sido fuente de averías en muchos casos.

Con relación a los seccionadores de puesta a tierra el MIE-RAT ITC 13 p. 7.2 prescribe:

«En las instalaciones en que existan líneas aéreas de salida no equipadas con cable de tierra, pero equipadas con seccionadores de p.a.t. conectados a la tierra general, deberán adoptarse las precauciones

necesarias para evitar la posible transferencia a la línea de tensiones de contacto peligrosas durante los trabajos de mantenimiento». (Figura 5).

En consecuencia el p. 6.3 de esta ITC concluye: «En las instalaciones en las que coexistan instalaciones de tierra separadas o independientes, se tomarán medidas para evitar el contacto simultáneo inadvertido con elementos conectados a instalaciones de tierra diferentes, así como la transferencia de tensiones peligrosas de una a otra instalación».

Esta disposición, representa una de las modificaciones más relevantes sobre el antiguo Reglamento (2-49) puesto que aquél obligaba a establecer diferentes y separados sistemas de tierra, si bien admitía la unificación previa justificación técnica.

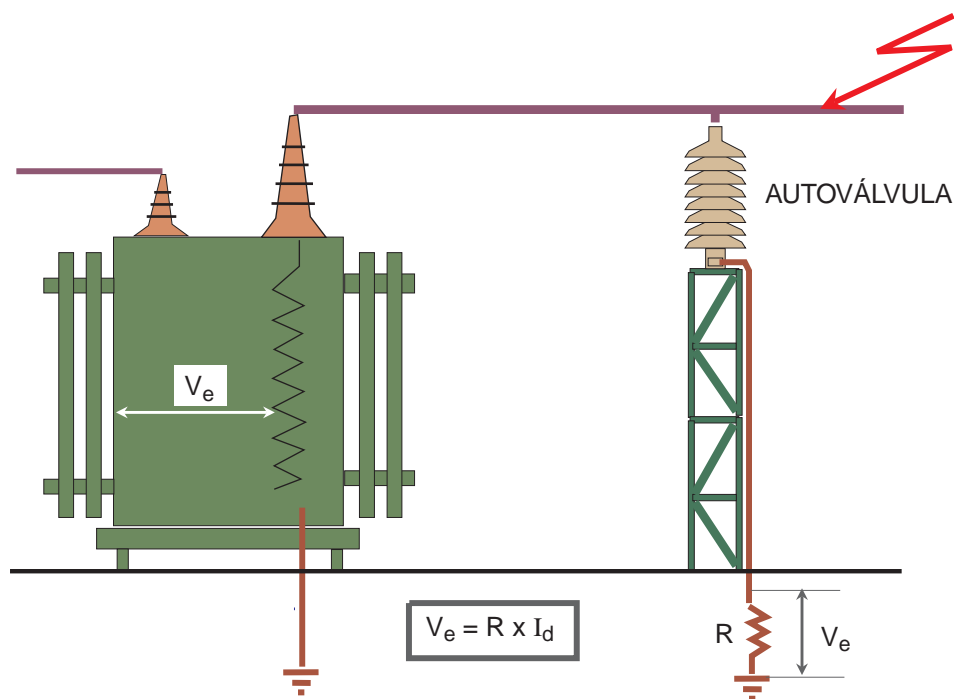


Fig. 4.

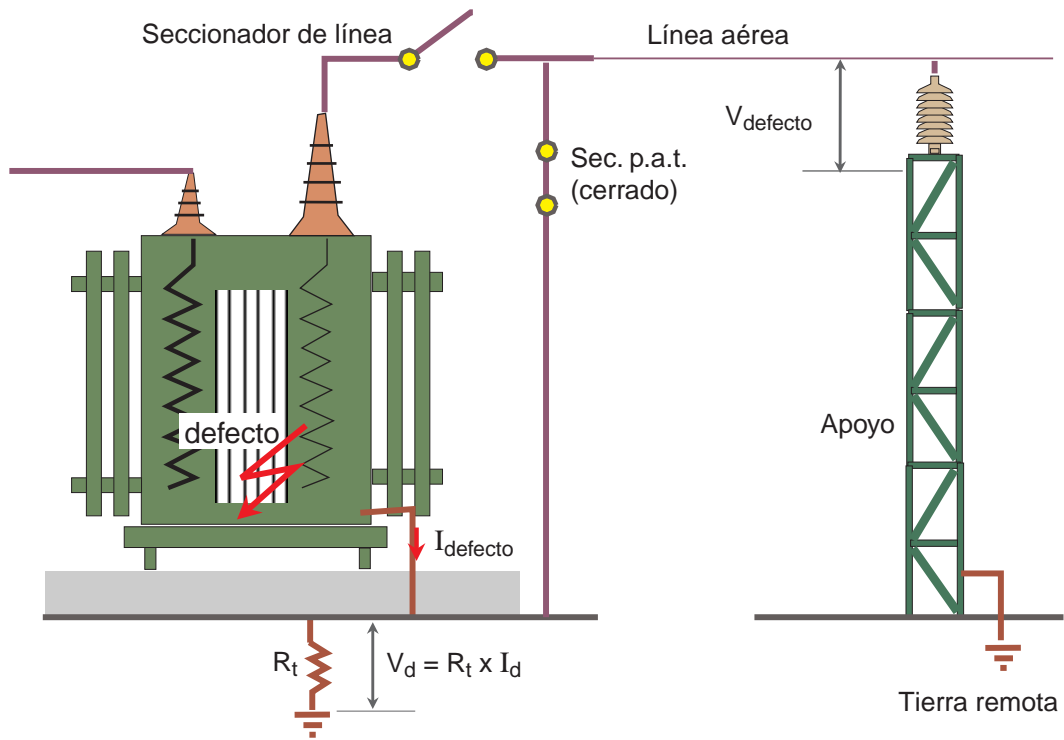


Fig. 5.

3 Sinóptico sobre el tratamiento de la red de tierras en plantas con C.T. propio

TRATAMIENTO DE LA RED DE TIERRAS EN PLANTAS CON C.T. PROPIO

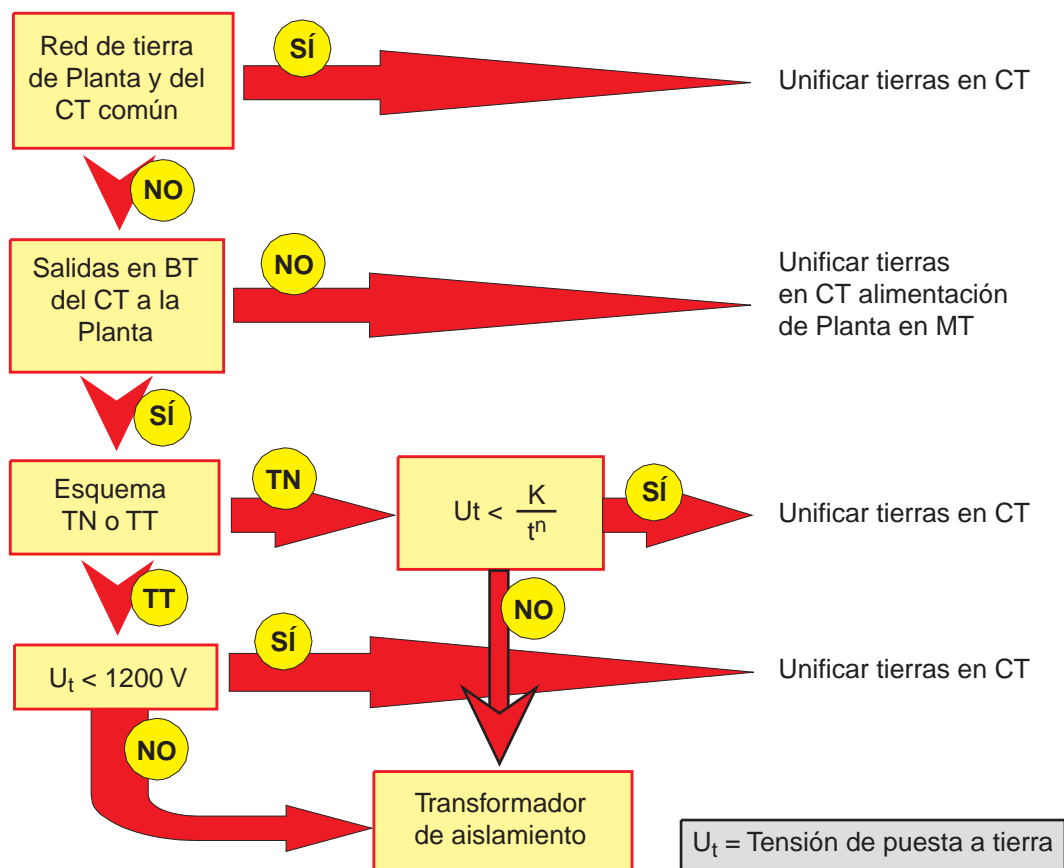


Fig. 6.

«El Director de Obra deberá verificar que las **tensiones de paso y contacto aplicadas** están dentro de los límites admitidos con un voltímetro de resistencia interna de mil ohmios» (MIE-RAT, ITC 13 p. 8.1).

