


MEDICIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN


1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DE ESTE MANUAL: “MEDICIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN”

Este manual está pensado para todos aquellos que en su actividad se ven involucrados en la medición de parámetros de seguridad en las instalaciones eléctricas de baja tensión - ya sean nuevas o modificadas- o en el mantenimiento de las mismas. En este manual el operario podrá encontrar explicación a muchos problemas, tanto teóricos como prácticos, a la hora de llevar a cabo mediciones, así como indicaciones para resolver dichos problemas mediante la utilización de los equipos de medida **KOBAN** .

Éstos son los principales objetivos de este manual:

1. Presentar brevemente la Norma Europea **EN 61557**, la cual describe los requisitos de seguridad que deben cumplir los instrumentos de medida que miden los parámetros de seguridad de las instalaciones de baja tensión. Esta Norma ha sido de obligado cumplimiento en la mayoría de los países de la UE desde el 1 de diciembre de 1.997.
2. Describir la realización de mediciones individuales en la instalación eléctrica. Mediciones obligatorias y no obligatorias se incluyen, las cuales ayudan a eliminar los errores, mantener la instalación, conectar cargas, etc. Para cada tipo de medición se explica el principio de medida y su realización práctica, para los distintos tipos de instalación que nos podemos encontrar. Del mismo modo se incluyen en cada caso los parámetros más importantes a medir y los valores límites estipulados por la Norma. Todas las mediciones están ilustradas.
3. Describir la mejor aproximación tecnológica para la realización de cada medición con el instrumento más adecuado a tal respecto. La experiencia que se refleja en las explicaciones de este manual ayudará al usuario de estos instrumentos a reducir el tiempo necesario para la preparación y realización de todos los procesos de medición y su posterior registro e impresión de los resultados obtenidos.
4. Transmitir los mejores consejos y recomendaciones a todos los clientes potenciales, con la intención de dirigirles hacia la correcta elección de su equipo de medida.

La familia completa de equipos de medida de **KOBAN**  para la comprobación de los parámetros de seguridad de las instalaciones de baja tensión se describe de forma detallada al final de este manual.

2. NORMATIVAS EUROPEAS SOBRE INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para asegurar las condiciones para un uso seguro de la energía eléctrica, seguridad de las instalaciones eléctricas, su comprobación y mantenimiento, se han hecho grandes esfuerzos en elaborar las normas apropiadas.

Durante la elaboración de la norma unificada tuvieron lugar una serie de cambios en las normas existentes, los cuales fueron bien conocidos tanto por los fabricantes como los usuarios de los equipos de medición.

Aunque la norma general de seguridad **IEC 1010-1** y su posterior adaptación europea **EN 61010** trataba la seguridad general de los instrumentos de medida, faltaba el punto de vista de seguridad para el uso de estos instrumentos en instalaciones de baja tensión. Con el fin de hacer los arreglos necesarios para los principios de tratamiento de los instrumentos de medida en el campo de las instalaciones eléctricas hasta 1.000 V c.a. y 1.500 V c.c., IEC y CENELEC prepararon y establecieron de forma conjunta la familia de normas **EN 61557**, las cuales en gran medida siguen las pautas de la norma alemana **DIN VDE 0413**. Para los comités nacionales de los países individuales de la Unión Europea la nueva norma se manifiesta de la siguiente forma:

- El establecimiento de reglamentos nacionales internos que cubran la misma línea de aplicación que la EN 61557 y la eliminación de los reglamentos internos que se opongan a la norma mencionada, o
- Simplemente la eliminación de los reglamentos internos que se opongan a la norma EN 61557.

La consideración de la nueva norma significa la introducción y aplicación de cambios en la construcción o en la producción para los fabricantes de instrumentos de medida. Por común acuerdo, y debido a que cada cambio necesita un determinado tiempo para entrar en vigor, la fecha establecida para los cambios introducidos fue el 1 de diciembre de 1.997.

El fabricante también consideró las demandas de la nueva norma cuando desarrolló su nueva familia de equipos multi-función.

La norma EN 61557 se divide en unas cuantas partes, cada una de ellas en referencia a la seguridad en cada una de las distintas mediciones en las instalaciones eléctricas.

- EN 61557 Parte 2 Resistencia de aislamiento
- EN 61557 Parte 3 Impedancia de bucle de defecto
- EN 61557 Parte 4 Continuidad de las puestas a tierra y conductores equipotenciales
- EN 61557 Parte 5 Resistencia de tierra
- EN 61557 Parte 6 Interruptores diferenciales (RCD-ELCB) en sistemas TT y TN de puestas a tierra
- EN 61557 Parte 7 Secuencia de fases en sistemas trifásicos.
- EN 61557 Parte 8 Dispositivos de indicación de aislamiento en sistemas IT

3. NORMATIVAS EUROPEAS SOBRE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Este dominio está cubierto a nivel internacional por la norma IEC 60364-x, mientras que a nivel europeo la mencionada norma está establecida y armonizada a partir de la norma HD 384-x.

Cada país en concreto tiene su propia norma nacional. A continuación se listan algunas:

- Alemania VDE 0100 - x (prácticamente idéntica, con partes individuales de la norma europea HD 384 - x).
- Inglaterra BS 7671: Requisitos para instalaciones eléctricas IEE Normativas de cableados 16ª edición
folletos de interpretación:
HB 10011
HB 10116 ÷ HB 10121
HB 10123
- Austria ÖNORM B 5430 ÷ ÖNORM B 5435
- Francia NF C15 - 100
- **España..... UNE 20 - 460 - x – x, REBT 2002.**
- Italia..... CEI 64 - 8
- República Checa CSN 33 2130
CSN 2000 - x - x
- Finlandia..... SF S 5825
- Noruega TH 30995

4. GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Observe la figura de abajo para aclarar de qué instalaciones hablaremos a continuación. Dicha figura muestra el límite entre la red de suministro energético y la instalación eléctrica de un edificio, parte objetivo de este manual.

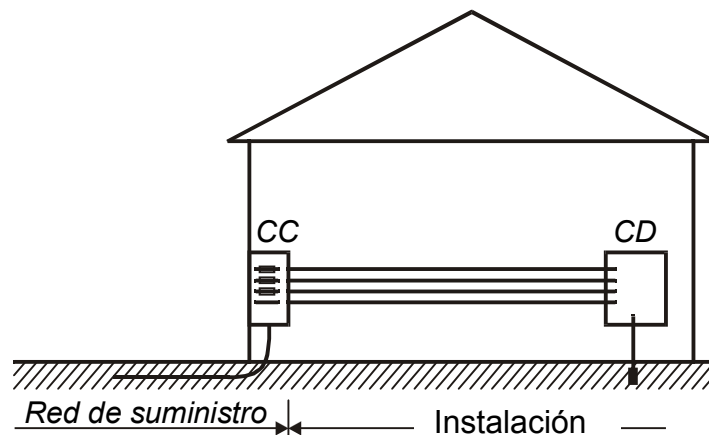


Fig. 1. División entre la instalación eléctrica y la red de suministro

CC Cuadro de conexión
CD Cuadro de distribución

Algunas mediciones que se llevan a cabo dentro de la instalación también incluyen una parte de la red de suministro y fuente (p.ej. la impedancia de línea y bucle de defecto, resistencia de tierra en sistemas TN, etc.)

La realización de instalaciones eléctricas es determinada por las normas. Generalmente las instalaciones se dividen en más grupos en función de la aplicación, forma de la onda de tensión, tipo de sistema de puesta a tierra, etc.)

En función de la aplicación de las instalaciones, éstas se dividen en tres grupos:

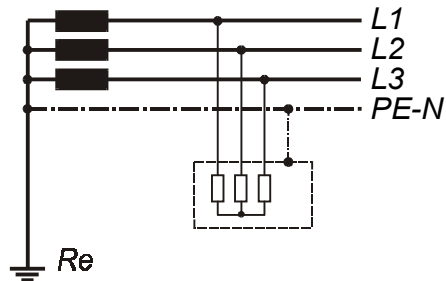
- **Instalaciones de baja tensión en edificios** para tensiones c.a. hasta 250 V con respecto a tierra (residencias, oficinas, almacenes, colegios, edificios públicos, casas rurales, etc.)
- **Instalaciones de baja tensión en edificios** para tensiones c.a. hasta 250 V con respecto a tierra o tensiones c.c. hasta 900 V (maquinaria industrial, motores de inducción, sistemas de galvanización y calentamiento, etc.)
- **Instalaciones en tensiones de seguridad**, tensiones hasta 50 V c.a. ó 120 V c.c. (telefonía, antenas de T.V., domótica, sistemas de megafonía, telecomunicaciones, redes locales de datos, etc.)

En función de la forma de la onda de tensión, existen dos grupos:

- **Instalaciones para tensiones c.a.**
- **Instalaciones para tensiones c.c.**

En función del tipo de sistema de puesta a tierra (neutro del transformador y partes conductoras accesibles de cargas y aplicaciones) las instalaciones se dividen en los siguientes grupos:

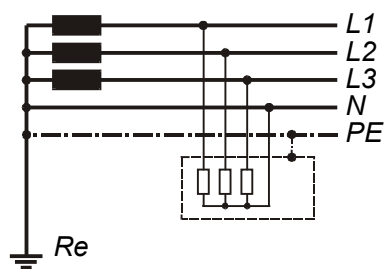
a) Sistema TN-C



- *Neutro y conductor de tierra comunes, conectados a la tierra del transformador*
- *Partes conductoras accesibles conectadas a dicho conductor común PE-N*

Fig. 2. Sistema TN-C

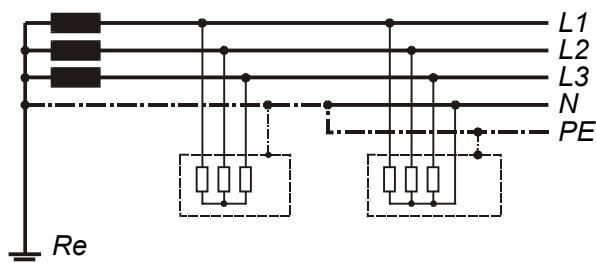
b) Sistema TN-S



- *Neutro y conductor de tierra conectados a la tierra del transformador por separado*
- *Partes conductoras accesibles conectadas al conductor de tierra*

Fig. 3. Sistema TN-S

c) Sistema TN-C-S



- *Neutro y conductor de tierra juntos o separados, según lugar*
- *Partes conductoras accesibles conectadas parcialmente al conductor de tierra y neutro*

Fig. 4. Sistema TN-C-S

En las instalaciones de tipo TN-C-S es importante saber que los conductores N y PE no se deben volver a interconectar una vez que el conductor común N-PE se ha separado en N y PE.

d) Sistema TT

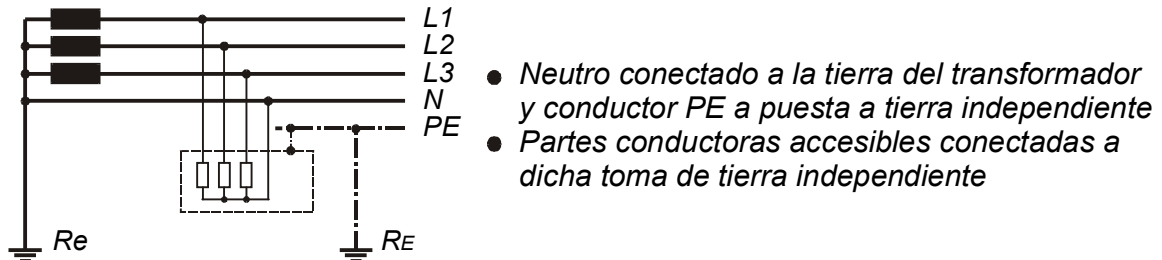


Fig. 5. Sistema TT

e) Sistema IT

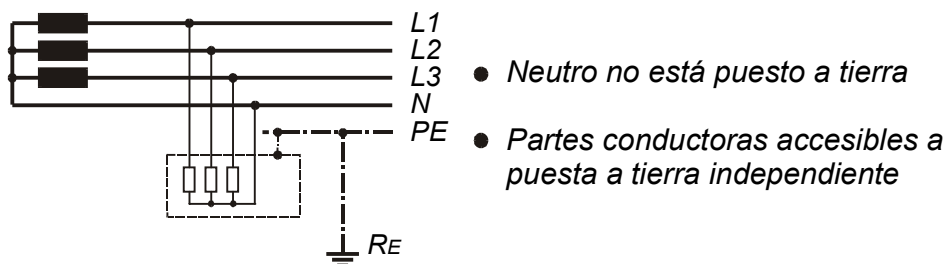


Fig. 6. Sistema IT

Términos básicos que serán manejados en este manual

- **Parte conductora accesible activa** es la parte conductora de una instalación eléctrica o carga que puede ser tocada por un ser humano, por ejemplo la carcasa de una lavadora. Dicha parte estará exenta de tensión, salvo en condiciones defectuosas.
- **Parte conductora accesible pasiva** es una parte conductora accesible que no forma parte de la instalación eléctrica o carga, por ejemplo tuberías de calefacción, radiadores, estructura metálica (vigas) del edificio, etc.
- **Descarga eléctrica** efecto patofísico que produce la corriente eléctrica al circular a través del cuerpo humano.
- **Pica de tierra** parte conductora o grupo de ellas que se introducen en el terreno asegurando un contacto bueno y permanente con el mismo.
- **Tensión nominal (Un)** tensión a la que la instalación eléctrica o partes de la misma, como cargas conectadas a ella son declaradas. Algunas características de la instalación hacen mención a esta tensión, como p. ej. la potencia.

- **Tensión de defecto (U_f)** es la tensión que aparece entre las partes conductoras accesibles activas de una instalación y las pasivas (o tierra ideal), en caso de un defecto en una carga conectada a la tensión del sistema. La figura de abajo (fig. 7) muestra la tensión de defecto (U_f) y la división de ésta en la tensión de contacto (U_c) y la caída de tensión en la resistencia de los zapatos/suelo (U_s).

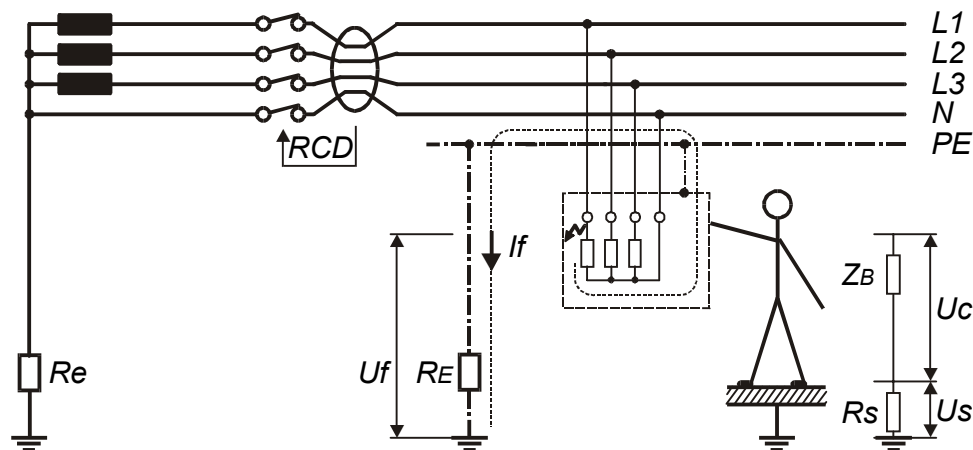


Fig. 7. Presentación de las tensiones U_f , U_c y U_s en caso de defecto en una carga eléctrica.

- RCD..... Interruptor diferencial (Residual Current Device).
 Z_B Impedancia del cuerpo humano.
 R_s Resistencia del suelo y zapatos.
 R_E Resistencia a tierra de las partes conductoras accesibles activas.
 I_f Corriente de defecto.
 U_c Tensión de contacto.
 U_s Caída de tensión en suelo/zapatos.
 U_f Tensión de defecto.

$$U_f = U_c + U_s = I_f \times R_E$$

- **Tensión de contacto (U_c)** es la tensión a la que está expuesto el cuerpo humano en caso de tocar la parte conductora accesible activa de la carga con defecto. El cuerpo está en el suelo o en contacto con partes accesibles pasivas.
- **Tensión de contacto límite (U_L)** es la máxima tensión de contacto que puede estar presente de forma continua bajo unas condiciones extremas, como por ejemplo, la presencia de agua.
- **Corriente de carga nominal (I_{cn})** es la corriente que circula por la carga en condiciones normales, a la tensión nominal del sistema.
- **Corriente de instalación nominal (I_{in})** es la corriente para la que la instalación está dimensionada, en condiciones normales de funcionamiento.
- **Corriente de defecto (I_f)** es la corriente que circula por las partes conductoras accesibles activas, y luego a tierra en caso de defecto en cargas del sistema.
- **Corriente de fuga (I_L)** es la corriente que suele circular a través de los materiales aislantes o elementos capacitivos a tierra en condiciones normales.
- **Corriente de cortocircuito (I_{cc})** es la corriente que circula en caso de producirse un cortocircuito entre dos puntos con distintos potenciales.