El término « **...aplicadas** » está asociado a la existencia de la persona en la instalación, la cual no queda expuesta a la totalidad de la tensión de paso o contacto existente en la instalación bajo defecto sino a una fracción de la misma, al considerar las resistencias que intervienen en el circuito.

En la O.M. del M.I.E. de 6/07/84 por la que se aprobaron las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, precisaba en su Disposición Transitoria:

«Se autoriza la determinación **a efectos de cálculo** de las tensiones de paso y de contacto (sin tener en cuenta la presencia de la persona en el circuito) en las instalaciones de tercera categoría ($U_n \leq 30$ kV) previa medición de la resistividad del terreno y de la resistencia a tierra, durante un plazo de dieciocho meses, contados a partir de la entrada en vigor de esta Orden».

La experiencia acumulada hasta la fecha, ha demostrado que el único recurso válido para verificar las V_c y V_p **aplicadas** es **proceder a su medición**.

Cabe resaltar que el valor de resistencia interna del voltímetro a emplear **tiene que ser necesariamente de 1000 Ω** ya que con otro valor se obtendrían valores falsos. Al no disponer de un voltímetro de estas características bastará emplear uno de resistencia muy elevada shuntado adecuadamente.

«Los electrodos de medida para la simulación de los pies deberán tener una superficie de 200 cm² cada uno y deberán

ejercer sobre el suelo una fuerza mínima de 250 N cada uno» (MIE-RAT, ITC 13 p. 8.1).

La fuerza de 250 Newton a que se alude puede obtenerse mediante pesos de $\frac{250}{9,8}$ kg ($\cong 25$ kg).

«Se elegirán fuentes de alimentación de la potencia adecuada para simular el defecto, de forma que la intensidad empleada en el ensayo sea como mínimo el 1% de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación sin que sea inferior a 50 A para Centrales y Subestaciones y 5 A para los Centros de Transformación, con lo que se eliminan los defectos de las posibles tensiones vagabundas o parásitas. Los cálculos se harán suponiendo que existe proporcionalidad, para determinar las tensiones posibles máximas» (MIE-RAT, ITC 13 p. 8.1).

Hay que sobreentender que el 1% se refiere a la corriente de puesta a tierra prevista en el diseño. No parece razonable que se refiera a la corriente de defecto máxima en la instalación puesto que está con valores muy elevados en el caso de fallos en BT internos en la instalación, no tiene nada que ver con la parte de la corriente que provoca la elevación de potencial en la red de tierras.

No obstante en muchos casos el 1% de la corriente de puesta a tierra representa valores tan altos que resulta difícil de obtener para el ensayo y aquí radicaba uno de los puntos más difíciles de cumplir de la ITC-13 la modificación del apartado 8.1 dio solución a este problema de la forma siguiente:

«Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas, por ejemplo, **método de inversión de polaridad**, se procurará que la intensidad inyectada sea del orden del 1 por 100 de la corriente para la cual ha sido diseñada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A para centrales y subestaciones y 5 A para centros de transformación»...

En general en las redes de MT es frecuente la puesta a tierra del sistema a través de elementos que limitan la máxima corriente de defecto a tierra a valores entre 300 y 600 A. en cuyo caso no resulta especialmente difícil inyectar para el ensayo el 1% de estas corrientes.

Existen en MT redes con neutro rígido a tierra y valores de falta del orden de 4000 A donde empieza a ser problemático el obtener el 1% citado.

En cualquier caso a la hora de ensayar, la Compañía Suministradora informará del

valor de corriente de defecto a tierra y a partir de ese dato se establecerá el valor de corriente de ensayo.

Medidos los valores de V_p y V_c a corriente de ensayo (I_E) procede calcular por extrapolación los valores de V_p y V_c a corriente de puesta a tierra I_T de manera que:

$$c = V_c \text{ medida } \frac{I_T}{I_E}$$

$$p = V_p \text{ medida } \frac{I_T}{I_E}$$

5 Vigilancia periódica

«Las instalaciones de tierra serán revisadas al menos una vez cada tres años a fin de comprobar el estado de las mismas» (MIE-RAT, ITC 13 p. 8.2).

No precisa el Reglamento si tales revisiones implican la medida de V_c y V_p

como en la puesta en servicio de la instalación. Entendemos que procede efectuar tal medición con esa frecuencia ya que es el único parámetro válido, según el Reglamento para calificar la idoneidad de la instalación de p.a t.

6 Técnicas de medición de instalaciones de puesta a tierra

Se exponen a continuación las técnicas de medición aplicables a las instalaciones de puesta a tierra sea en la fase de proyecto –Medida de la Resistividad del Suelo– o de

comprobación de la instalación terminada –Medida de la Resistencia de paso a tierra– y Medida de las Tensiones de Paso y Contacto.

6.1 Medición de la resistencia de electrodo

Introducción

Antes de comenzar las pruebas, es necesario establecer los requisitos precisos de los resultados a obtener, esto afectará al número de pruebas necesarias.

Intentaremos realizar la medida mediante el método de «**caída de potencial**» y si es posible se realizará mediante la **regla del 61,8%**.

Si estos resultados de prueba no son satisfactorios será necesario realizar el método «**de la pendiente**». Todos los resultados podrían ser registrados y analizados en el sitio y si es necesario, se repetiría alguna prueba ya hecha.

En general, para grandes áreas de electrodos utilizaremos el método «**intersección de curvas**».

Comprobación de resistencias de cables y de contacto de picas

En un medidor de tierras existen unos terminales de inyección de corriente y otros de medida de potencial. Antes de la prueba tendremos que compensar las resistencias de contacto de las picas y las resistencias de los cables a utilizar. (**Figura 7**).

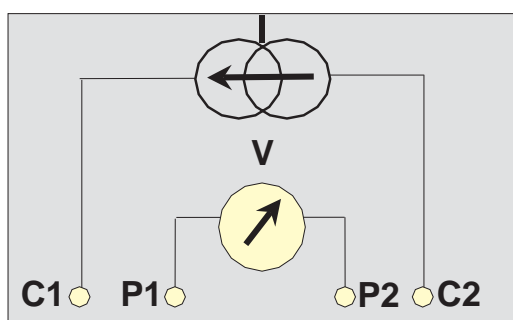


Fig. 7: Sinóptico del medidor de tierras

Sinóptico del medidor de tierras

a) Compensación de cables:

Éste será un dato que se tomará en cuenta en el resultado final.

Uniremos C1 y P1 en el instrumento de medida y haremos lo mismo con C2 y P2, conectaremos el cable de medida entre C1 - P1 y C2 - P2, a continuación haremos la lectura: esta lectura será la resistencia del cable que habrá que deducir de los valores obtenidos en mediciones posteriores. (**Figura 8**).

Notas: El único que interviene y afecta la medida es el que desde C1 - P1 va hasta el punto de medida.

MEDIDOR DE TIERRAS

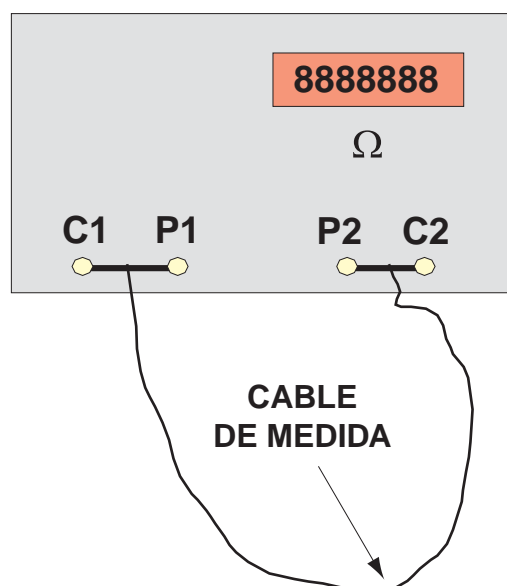


Fig. 8: Medición de la resistencia del cable de medida.

b) Resistencias de contacto de las picas de inyección y medida:

Esta resistencia debemos procurar siempre que sea la mínima posible, ya que, si bien su valor no influye en la medida sí afecta a

la sensibilidad del aparato y ésta es variable según marcas y modelos. Para fines prácticos bastará emplear unas picas auxiliares de redondo de acero de 400 mm de longitud y 14 mm \varnothing aproximadamente.

6.2 Método de la «caída de potencial»

Este método será utilizado para la mayoría de los electrodos de tierra, y no se utilizará cuando los electrodos de prueba cubran un gran área (figura 9).

a) Conectar el electrodo bajo prueba a los terminales C1 y P1.

b) Llevar la pica de corriente © tan lejos como sea posible del electrodo bajo prueba (E). Conectar esta pica al terminal C2 del medidor de tierras.

c) Llevar la pica de potencial (P) a mitad de camino entre E y C, sobre la recta que les une. Conectar el cable de esta pica al terminal P2 del medidor de tierras.

d) Realizar la medida, siendo ésta la resistencia R1.

e) Poner la pica (P) a una distancia igual al 40% de EC desde E y tomar una segunda lectura, (R2).

f) Poner la pica P a una distancia igual al 60% de EC desde E, y tomar una tercera lectura (R3).

g) Calcular el valor medio de R1, R2 y R3 (R media).

h) Restar a R3 el valor medio y expresarlo como un porcentaje de la R media.

i) Si el porcentaje es 1,2 veces más pequeño que la precisión requerida del resultado, entonces la R media puede ser tomada como la resistencia de tierra, con esta precisión.

j) Si esto no es así, entonces poner C más lejos de E, o usar el método «de la pendiente».