5. MEDICIONES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN EDIFICIOS

5.1. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN 61557-2

Una apropiada resistencia de aislamiento entre partes vivas de la instalación y otras accesibles del entorno (partes conductoras accesibles activas) es un parámetro básico de seguridad que protege contra contactos directos e indirectos del cuerpo humano. También es de suma importancia un correcto aislamiento entre partes vivas de la instalación, para evitar posibles cortocircuitos.

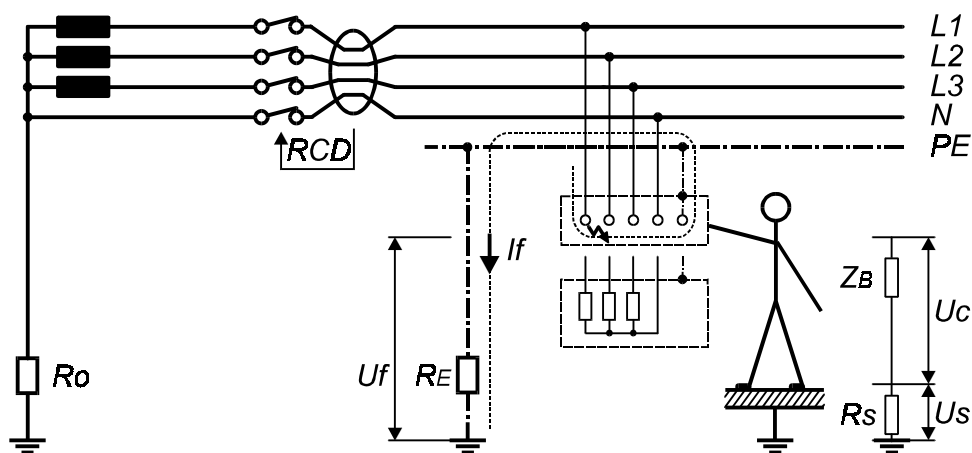


Fig. 8. Un ejemplo de aislamiento defectuoso en una caja de conexión permanente de una carga, con la aparición de la consecuente tensión de defecto U_f .

- I_f Corriente de defecto.
- U_c Tensión de contacto.
- U_s Caída de tensión en la resistencia de suelo y zapatos.
- Z_B Impedancia del cuerpo humano.
- R_s Resistencia del suelo y zapatos.
- R_E Resistencia de tierra de partes conductoras accesibles activas.
- U_f Tensión de defecto.

$$U_f = U_c + U_s = I_f \cdot R_E$$

La figura de arriba muestra una caja de conexión con un aislamiento defectuoso entre el conductor de línea y la carcasa metálica. Debido a esta situación se produce una corriente de defecto I_f circulando a través del conductor de protección al terreno, a través de la resistencia a tierra en la pica de la instalación. A la caída de tensión que produce esta corriente en la resistencia de tierra se la llama **tensión de defecto**.

En la práctica se usan distintos materiales de aislamiento. Indistintamente del material utilizado, la resistencia de aislamiento debe ser tan alta como lo exigido por la norma en cada caso.

Generalidades sobre las mediciones de resistencia de aislamiento

Las mediciones de resistencia de aislamiento se deben llevar a cabo antes de conectar la alimentación general a la instalación. Todos los interruptores deben estar cerrados y las cargas desconectadas, para que el resultado final de la instalación no se vea influenciado por ninguna carga. El principio de medición se muestra a continuación en el siguiente esquema:

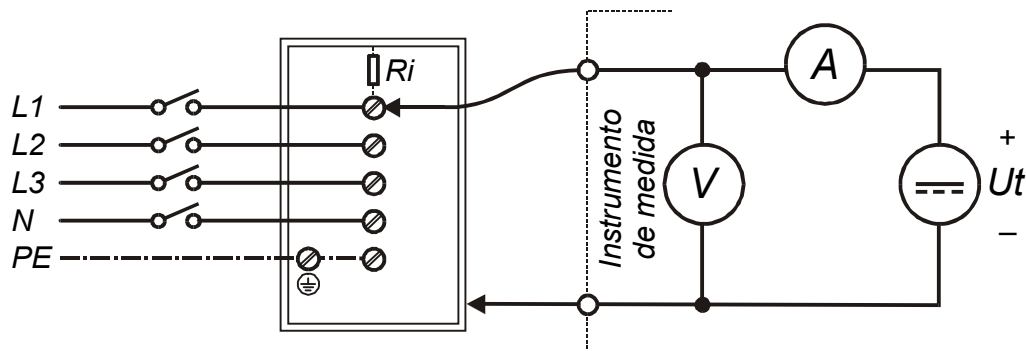


Fig. 9. Principio de medición de la resistencia de aislamiento

Se usa el método U-I

Resultado = $U_t / I = R_i$, donde:

- U_t Tensión c.c. de prueba medida por el voltímetro.
 I Corriente de prueba que circula a través de la resistencia de Aislamiento R_i , y medida en el amperímetro (según la norma EN 61557 el generador deberá crear una corriente de al menos 1 mA a la tensión nominal de prueba).
 R_i Resistencia de aislamiento.

El valor de la tensión de prueba depende de la tensión nominal de la instalación comprobada. En el caso de nuestros instrumentos Eurotest 61557, Instaltest 61557 ó Earth – Insulation Tester, las tensiones de prueba son las siguientes:

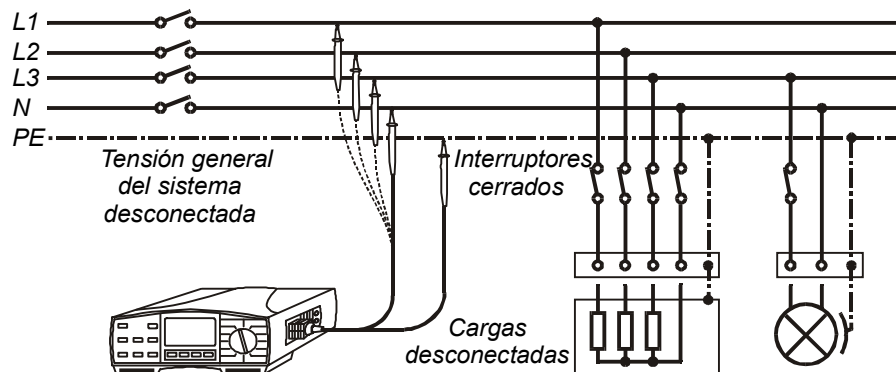
- 50 Vc.c.
- 100 Vc.c.
- 250 Vc.c.
- 500 Vc.c.
- 1000 Vc.c.

El Instaltest 61557 y el Earth – Insulation Tester pueden, además de las tensiones listadas arriba, generar cualquier tensión entre 50 y 1000 V en saltos de 10 V. Las tensiones de prueba nominales prescritas, definidas por la tensión del sistema, se listan en la tabla 2, en la página siguiente.

5.1.1. Medición de la resistencia de aislamiento entre conductores

Las medidas se deben llevar a cabo entre todos los conductores según se explica:

- Cada conductor de fase L1, L2 y L3 contra el neutro N.
- Cada conductor de fase L1, L2 y L3 contra el conductor de protección PE.
- El conductor de fase L1 contra L2 y L3 por separado.
- El conductor de fase L2 contra L3.
- El conductor neutro N contra el conductor de protección PE.



- **Fig. 10.** Un ejemplo de medición de resistencia de aislamiento entre el conductor PE y los otros, usando el Eurotest 61557, Instaltest 61557 o el Earth-Insulation Tester.

Notas!

- Desconecte la tensión del sistema antes de comenzar con la prueba!
- Todos los interruptores deben estar cerrados durante la prueba!
- Todas las cargas deben ser desconectadas durante la prueba!

Los menores valores de resistencia de aislamiento son definidos por las reglamentaciones pertinentes, y se muestran en la siguiente tabla:

Tensión nominal del sistema	Tensión c.c. nominal de prueba (V)	Resistencia de aislamiento más baja permitida (MΩ)
Baja tensión de seguridad	250	0,25
Tensión hasta 500 V, excepto bajas tensiones de seguridad	500	0,5
Tensiones superiores a 500 V	1000	1,0

Tabla 2. Los valores más bajos de resistencia de aislamiento permitidos, medidos entre los conductores del sistema. Como se observa, es necesaria una razón mínima de **1kΩ por cada voltio aplicado**.

5.1.2. Medición de resistencia en paredes y suelos no conductores

Cuando las partes conductoras accesibles activas de las cargas con aislamiento básico, debido a, p. ej., procedimientos de medida en un laboratorio, no pueden ser conectadas al conductor de protección PE, la habitación con suelos y paredes no conductoras puede usarse como medida de seguridad. La disposición de los equipos (cargas) debe hacerse de modo que:

- No sea posible tocar de forma simultánea dos partes conductoras accesibles activas con diferentes potenciales, en caso de un defecto básico de aislamiento.
- No sea posible tocar de forma simultánea cualquier combinación de partes conductoras accesibles activas y pasivas.

El conductor de protección PE, el cual podría generar tensiones de defecto peligrosas hasta el potencial del suelo, no está permitido en habitaciones no conductoras. Las paredes y suelos no conductores protegen al operario en caso de un defecto básico de aislamiento.

La resistencia de estas paredes y suelos no conductores se medirá con un medidor de resistencia de aislamiento usando el procedimiento descrito a continuación. Se debe usar el electrodo de medida especial descrito en el dibujo:

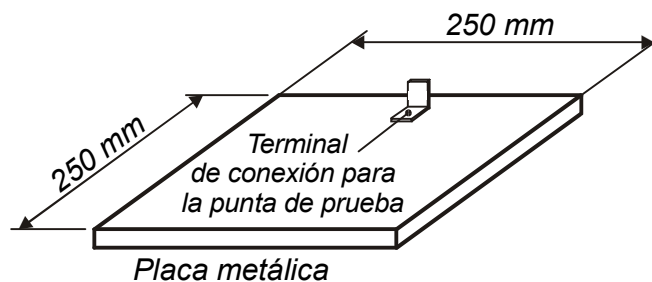


Fig. 11. Electrodo de medida

La medición se debe realizar entre el electrodo de medida y el conductor de protección PE, accesible fuera de la habitación no conductora puesta a prueba.

Para asegurar un mejor contacto eléctrico se colocará un trapo mojado de unos 270mm x 270 mm entre el electrodo de medida y la superficie bajo prueba, aplicando una fuerza de 750N (suelo) ó 250N (pared) sobre el electrodo durante la prueba.

El valor de la tensión de prueba será:

- 500 V la tensión del sistema con respecto a tierra es mayor de 500 V
- 1000 V la tensión del sistema con respecto a tierra es menor de 500 V

El valor medido y corregido (ver capítulo 5) será superior de:

- 50 k Ω la tensión del sistema con respecto a tierra es menor de 500 V
- 100 k Ω la tensión del sistema con respecto a tierra es mayor de 500 V

Notas!

- Se recomienda realizar la medición usando ambas polaridades en la tensión de prueba (invertir puntas de prueba) y tomar el valor medio como valor válido.
- Espere hasta que el resultado se estabilice en el display para tomarlo como válido.

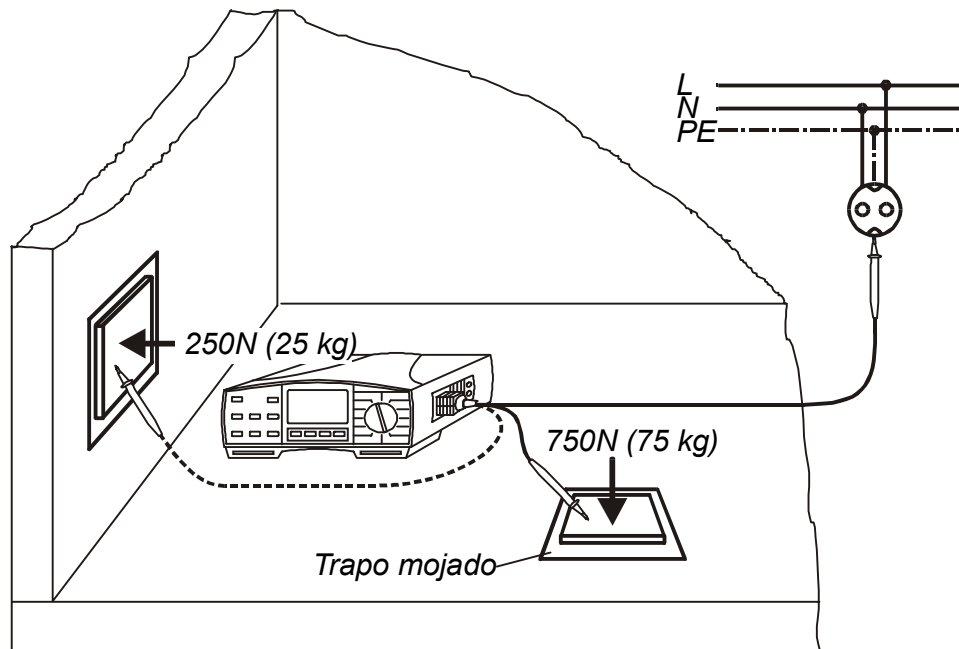


Fig. 12. Medida de la resistencia de suelos y paredes en habitaciones no conductoras con el Eurotest 61557, Insatltest 61557 ó el Earth – Insulation Tester

5.1.3. Medición de resistencia en suelos semiconductores

En algunos casos como almacenes de materiales inflamables, polvorines, zonas con riesgo de explosión/incendio, se necesitan suelos con una cierta conductividad. En dichos casos el suelo evita la generación de electricidades estáticas y pequeños potenciales con respecto a tierra.

Con el fin de lograr la resistencia del suelo apropiada se debe usar material semiconductor. Se debe medir la resistencia usando un medidor de aislamiento con tensiones de prueba entre 100 y 500 V.

La norma define un electrodo de prueba especial para estos casos, descrito en el siguiente esquema:

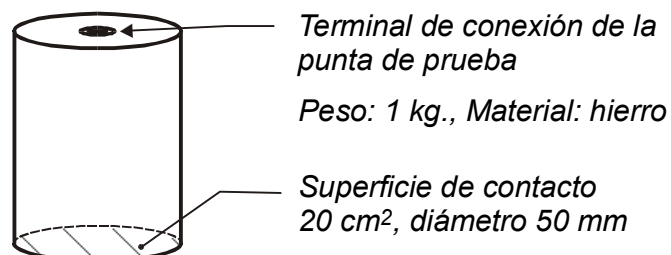


Fig. 13. Electrodo de prueba

El procedimiento de medida se presenta en la figura de abajo. Se debe repetir dicho procedimiento unas cuantas veces en distintos puntos y tomar el valor medio de ellos como valor válido.

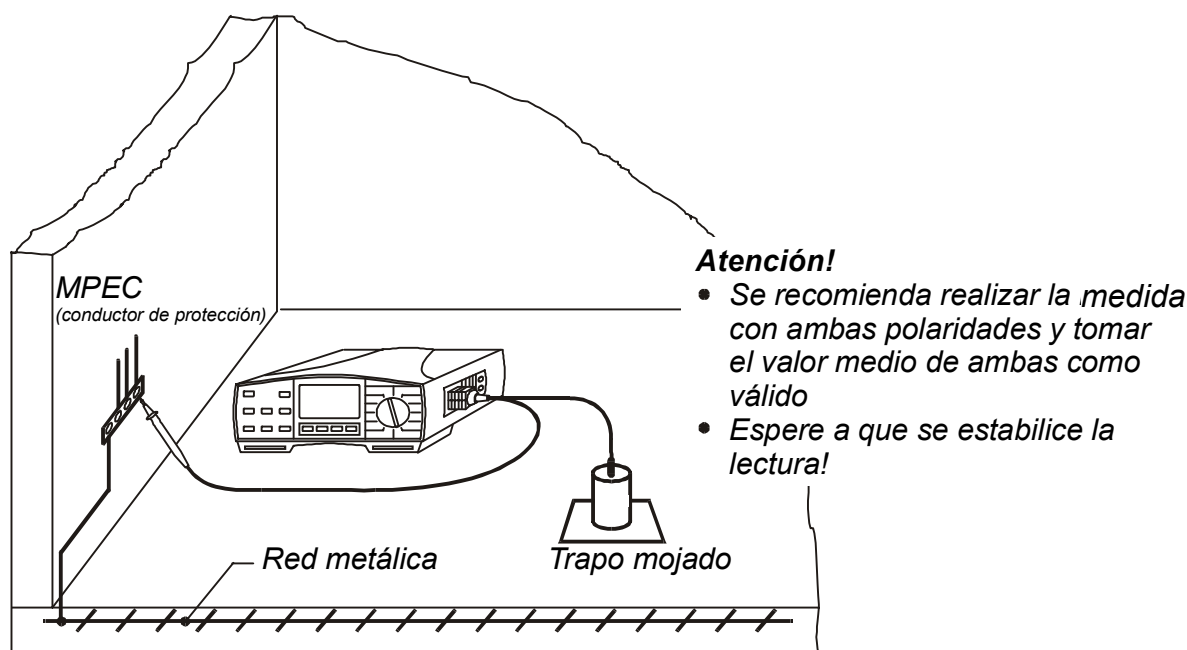


Fig. 14. Medida de resistencia de suelo semiconductor

La medida se debe realizar entre el electrodo de prueba y una red metálica que se suele instalar en estos casos bajo el suelo, conectada al conductor de protección PE. La dimensión del área donde se van a hacer las mediciones será al menos de $2 \times 2\text{m}$.