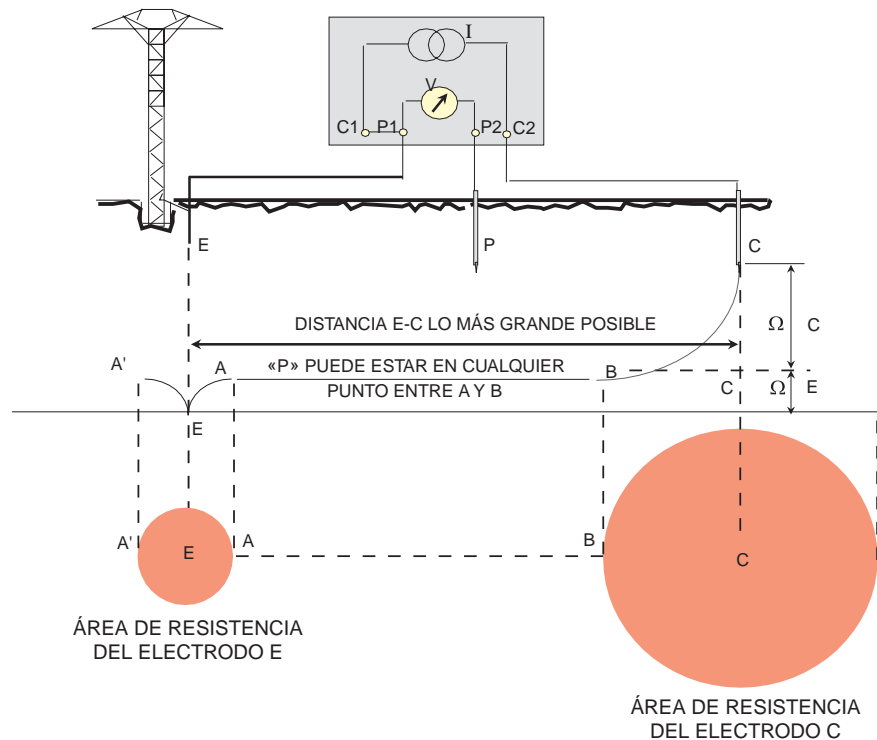


Fig. 9.

6.3 Regla del 61,8%

Si conocemos el centro eléctrico del electrodo, entonces podemos realizar la medida situando el electrodo P al 61,8% de EC desde E, valiéndonos la medida

obtenida como resultado aproximado. En la realidad, como desconocemos el centro eléctrico, no podremos aplicar este método.

6.4 Método de la «pendiente»

Si el método de la caída de potencial falla por no dar suficiente precisión, el método de la pendiente, designado en su mayor parte para sistemas de electrodos que cubren una gran área, podrá ser utilizado.

- Conectar C1 y P1 al electrodo bajo prueba, como en el método anterior.
- Tomar lecturas situando la pica P a las distancias: 20%, 40% y 60% desde el electrodo E. Estas lecturas son: R1, R2 y R3 respectivamente.

Para mayor exactitud se pueden hacer medidas al 90%, 80%, 70% de Ec, obteniendo también los valores R1, R2 y R3.

Los valores R2 y R3 son similares a los hallados en el primer método («caída de

potencial»), sin embargo, ahora los valores en lugar de promediarlos, hallaremos el valor μ .

c) Cálculo de:
$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$$

d) Multiplicar PT/C por EC y obtener la distancia EP. (Para el valor de μ aparece un valor de PT/C en las tablas del Dr. TAGG, en anexos).

e) Poner la pica de potencial a la distancia EP hallada, y tomar la lectura. Esta lectura es la resistencia de tierras del electrodo bajo prueba, y éste será el resultado.

f) Repetir el procedimiento variando EC. Comparar los resultados de las dos pruebas.

6.5 Seguridad

Es prudente que el electrodo bajo prueba no esté en conexión con el sistema que protege, puede ser peligroso en caso de fallo. (Figura 10).

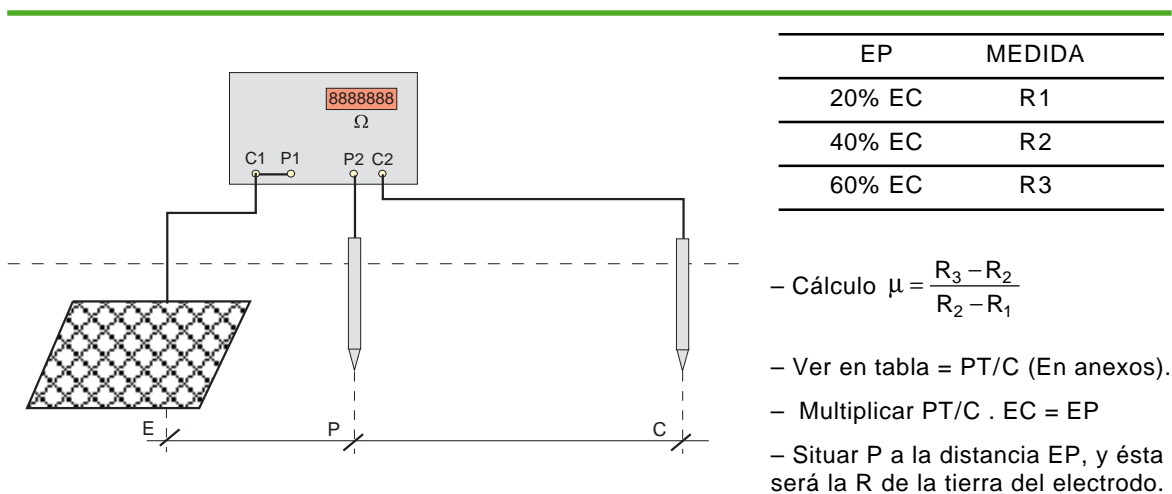


Fig. 10:

7

Medidas de resistencias de grandes electrodos de tierras. «Método de la intersección de curvas»

Según el Dr. G.F. TAGG, en su libro PROC. IEE, vol. II, nº 12 de Diciembre de 1964, dice que la verdadera resistencia de tierra de un sistema de electrodos se obtiene cuando la pica de potencial P está situada a una distancia del centro eléctrico del sistema, igual al 61,8% de la distancia desde el centro eléctrico hasta la pica de corriente C. (Figura 11).

Esta idea de la regla del 61,8% la vamos a utilizar también para medidas de tierras de grandes electrodos. Vamos a tener problemas de limitación de espacio, para la situación de las picas.

Los métodos a seguir para este método son los que siguen: (figuras 12 y 13)

a) Elegimos E de forma arbitraria dentro del sistema de electrodos.

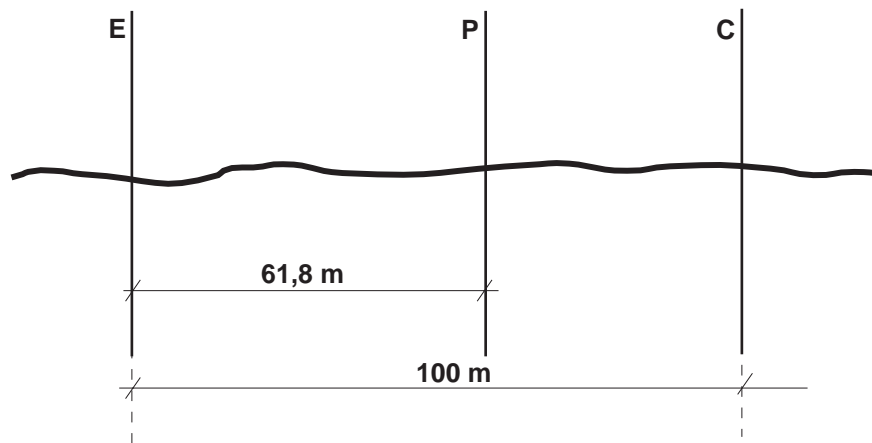


Fig. 11.