5.1.4. Resistencia de aislamiento en cables bajo suelo - $30\text{ G}\Omega$

La medición se debe realizar de la misma forma que en los cables de la instalación, excepto que la tensión de prueba debe ser de 1.000 V , dadas las condiciones de extrema exigencia que deben soportar estos conductores. Se debe hacer la prueba entre todos los conductores por separado, con la tensión del sistema desconectada. Se recomienda usar el Earth – Insulation Tester, ya que ofrece medidas de hasta $30\text{ G}\Omega$, bastante comunes en este tipo de cables.

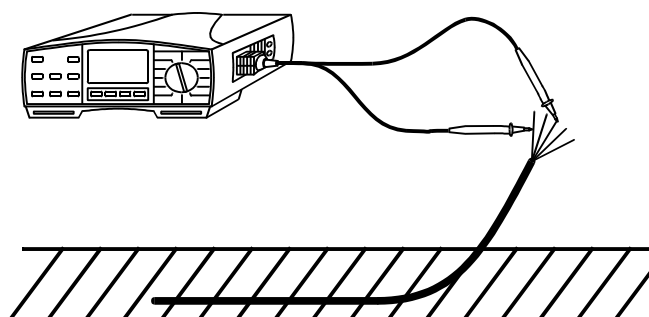


Fig. 15. Resistencia de aislamiento en cable bajo suelo usando el Earth-Insulation Tester.

5.2. CONTINUIDAD DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN PARA PUESTAS A TIERRA Y CONDUCTORES EQUIPOTENCIALES EN 61557- 4

Los conductores tratados en este apartado suponen una parte muy importante del sistema de protección, el cual evita la aparición de peligrosas tensiones de defecto (peligrosas tanto en su valor como en su duración). Estos conductores sólo realizarán su función de forma correcta si están propiamente dimensionados, instalados y conectados. Por ello es tan importante comprobar la continuidad y resistencias en las conexiones.

Generalidades sobre la medición

La norma permite realizar esta prueba con tensiones de prueba tanto c.c. como c.a., con valores entre 4 y 24 V. Los instrumentos mencionados en este manual usan tensión c.c. mediante el método U-I, cuyo principio elemental se muestra en la siguiente figura:

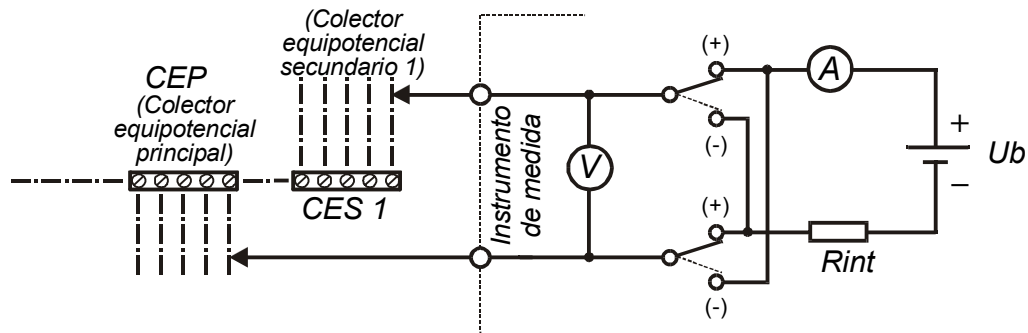


Fig. 16. Principio de medición

El generador interno del instrumento (batería) envía una corriente que circula por el bucle de prueba a través del amperímetro y una resistencia interna R_{int} . El voltímetro mide la caída de tensión y el instrumento calcula la resistencia R_x .

En el bucle de prueba la corriente puede atravesar conexiones en mal estado, normalmente oxidadas. Este tipo de conexiones pueden actuar como elementos galvánicos, cuya resistencia depende de la polaridad (como un diodo). Por este motivo la normativa exige que los instrumentos puedan admitir ambas polaridades. Los instrumentos KOBAN® realizan de forma automática la medición en ambas polaridades, calculando la resistencia según las ecuaciones expuestas a continuación, y mostrando el valor final (el mayor de ambos) en el display.

Result (+) = $U / I = R_x$ (+) relé en posición de línea completa (ver fig. 16)

Result (-) = $U / I = R_x$ (-) relé en posición de línea interrumpida (ver fig. 16)

donde:

U Caída de tensión medida por el voltímetro en la resistencia a medir R_x .

I Corriente generada por la batería U_b , medida por el amperímetro.

El resultado final se muestra en pantalla.

Si este resultado de la prueba es superior al límite (este valor es preajustable por el usuario) el instrumento emitirá una señal acústica de aviso. Mediante esta señal acústica, el usuario se puede centrar en la manipulación de las puntas de prueba, sin necesidad de mirar a la pantalla del instrumento.

En la práctica, a parte de los conductores de protección, se pueden encontrar distintas partes inductivas en el bucle de prueba, tales como devanados de motores, solenoides, transformadores, etc. Es importante que el instrumento de medida también sea capaz de medir la resistencia de dichos objetos. El Eurotest 61557, Instaltest 61557 y Earth – Insulation Tester pueden medirla.

Una resistencia demasiado elevada en los conductores de protección puede ser consecuencia de que éstos sean demasiado largos, secciones demasiado pequeñas, contactos defectuosos, conexiones erróneas, etc.

Los malos contactos suelen ser la causa principal en instalaciones viejas, mientras que en las instalaciones recientes las causas suelen ser las otras.

Dado que las mediciones de los conductores de protección pueden ser bastante complejas, conviene dividirlos en tres grupos:

- Mediciones de conductores de protección conectados al Colector Equipotencial Principal (CEP).
- Mediciones de conductores de protección conectados a Colectores Equipotenciales Secundarios (CES) dentro de un cuadro de distribución.
- Mediciones de conductores de protección para conexiones equipotenciales adicionales y locales.

Presentación de mediciones prácticas

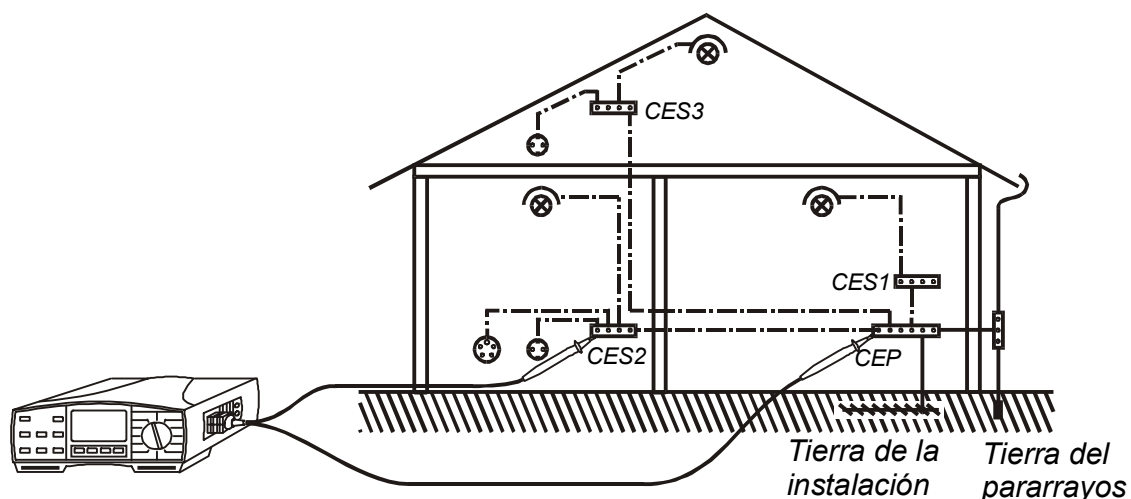


Fig. 17. Medición de continuidad entre CEP y CES

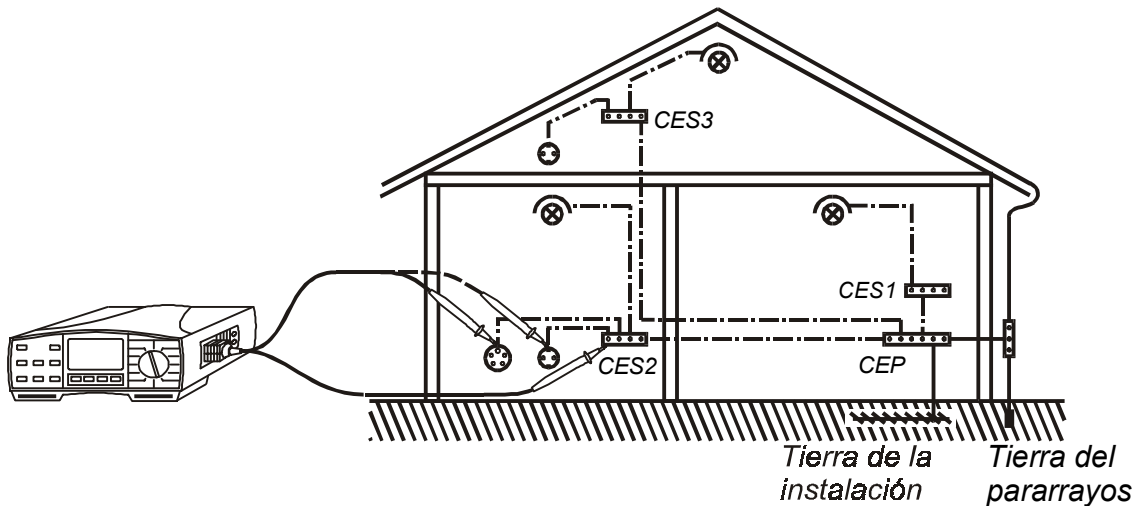


Fig. 18. Medición de continuidad dentro de un cuadro de distribución individual (debe medirse cada bucle de corriente)

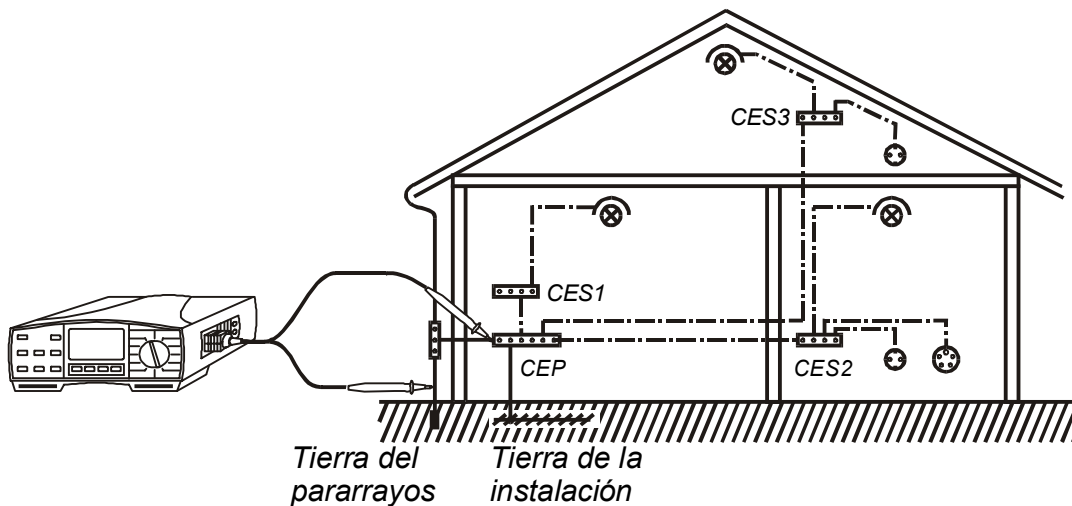


Fig . 19. Medición de continuidad entre el CEP y el conductor de protección contra rayos.

El resultado de la medición se debe corresponder con la siguiente condición:

RPE ≤ **UL** / **Ia**, donde:

- RPE..... Resistencia del conductor de protección medida.
- UL..... Tensión de contacto límite (normalmente 50 V).
- Ia Corriente que garantiza el salto del interruptor de protección:
 - Ia = IΔn para interruptores diferenciales
 - Ia = In para magnetotérmicos

Dado que los conductores comprobados pueden ser bastante largos, también lo deberán ser las puntas de prueba, por lo que éstas podrían tener una resistencia a considerar en la medición. Por ello es importante compensarlas antes de hacer la medición. En caso de no ser posible esto tendrá que tenerse en cuenta al final.

5.3. PROTECCIÓN EQUIPOTENCIAL ADICIONAL EN 61557- 4

En caso de que la protección equipotencial principal no sea suficiente para evitar la aparición de tensiones peligrosas de defecto, es necesario aplicar protección equipotencial adicional. Veamos un ejemplo de ambos tipos:

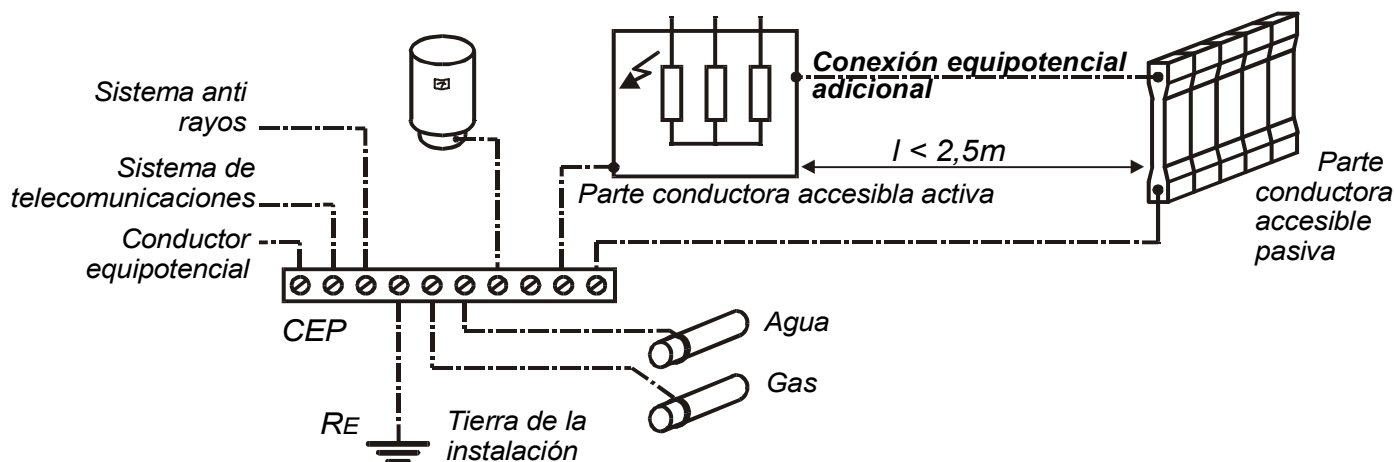


Fig. 20. Protección equipotencial principal y adicional

La protección equipotencial consiste en los conductores de protección conectados directamente a:

- Colector equipotencial principal, o
- Colectores equipotenciales secundarios

Los conductores de protección equipotencial adicional conectan partes conductoras accesibles pasivas:

- Directamente con partes conductoras accesibles activas, o
- Colectores equipotenciales adicionales (CEA)

En caso de defecto (cortocircuito) en una carga, p.ej. el motor trifásico de la figura 21 a continuación, se generaría una corriente de cortocircuito I_{cc} a través del conductor de protección equipotencial. Esta corriente podría causar una caída de tensión peligrosa U_c con respecto a tierra si la resistencia R_{PE} del conductor de protección es demasiado alta. Como las partes accesibles pasivas, p. Ej. El radiador de la figura, también están conectadas al potencial de tierra la tensión U_c estará presente entre las partes activas y pasivas, o sea, entre el motor y el radiador. Si la distancia entre ambos es inferior a 2,5 m., entonces estamos ante una situación peligrosa (acceso simultáneo a ambas partes).

Con el fin de evitar tales situaciones es necesario realizar conexiones equipotenciales adicionales entre la parte activa y pasiva (figs. 20 y 22).

Cómo determinar la necesidad de conexiones equipotenciales adicionales.

Para determinar la necesidad de este tipo de conexiones adicionales se debe calcular la resistencia del conductor de protección entre la parte conductora accesible activa y el CEP, tal y como se muestra en la figura 21 a continuación.

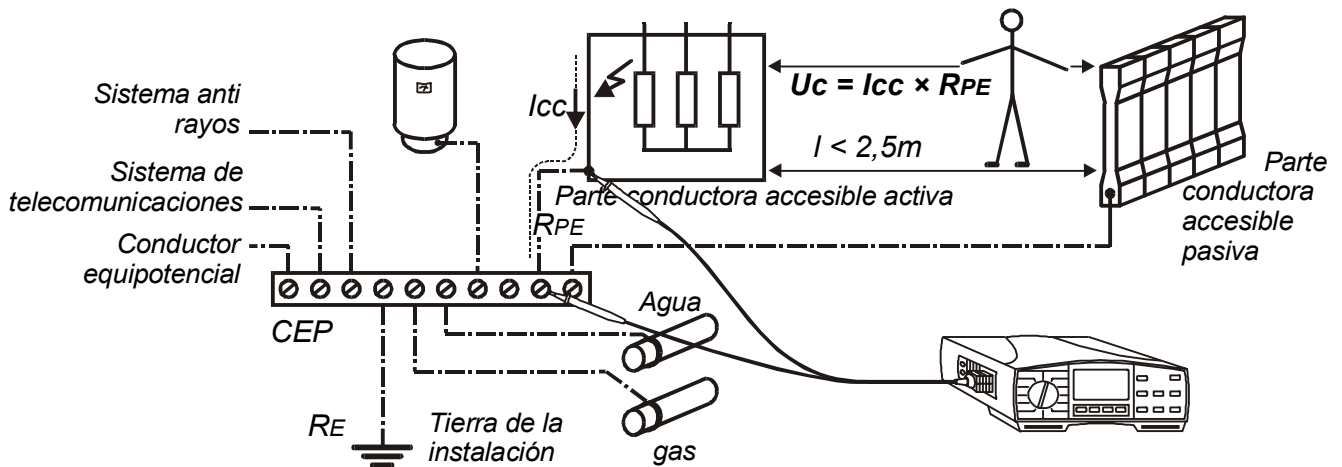


Fig. 21. Medición de la resistencia del conductor de protección para determinar la necesidad de conexión equipotencial adicional.