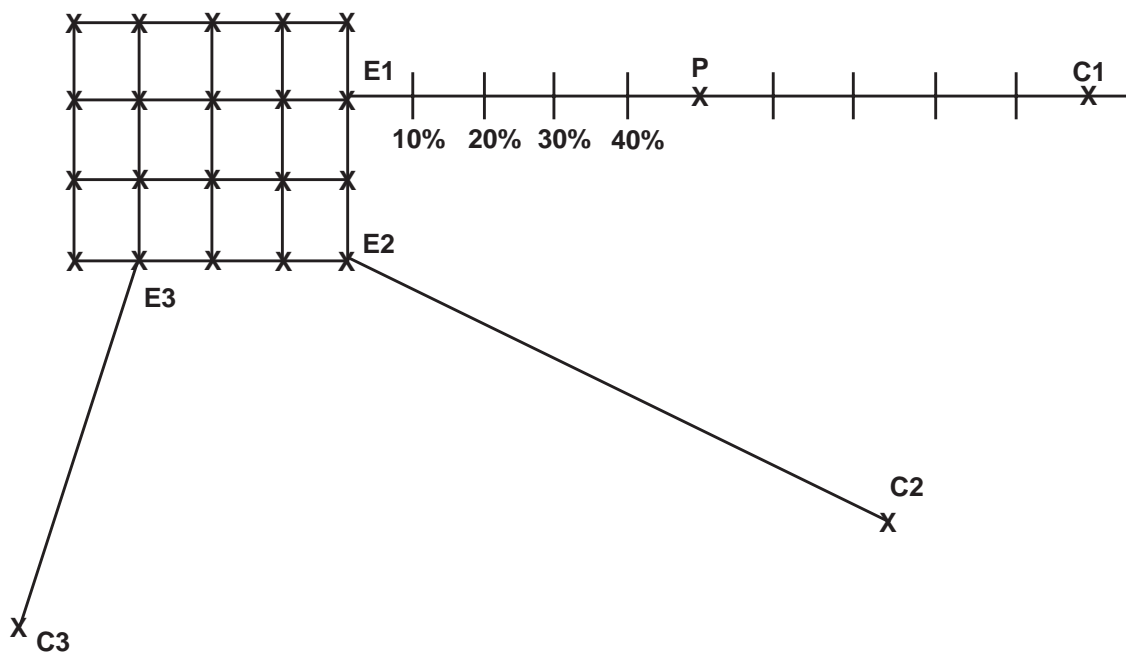


Fig. 12.

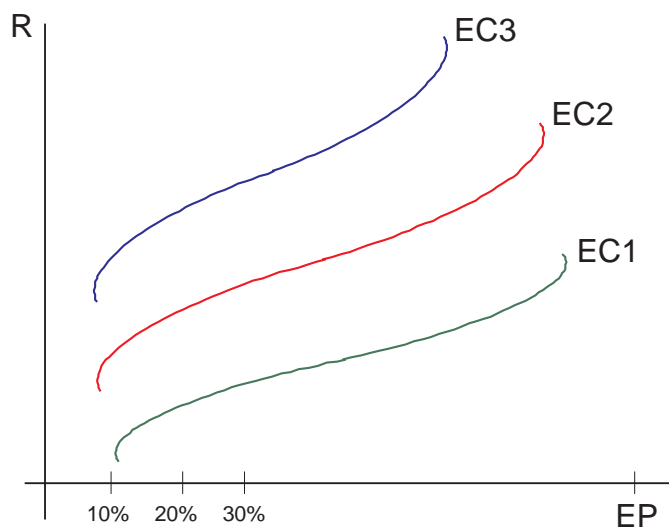


Fig. 13.

- b) Llevamos C lo más lejos posible que se pueda.
- c) Hacer todas las medidas, situando P al 10%, 20%, 30%, etc., hasta el 90% de EC.
- d) Dibujar los valores de R obtenidos a las diferentes distancias, de ellos deduciremos la curva EC1.
- e) Repetiremos el proceso con la misma E (o punto de contacto de la malla de electrodos) y otra distancia C. Obtendremos la curva EC2, de forma similar a la anterior.
- f) Repetiremos con nuevos valores de EC, obteniendo EC3.
- g) Estas tres curvas puede ocurrir que se corten en un punto, el cual será el valor de

resistencia requerida como resultado. Sin embargo esto no es lo normal. La teoría del Dr. Tagg introduce un nuevo concepto que es el valor λ que es la distancia entre nuestro punto E y el punto de electrodo equivalente del sistema. Haremos la transformación con nuestras tres curvas halladas anteriormente. (Figura 14).

Realizaremos la transformación siguiente, utilizando la regla del 61,8%:

$$\lambda + EP = 61,8\% (\lambda + ECN)$$

$$\lambda = \frac{0,618ECN - EP}{1 - 0,618} = \frac{0,618ECN - EP}{0,382}$$

$$\lambda = 1,617 ECN - 2,617 EP$$

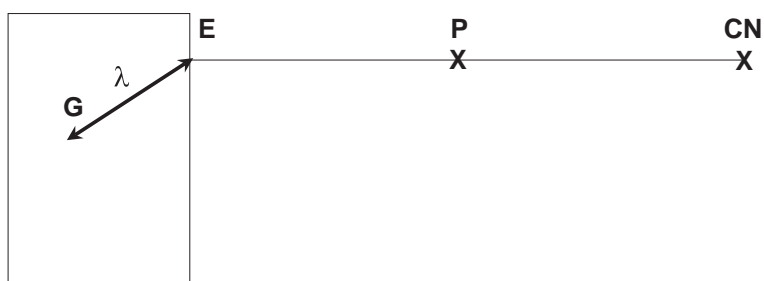


Fig. 14.

Para cada una de las tres curvas anteriores, sabiendo EC y los diferentes valores de EP obtendremos una curva R en función de λ , como se observa en la **figura 15**.

El verdadero valor de resistencia será el punto de intersección o centro del área comprendida entre curvas. (**Figura 16**).

h) Los valores de λ pueden darnos resultados negativos, pero el valor de resistencia será igualmente válido.

i) Para saber la distancia exacta EP, sustituiremos en la fórmula el valor de λ hallado.

$$EP = 0,618 ECN - 0,382 \lambda$$

Pudiendo utilizarse este valor EP, para posteriores medidas de mantenimiento.

j) A todas las medidas anteriormente realizadas, habrá que introducir el factor de corrección anteriormente descrito: la resistencia del cable de medida.

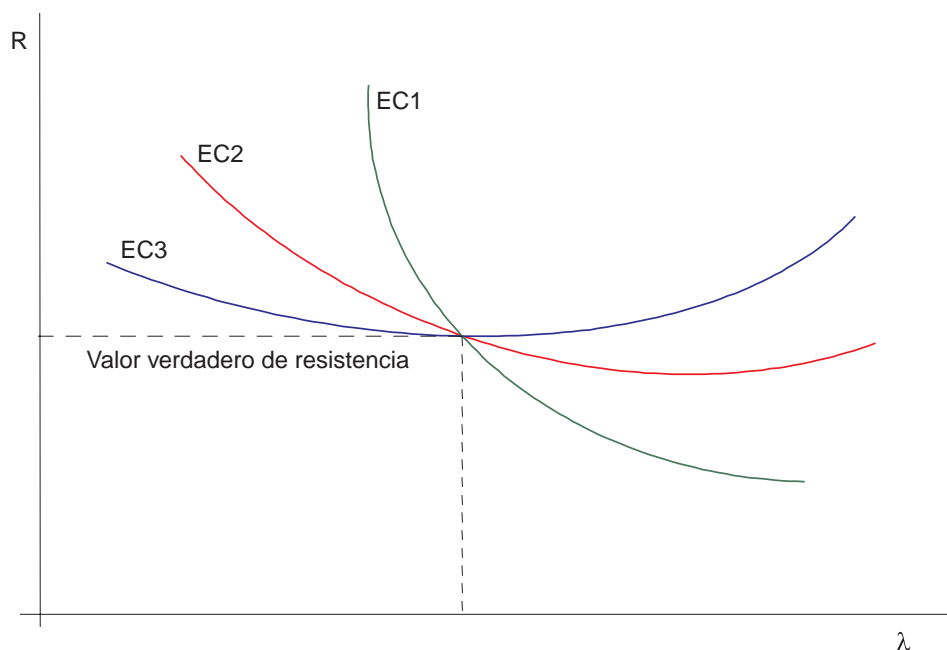


Fig. 15.

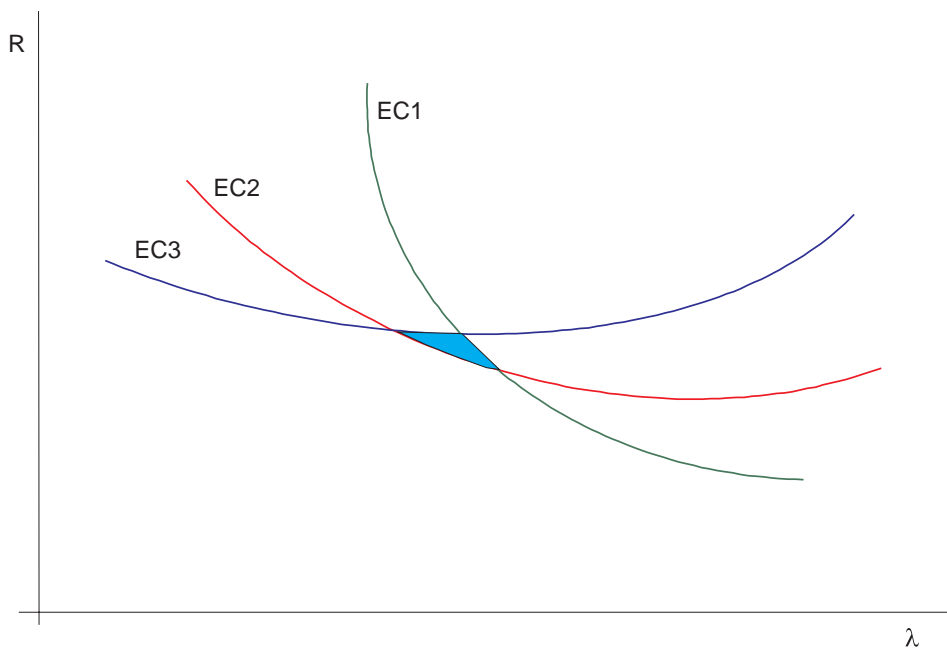


Fig. 16.

8 Medición de la resistividad del terreno

Establecer una buena red de p.a.t. es de primordial importancia en cualquier instalación eléctrica por razones de seguridad y resulta en ocasiones imperativo para el correcto funcionamiento de los equipos y protecciones.

Elegir el correcto emplazamiento de un sistema de electrodos de tierra es algo a

decidir en las primeras fases del proyecto, de otro modo se corre el riesgo de precisar inversiones excesivas para lograr una buena red y quizá hasta resulte imposible.

Para elegir un buen emplazamiento y dimensionar la red se hace prioritaria la medida de la resistividad del terreno en las inmediaciones de la futura instalación.

8.1 Resistividad del suelo

La naturaleza de la tierra puede ser considerada como un perfecto conductor de la electricidad y su resistencia viene determinada por la resistividad de su capa superior, es decir, el suelo.

El suelo en sí mismo es un buen aislante y solamente llega a hacerse conductor (con pocas excepciones) en presencia de agua en su seno. Por otro lado también el agua

desmineralizada es un aislante y solamente es conductora cuando contiene sales solubles en ella.

El efecto del agua en la resistividad del suelo dependerá de la cantidad de sales disueltas. Consiguientemente la resistividad del suelo dependerá de las condiciones climáticas, de su habilidad para retener el agua, de su compactación, etc.

8.2 Medida de la resistividad del suelo

Al margen de otras consideraciones, el instrumento de medida deberá ser de corriente alterna por las siguientes razones:

a) La aplicación de cc en el agua con sales disueltas podría dar lugar a fenómenos electrolíticos que confundirían los resultados.

b) En el suelo a veces están presentes corrientes parásitas o vagabundas,

particularmente en las inmediaciones de instalaciones de potencia, éstas podrían falsear la medida.

Empleando corriente alterna en la medida de una frecuencia algo mayor a la industrial, puede sintonizarse la respuesta del equipo de modo que resulte improbable la influencia externa.

8.3 Método «Wenner»

Este método fue desarrollado por Frank Wenner y publicado en la Scientific Paper of the Bureau of Standards nº 258 de 11 de octubre de 1915 siendo el normalmente utilizado en la actualidad para la medida de la resistividad del terreno.

El método establece el paso de corriente entre dos electrodos alineados en el suelo, y mide la tensión presente, debida a esta corriente en otros dos electrodos. Los cuatro electrodos son equidistantes con separación «a» y en línea recta.

La disposición habitual es con los dos electrodos de corriente en los extremos, como se indica en la **figura 17**.

La resistencia medida resultante (R) permite determinar la resistividad (ρ) buscada por la fórmula: $\rho = 2 \pi a R$

Otras disposiciones de los electrodos permiten obtener (ρ) de acuerdo a la siguiente tabla:

CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS				FÓRMULA RESISTIVIDAD
C	P	P	C	$\rho = 2 \pi a R$
P	C	C	P	
C	C	P	P	$\rho = 6 \pi a R$
P	P	C	C	
C	P	C	P	$\rho = 3 \pi a R$
P	C	P	C	

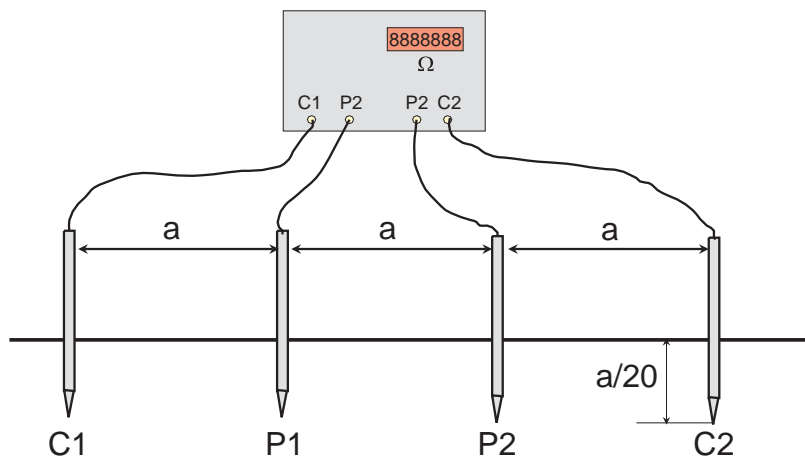


Fig. 17.

9 Investigación del suelo en capas inferiores

El propósito de esta investigación es conocer cómo varía la resistividad a medida que aumenta la profundidad.

El primer paso sería marcar el punto del suelo bajo el cual pretendemos investigar. Este punto será el punto medio de los cuatro electrodos.

Seleccionamos un valor de «a» y los cuatro electrodos hincados en el suelo en línea recta a ambos lados del punto medio. Los electrodos no se clavarán a una profundidad mayor de 1/20 de «a».

La resistencia medida permite determinar «ρ» como se dijo anteriormente a la profundidad «a». A continuación incrementaremos el valor de «a» y repetiremos el ensayo a diferentes valores a 1, a 2, a3, etc.

Con los valores de «ρ» obtenidos a varias profundidades se confecciona un gráfico que determine la variación de «ρ» función de «a».

10 Medida de las tensiones de paso y contacto

Como anteriormente se indicó, es preceptiva la medición de las tensiones de paso y contacto en las inmediaciones de las instalaciones de p.a.t. a fin de asegurar que los valores posibles en caso de falta estén por debajo de aquéllos considerados como peligrosos.

«Toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en cualquier punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma donde las personas puedan circular o permanecer, éstas queden sometidas como máximo a las tensiones de paso y contacto (durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella) que resulten de la aplicación de las fórmulas que se recogen a continuación» MIE-RAT, ITC 13 p. 1.1.

Aclara a continuación que dicha tensión máxima de **contacto aplicada** aceptable será función del tiempo de exposición de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ca = \frac{K}{t^n}$$

siendo:

K = 72 y n = 1 para tiempos inferiores a 0,9 seg.

K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 e inferiores a 3 seg.

t = duración del defecto en seg.

Para tiempos entre 3 y 5 seg. la tensión de **contacto aplicada** no será superior a 64 V.

Para tiempos superiores a 5 seg. la tensión de **contacto aplicada** no será superior a 50 V. El gráfico adjunto ilustra lo anteriormente expuesto. (Figura 18).

No se considerarán tiempos inferiores a 0,1 segundo salvo casos excepcionales justificados.

En la generalidad de las instalaciones de AT dotadas de interruptores automáticos y relés de protección indirectos el tiempo es inferior a 0,1 segundo por lo que las tensiones de contacto aplicadas admisibles alcanzan los 720 V.

Tiempo = T relé + T interruptor.

T relé = entre 10 y 20 ms (unidades instantáneas).

T interruptor = entre 40 y 60 ms (aparatos modernos).

**TENSIONES MAXIMAS DE CONTACTO
APLICABLES S/MIE-RAT ITC 13**

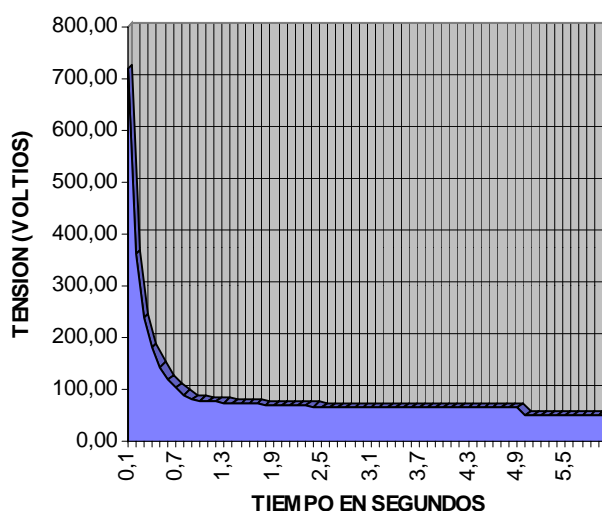


Fig. 18:

10.1 Método de medición

- a) Mediante el empleo del equipo adecuado inyectar una corriente alterna entre el electrodo de tierra y un electrodo auxiliar (dispersor).
- b) El valor de corriente a inyectar será determinado siguiendo las disposiciones reglamentarias.
- c) El dispersor habrá que emplazarlo a una distancia tal que el reparto de corriente que parte del electrodo resulte regular. Este

- aspecto será preferible determinarlo por ensayo en la propia instalación.
- d) Con un voltímetro de resistencia interna de 1000 Ω medir en el interior y en el exterior del área protegida las tensiones presentes en el suelo a distancias de 1 m y entre partes metálicas del voltímetro emplear dos pesos de 25 kg cada uno y 200 cm² de superficie de contacto con el suelo también cada uno.