Si el resultado no está en concordancia con la condición recientemente vista ($R_{PE} \leq U_L / I_a$) es necesaria una conexión equipotencial adicional.

Una vez hecha dicha conexión se debe comprobar la eficiencia de la misma, midiendo la resistencia entre la parte activa y pasiva (fig. 22), debiéndose cumplir la misma condición de nuevo :

$$R \leq U_L / I_a \text{ (detalles en página 24)}$$

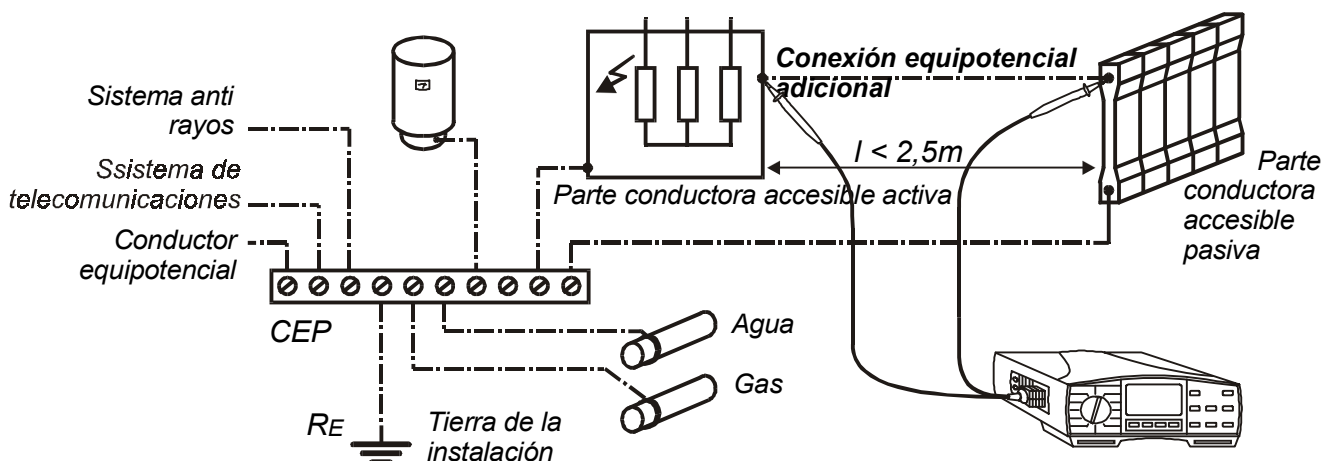


Fig. 22. Comprobación de la eficiencia de la conexión equipotencial adicional. En la práctica la resistencia de la conexión equipotencial principal puede excederse fácilmente, por lo que se deben procurar resistencias bajas para evitar posibles corrientes de defecto considerables.

El **Eurotest 61557** puede realizar además la medición directa de la tensión de contacto que se produce con respecto a partes conductoras accesibles activas. Veamos el principio de medición y conexiones:

Medida de la tensión de contacto mediante corriente de cortocircuito con respecto a partes conductoras accesibles activas.

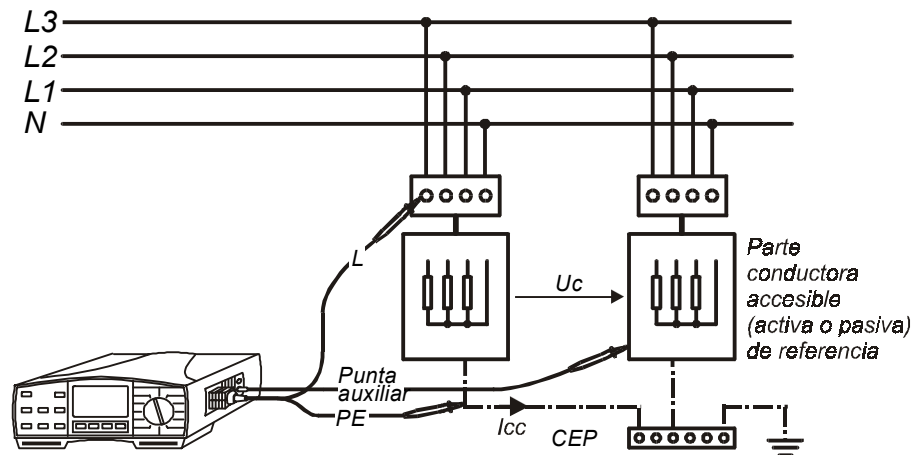


Fig. 23. Medida de la tensión de contacto mediante corriente de cortocircuito con respecto a partes conductoras accesibles activas con el Eurotest 61557

El instrumento carga de forma brusca la tensión del sistema entre la fase L y la toma de tierra PE de la parte conductora activa, lo cual genera una corriente que puede ascender hasta los 23 A. Esta corriente causa una determinada caída de tensión en el conductor de protección conectada entre la carga activa puesta a prueba y el colector equipotencial CEP. Al mismo tiempo se mide directamente la tensión U_c con respecto a otra parte conductora, activa o pasiva, entre su toma de tierra y la punta de prueba auxiliar a tal efecto. El valor obtenido se relaciona con la corriente de cortocircuito calculada por el Eurotest 61557.

En función del resultado se determina la necesidad de conexión equipotencial adicional.

Es de destacar la gran precisión del resultado debido a la alta corriente de prueba utilizada, pero el operario debe tener en cuenta que esta medición se puede realizar **únicamente si no hay interruptor diferencial** en el bucle de prueba, el cual es seguro que saltará durante la medición. En caso de que haya diferencial, se debe puntear durante el tiempo que dure la medición.

5.4. CONTINUIDAD (BAJAS RESISTENCIAS)

Es la función que habitualmente ofrecen los multímetros digitales, con avisador acústico, la cual es de gran utilidad para el mantenimiento de instalaciones eléctricas y instrumentos y máquinas conectadas a ellas, comprobación de fusibles, componentes electrónicos, localización de conexiones, etc. La ventaja de esta función con respecto a la anteriormente descrita para los conductores de protección es que la prueba es rápida y en un solo paso. Se utilizan corrientes de prueba bajas y no hay inversión de la polaridad de la tensión de prueba. Está pensada para comprobaciones rápidas. Los instrumentos Eurotest 61557, Instaltest 61557 y Earth-Insulation Tester (KMI 2088) ofrecen esta función.

Veamos el principio de medición mostrado en la figura de abajo:

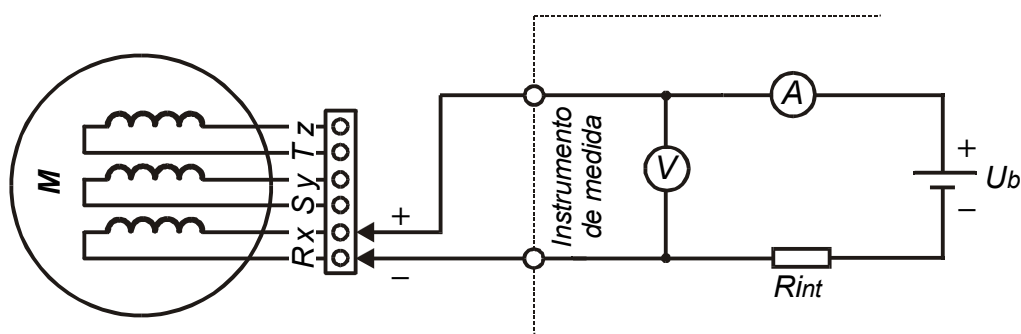


Fig. 24. Principio de medición.

La batería del instrumento inyecta una corriente de prueba en el bucle a prueba a través de la resistencia interna R_{int} y el amperímetro. El voltímetro mide la caída de tensión en la resistencia que medimos. El instrumento calcula el valor de dicha resistencia basado en la siguiente ecuación:

$$R_x = U / I$$

donde:

U Tensión medida en el voltímetro.