10.2 Obtención de valores

Los resultados obtenidos en el ensayo habrá que referirlos a las condiciones presentes durante un fallo a tierra en la instalación, para ello bastará aplicar la fórmula siguiente:

$$\text{paso} = V_{\text{medida}} \frac{I_{\text{tierra}}}{I_{\text{ensayo}}}$$

Asimismo,

$$\text{contacto} = V_{\text{medida}} \frac{I_{\text{tierra}}}{I_{\text{ensayo}}}$$

Cuando se utilice el método de inversión de polaridad se tendrá en cuenta que:

Para la tensión de paso medida:

$$\text{p.medida} = \frac{V_{\text{pm}0^\circ} + V_{\text{pm}180^\circ}}{2}$$

Para la tensión de contacto medida:

$$c.\text{medida} = \frac{V_{cm0^\circ} + V_{cm180^\circ}}{2}$$

Siendo $V_{pm\ 0^\circ}$ y $V_{cm\ 0^\circ}$ las tensiones de paso y contacto respectivamente inyectadas en un sentido y $V_{pm\ 180^\circ}$ y $V_{cm\ 180^\circ}$ las inyectadas en sentido contrario.

A continuación se listan los valores de tensión máxima admisible entre mano y pie, tensión de contacto y entre pie y pie, tensión de paso, según el tiempo **t (seg.)** que tarde en despejarse el defecto de acuerdo con la fórmula (1).

t (seg.)	contacto	paso
0,1	720,00	7200,00
0,2	360,00	3600,00
0,3	240,00	2400,00
0,4	180,00	1800,00
0,5	144,00	1440,00
0,6	120,00	1200,00
0,7	102,86	1028,57
0,8	90,00	900,00
0,9	80,00	800,00
1	78,50	785,00
1,1	77,16	771,65
1,2	75,97	759,66
1,3	74,88	748,79
1,4	73,89	738,87
1,5	72,97	729,75
1,6	72,13	721,32
1,7	71,35	713,49

Se comprende la facilidad que este ensayo puede entrañar riesgos para el personal operador y para las personas en general, si los valores de I son elevados, toda vez que, a priori, desconocemos si van a aparecer gradientes de potencial elevados. Las medidas deben realizarse por personal especializado y extremando las condiciones de seguridad.

Es importante, delimitar la zona donde se efectúan las mediciones mediante cintas, carteles de señalización, señales luminosas si fuera necesario, etc. principalmente en los alrededores de los electrodos que se emplean como toma de tierra auxiliar, que puede estar constituida por varios electrodos de barra.

Un equipo como el que se presenta a continuación de la casa C.E.E. puede estar constituido por dos partes:

a) **Módulo de alimentación.**

b) **Unidad de medida.**

a) El **módulo de alimentación** conteniendo todos los órganos de alimentación, de ajuste y de medida montado sobre cuatro ruedas y provisto de cuatro tiradores para extracción con dispositivo de bloqueo.

Sobre la parte trasera existe una puerta que se abre con llave permitiendo el acceso a los bornes de conexión para las sondas y las picas y está provista de un microinterruptor que impide el cierre del telerruptor general del módulo si la puerta está abierta.

Dos orificios laterales permiten introducir los conductores y operar con la puerta cerrada.

La alimentación del conjunto se puede efectuar a partir de una red monofásica de 220 V o bien de 380 V, 50 Hz.

A este efecto, sobre el frontal del módulo se ha previsto un conmutador con posición cero inicial para la elección de la tensión de alimentación.

b) La **Unidad de medida** contenida en un rack 19" va alojada en un hueco del módulo de alimentación y conectada a sus circuitos mediante un conector accesible abriendo la puerta inferior del conjunto.

Además de otros mandos e instrumentos indicadores (como se indica en la leyenda más detalladamente), sobre la unidad de medida existe un instrumento indicador digital para la medida de **Vm**, con indicación de polaridad (\pm), para una lectura más clara del valor de dicha tensión.

Anexo 1: Módulo de alimentación del equipo de comprobación Vp y Vc de la casa C.E.E.

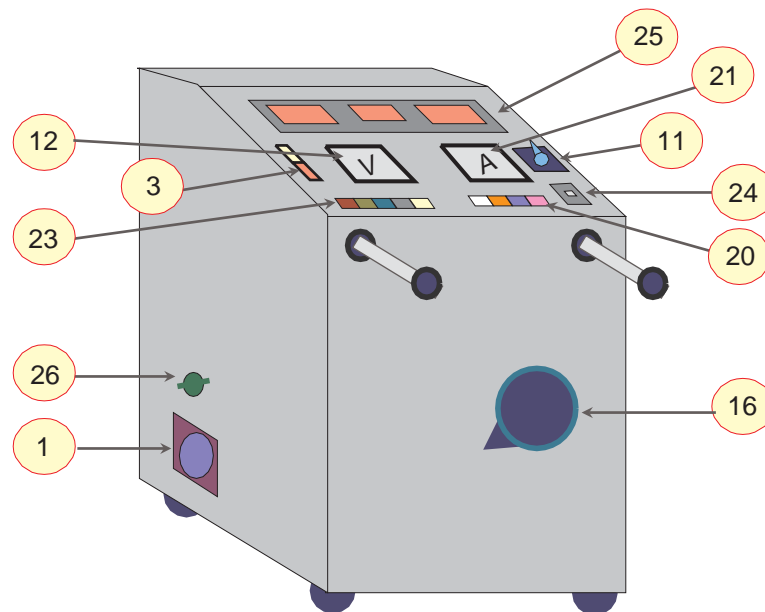


Fig. 19: Módulo de Alimentación del Equipo de comprobación de Vp y Vc de la casa C.E.E.

1. Toma de alimentación red.
2. Micro-interruptor protección salida de corriente.
3. Telerruptor principal.
4. Telerruptor para pruebas corriente 0°.
5. Telerruptor para pruebas corriente 180°.
6. Relé de mando telerruptor (4).
7. Relé de mando telerruptor (5).
8. Bornes para conexión de las sondas.
9. Toma para conexión del módulo de medida.
10. Hueco para el alojamiento del módulo de medida.
11. Conmutador alimentación red 220 V ó 380 V.
12. Voltímetro para tensión de salida.
13. Transformador de medida de tensión.
14. Transformador alimentación auxiliar.
15. Transformador generador corriente/tensión.
16. Regulador de la tensión de salida.
17. Transformador generador corriente/tensión.
18. Relé elección suministro de tensión.
19. Relé elección suministro de corriente.
20. Lámpara señalización.
21. Amperímetro para la corriente de salida.
22. Bornes salida de corriente.
23. Botones-pulsadores para elección gama de tensión.
24. Botones-pulsadores para elección gama de corriente.
25. Módulo de medida.
26. Bornes para la conexión a tierra.
27. Fusible de protección para la alimentación.

Anexo 2: Unidad de medida del equipo de comprobación Vm y Vc de la casa C.E.E.

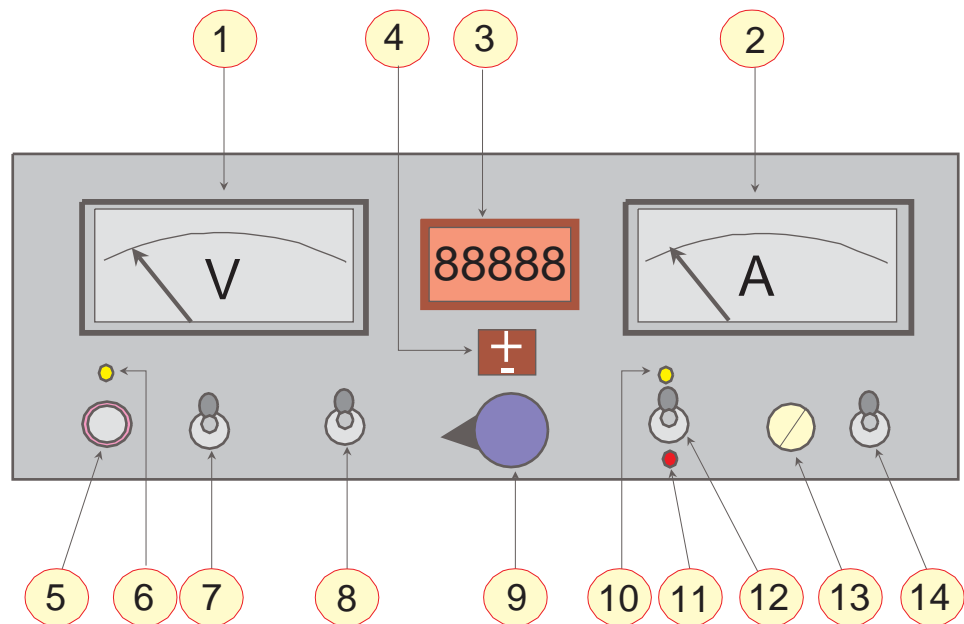


Fig. 20: Unidad de medida del equipo de comprobación de Vm y Vc de la casa C.E.E.

1. Voltímetro indicador de la tensión V_t detectada por las sondas.
2. Amperímetro indicador de la corriente suministrada.
3. Voltímetro indicador de la tensión V_m .
4. Indicador de la polaridad de la tensión V_m .
5. Botón-pulsador para rearmar el dispositivo de sobrecarga de la capacidad de V_t .
6. Señalización de sobrecarga de la capacidad de V_m .
7. Conmutador inestable para la elección de la capacidad del voltímetro (1) 3-30-300 V (con retorno automático a la posición de 300 V)
8. Conmutador para la elección de la resistencia de entrada de medida: 3K y 100K.
9. Conmutador para la elección de la capacidad de fondo de escala del voltímetro (3) de nueve posiciones 0,3 - 300 V.
10. Led indicador para las pruebas a 0° .
11. Led indicador para las pruebas a 180° .
12. Conmutador inversor de la corriente de prueba.
13. Fusibles protección de red (0,1 A).
14. Interruptor de red.

Anexo 3: Conexiones

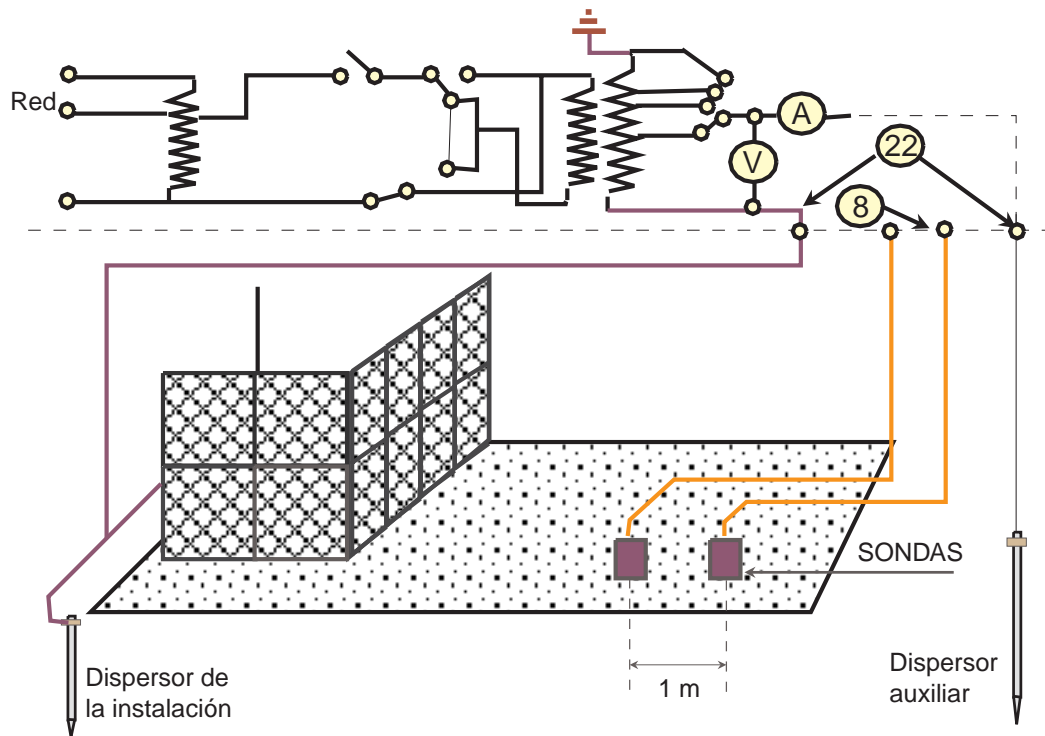


Fig. 21: Conexiones del equipo para la Verificación de la Tensión de paso.

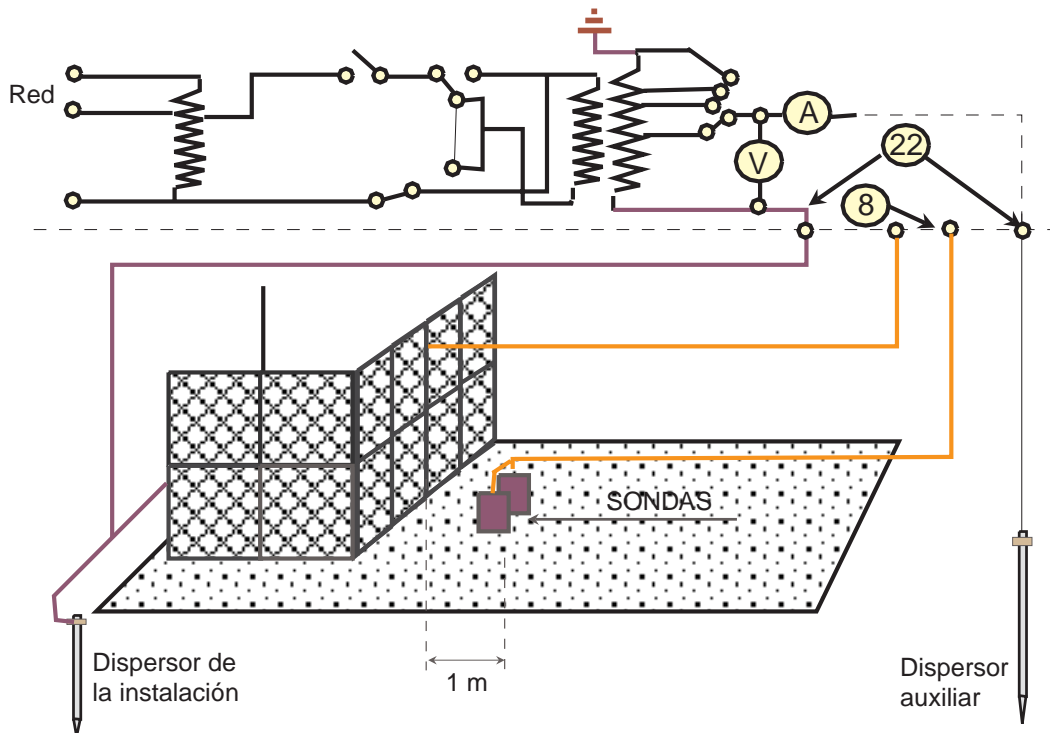


Fig. 21: Conexión del equipo para la verificación de la tensión de contacto.

Con carácter general se considera que las zonas más conflictivas de una instalación, considerando que es de mayor exigencia el cumplimiento de tensión de contacto, las siguientes:

- puertas de acceso,
- rejillas de ventilación,
- tomas de masa,
- vértices de las mallas,

- cercados,
- arquetas,
- carriles de rodadura.

Es conveniente que los electrodos de medición, hagan un **buen contacto eléctrico** con el terreno ya que en caso contrario, la caída de tensión por mal contacto, desvirtuaría ligeramente la medición. Para ello se recomienda humedecer el terreno en la zona a medir.

Anexo 4: Tabla de valores de p/c para distintos valores de «μ»

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.40	0.6432	6431	6429	6428	6426	6425	6423	6422	6420	6419
0.41	0.6418	6416	6415	6413	6412	6410	6409	6408	6406	6405
0.42	0.6403	6402	6400	6399	6397	6396	6395	6393	6392	6390
0.43	0.6389	6387	6386	6384	6383	6382	6380	6379	6377	6376
0.44	0.6374	6373	6372	6370	6369	6367	6366	6364	6363	6361
0.45	0.6360	6359	6357	6356	6354	6353	6351	6350	6348	6347
0.46	0.6346	6344	6343	6341	6340	6338	6337	6336	6334	6333
0.47	0.6331	6330	6328	6327	6325	6324	6323	6321	6320	6318
0.48	0.6317	6315	6314	6312	6311	6310	6308	6307	6305	6304
0.49	0.6302	6301	6300	6298	6297	6295	6294	6292	6291	6289
0.50	0.6288	6286	6285	6283	6282	6280	6279	6277	6276	6274
0.51	0.6273	6271	6270	6268	6267	6265	6264	6262	6261	6259
0.52	0.6258	6256	6255	6253	6252	6252	6248	6247	6245	6244
0.53	0.6242	6241	6239	6238	6236	6235	6233	6232	6230	6229
0.54	0.6227	6226	6224	6223	6221	6220	6218	6217	6215	6214
0.55	0.6212	6210	6209	6207	6206	6204	6203	6201	6200	6198
0.56	0.6197	6195	6194	6192	6191	6189	6188	6186	6185	6183
0.57	0.6182	6180	6179	6177	6176	6174	6172	6171	6169	6168
0.58	0.6166	6165	6163	6162	6160	6159	6157	6156	6154	6153
0.59	0.6151	6150	6148	6147	6145	6144	6142	6141	6139	6138
0.60	0.6136	6134	6133	6131	6130	6128	6126	6125	6123	6121
0.61	0.6120	6118	6117	6115	6113	6112	6110	6108	6107	6105
0.62	0.6104	6102	6100	6099	6097	6096	6094	6092	6091	6089
0.63	0.6087	6086	6084	6083	6081	6079	6076	6076	6074	6073
0.64	0.6071	6070	6068	6066	6065	6063	6061	6060	6058	6057
0.65	0.6055	6053	6052	6050	6049	6047	6045	6044	6042	6040
0.66	0.6039	6037	6036	6034	6032	6031	6029	6027	6026	6024
0.67	0.6023	6021	6019	6018	6016	6015	6013	6011	6010	6008
0.68	0.6006	6005	6003	6002	6000	5998	5997	5995	5993	5992
0.69	0.5990	5989	5987	5985	5984	5982	5980	5979	5977	5976
0.70	0.5974	5973	5971	5969	5967	5965	5964	5962	5960	5959
0.71	0.5957	5955	5953	5952	5950	5948	5947	5945	5943	5942
0.72	0.5940	5938	5936	5935	5933	5931	5930	5928	5926	5924
0.73	0.5923	5921	5920	5918	5916	5914	5912	5911	5909	5907
0.74	0.5906	5904	5902	5900	5899	5897	5895	5894	5892	5890
0.75	0.5889	5887	5885	5883	5882	5880	5878	5877	5875	5873
0.76	0.5871	5870	5868	5866	5865	5863	5861	5859	5858	5856
0.77	0.5854	5853	5851	5849	5847	5846	5844	5842	5841	5839
0.78	0.5837	5835	5834	5832	5830	5829	5827	5825	5824	5822
0.79	0.5820	5818	5817	5815	5813	5812	5810	5808	5806	5805
0.80	0.5803	5801	5799	5797	5796	5794	5792	5790	5788	5786
0.81	0.5785	5783	5781	5779	5777	5775	5773	5772	5770	5768
0.82	0.5766	5764	5762	5760	5759	5757	5755	5753	5751	5749
0.83	0.5748	5746	5744	5742	5740	5738	5736	5735	5733	5731
0.84	0.5729	5727	5725	5723	5722	5720	5718	5716	5714	5712
0.85	0.5711	5709	5707	5705	5703	5701	5699	5698	5696	5694
0.86	0.5692	5690	5688	5686	5685	5683	5681	5679	5677	5675
0.87	0.5674	5672	5670	5668	5666	5664	5662	5661	5659	5657
0.88	0.5655	5653	5651	5650	5648	5646	5644	5642	5640	5638
0.89	0.5637	5635	5633	5631	5629	5627	5625	5624	5622	5620
0.90	0.5618	5616	5614	5612	5610	5608	5606	5604	5602	5600
0.91	0.5598	5596	5594	5592	5590	5588	5586	5584	5582	5580
0.92	0.5578	5576	5574	5572	5570	5568	5565	5563	5561	5559
0.93	0.5557	5555	5553	5551	5549	5547	5545	5543	5541	5539
0.94	0.5537	5535	5533	5531	5529	5527	5525	5523	5521	5519
0.95	0.5517	5515	5513	5511	5509	5507	5505	5503	5501	5499
0.96	0.5497	5495	5493	5491	5489	5487	5485	5483	5481	5479
0.97	0.5477	5475	5473	5471	5469	5467	5464	5462	5460	5458
0.98	0.5456	5454	5452	5450	5448	5446	5444	5442	5440	5438
0.99	0.5436	5434	5432	5430	5428	5426	5424	5422	5420	5418

(continuación)

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.00	0.5416	5414	5412	5409	5407	5405	5403	5400	5398	5396
1.01	0.5394	5391	5389	5387	5385	5383	5380	5378	5376	5374
1.02	0.5371	5369	5367	5365	5362	5360	5358	5356	5354	5351
1.03	0.5349	5347	5345	5344	5340	5338	5336	5333	5331	5329
1.04	0.5327	5325	5322	5320	5318	5316	5313	5311	5309	5307
1.05	0.5305	5302	5300	5298	5296	5293	5291	5289	5287	5284
1.06	0.5282	5280	5278	5276	5273	5271	5269	5267	5264	5262
1.07	0.5260	5258	5255	5253	5251	5249	5247	5244	5242	5240
1.08	0.5238	5235	5233	5231	5229	5229	5224	5222	5219	5217
1.09	0.5215	5213	5211	5209	5206	5204	5202	5200	5197	5195
1.10	0.5193	5190	5188	5185	5183	5180	5178	5175	5173	5170
1.11	0.5168	5165	5163	5160	5158	5155	5153	5150	5148	5145
1.12	0.5143	5140	5137	5135	5132	5130	5127	5125	5122	5120
1.13	0.5118	5115	5113	5110	5108	5105	5103	5100	5098	5095
1.14	0.5093	5090	5088	5085	5083	5080	5078	5075	5073	5070
1.15	0.5068	5065	5062	5060	5057	5055	5052	5050	5047	5045
1.16	0.5042	5040	5037	5035	5032	5030	5027	5025	5022	5020
1.17	0.5017	5015	5012	5010	5007	5005	5002	5000	4997	4995
1.18	0.4992	4990	4987	4985	4982	4980	4977	4975	4972	4970
1.19	0.4967	4965	4962	4960	4957	4955	4952	4950	4947	4945
1.20	0.4942	4939	4936	4933	4930	4928	4925	4922	4919	4916
1.21	0.4913	4910	4907	4904	4901	4899	4896	4893	4890	4887
1.22	0.4884	4881	4878	4875	4872	4870	4867	4864	4861	4858
1.23	0.4855	4852	4849	4846	4843	4841	4838	4835	4832	4829
1.24	0.4826	4823	4820	4817	4814	4812	4809	4806	4803	4800
1.25	0.4797	4794	4791	4788	4785	4783	4780	4777	4774	4771
1.26	0.4768	4765	4762	4759	4756	4754	4751	4748	4745	4742
1.27	0.4739	4736	4733	4730	4727	4725	4722	4719	4716	4713
1.28	0.4710	4707	4704	4701	4698	4696	4693	4690	4687	4684
1.29	0.4681	4678	4675	4672	4669	4667	4664	4661	4658	4655
1.30	0.4652	4649	4645	4642	4638	4635	4631	4628	4625	4621
1.31	0.4618	4614	4611	4607	4604	4601	4597	4594	4590	4586
1.32	0.4583	4580	4577	4573	4570	4566	4563	4559	4556	4553
1.33	0.4549	4546	4542	4539	4535	4532	4529	4525	4522	4518
1.34	0.4515	4511	4508	4505	4501	4498	4494	4491	4487	4484
1.35	0.4481	4477	4474	4470	4467	4463	4460	4457	4453	4450
1.36	0.4446	4443	4439	4436	4432	4429	4426	4422	4419	4415
1.37	0.4412	4408	4405	4402	4398	4395	4391	4388	4384	4381
1.38	0.4378	4374	4371	4367	4364	4360	4357	4354	4350	4347
1.39	0.4343	4340	4336	4333	4330	4326	4323	4319	4316	4312
1.40	0.4309	4305	4301	4296	4292	4288	4284	4280	4275	4271
1.41	0.4267	4263	4258	4254	4250	4246	4242	4237	4233	4229
1.42	0.4225	4221	4216	4212	4208	4204	4200	4195	4191	4187
1.43	0.4183	4178	4174	4170	4166	4162	4157	4153	4149	4145
1.44	0.4141	4136	4132	4128	4124	4120	4115	4111	4107	4103
1.45	0.4099	4094	4090	4086	4082	4077	4073	4069	4065	4061
1.46	0.4056	4052	4048	4044	4040	4035	4031	4027	4023	4018
1.47	0.4014	4010	4005	4001	3997	3993	3989	3985	3980	3976
1.48	0.3972	3968	3964	3959	3955	3951	3947	3943	3938	3934
1.49	0.3930	3926	3921	3917	3913	3909	3905	3900	3896	3892
1.50	0.3888	3883	3878	3874	3869	3864	3859	3854	3850	3845
1.51	0.3840	3835	3830	3825	3820	3816	3811	3806	3801	3796
1.52	0.3791	3786	3781	3776	3771	3766	3760	3755	3750	3745
1.53	0.3740	3735	3730	3724	3719	3714	3709	3704	3698	3693
1.54	0.3688	3683	3677	3672	3667	3662	3656	3651	3646	3640
1.55	0.3635	3630	3624	3619	3613	3608	3602	3597	3591	3586
1.56	0.3580	3574	3569	3563	3557	3552	3546	3540	3534	3528
1.57	0.3523	3517	3511	3506	3500	3494	3488	3482	3477	3471
1.58	0.3465	3459	3453	3447	3441	3435	3429	3423	3417	3411
1.59	0.3405	3399	3393	3386	3380	3374	3368	3362	3355	3349