I Corriente medida en el amperímetro.

La resistencia interna del instrumento en este caso es más alta que la usada en la función del apartado anterior, por ello la corriente es mucho más baja (inferior a 7 mA). El procedimiento de medida y la conexión de las puntas de prueba es exactamente igual.

En caso de que exista continuidad (resistencia menor de 20Ω), el instrumento produce una señal acústica, lo cual permite al usuario preocuparse sólo de conectar las puntas de prueba sin necesidad de mirar al display.

5.5. RESISTENCIA DE TIERRA EN 61557-5

La puesta a tierra es una de las consideraciones más importantes a tener en cuenta de cara a la protección de las personas, así como de las propias cargas y equipos conectadas a la instalación. La intención de la puesta a tierra de partes conductoras accesibles, tanto activas como pasivas, es conducir al terreno las corrientes consecuencia de posibles tensiones que aparecen en caso de defecto. La puesta a tierra se puede realizar de varias maneras. Normalmente se hace por medio de picas, mallas o chapas metálicas.

La complejidad de la puesta a tierra depende del propio terreno, objeto a conectar a tierra y de la máxima **resistencia de tierra** permitida en cada caso.

Qué es la resistencia de tierra

Es la resistencia del electrodo de tierra, la cual encuentra la corriente mientras intenta circular a su través, hacia el terreno. Depende de las características de la superficie de dicho electrodo (óxidos en su superficie, etc.) y de la propia resistencia del terreno, principalmente en la parte que rodea al electrodo.

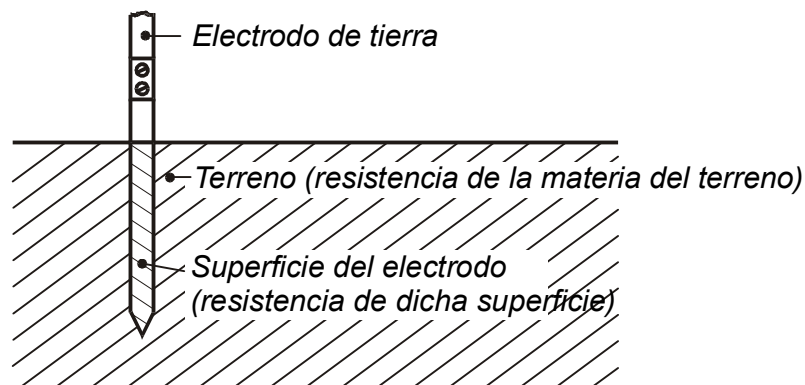


Fig. 25. Electrodo de tierra

Si existe un defecto en la instalación o carga conectada a ella, la corriente que circula por el electrodo de tierra provoca una caída de tensión en la resistencia de tierra. Parte de esta tensión se denomina “tensión embudo”, y demuestra el hecho de que la mayoría de la resistencia de tierra se concentra en la superficie del electrodo de tierra. Esto se muestra en la figura 26 a continuación.

Las tensiones de paso y contacto que aparecen como resultado de la corriente circulando por el electrodo de tierra también se muestran en la misma figura.

Tensión de paso

Se mide alrededor del área crítica que rodea el electrodo de tierra en centros de transformación etc. La medición se hace entre dos electrodos metálicos de 25 kg. cada uno, de unos 200 cm² de superficie en sus bases. Estos electrodos se deben colocar aproximadamente 1 m separados el uno del otro.

Tensión de contacto

Se mide entre el electrodo de tierra y otros dos electrodos auxiliares de medición similares a los de la tensión de paso, conectados entre sí y situados a 1 m del electrodo de tierra puesto a prueba.

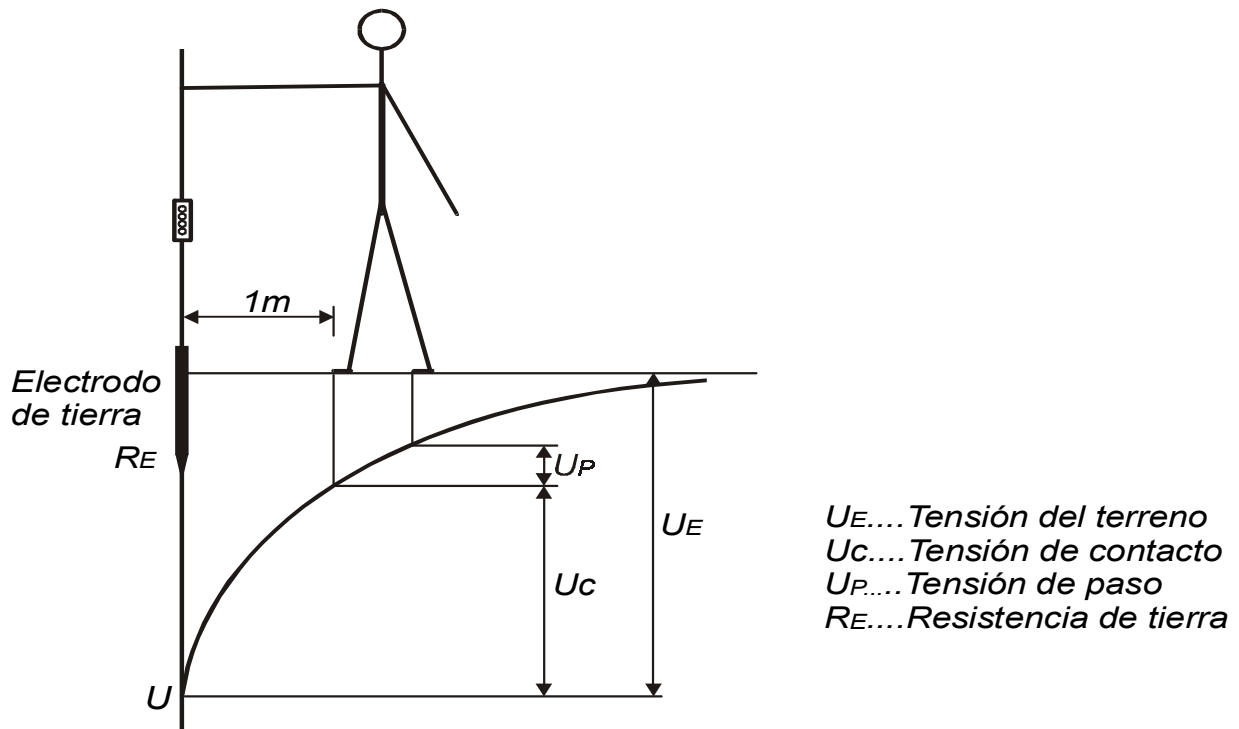


Fig.26. Distribución de la tensión en la resistencia de tierra - tensión embudo
Ambas mediciones se llevan a cabo con el KMI 2051+2052 de KOBAN.

Consideraciones generales sobre la medición de la resistencia de tierra

Existen diversos sistemas de puestas a tierra, y del mismo modo distintos métodos de medición, cada uno con sus ventajas y límites correspondientes. No todos los instrumentos de medición de tierras incluyen todos los posibles métodos, como es el caso de los instrumentos KOBAN® Eurotest, Instaltest y el Medidor de Tierras y Aislamiento (KMI 2088).

- **Método mediante generador senoidal interno y dos picas auxiliares.**

El uso de una señal senoidal presenta una ventaja importante con respecto al uso de una señal cuadrada. Es de especial importancia en mediciones instalaciones donde los elementos que constituyen la puesta a tierra presentan una componente inductiva además de resistiva. Esto es bastante común cuando la puesta a tierra se basa en cintas metálicas o flejes, en general desplegados en forma de helicoides, o enrollados en torno a un objeto. Este es el mejor sistema, siempre y cuando las condiciones físicas lo permiten.

Este principio lo usa el Eurotest 61557 y el Medidor de Tierras y Aislamiento.

- **Método mediante el uso de tensión de medida externa, sin picas auxiliares.**
Este principio se usa, además del anterior, cuando se mide resistencia de tierra en sistemas TT, donde el valor de dicha resistencia de tierra es mucho mayor que la resistencia de las otras partes que constituyen el “bucle de defecto” entre fase y los terminales de protección equipotencial. La gran ventaja de este método es que no requiere picas auxiliares, por lo que es idóneo para el entorno urbano donde suele resultar difícil encontrar un área de terreno para clavarlas.

Este principio lo usa el Eurotest 61557 y Instaltest 61557, además del KMI 2120 y KMI 2122 de la serie SMARTEC.

- **Método mediante el uso de tensión de medida externa y pica auxiliar**
Este principio presenta la ventaja de ser realmente exacto en sistemas TN, donde las resistencias de bucle entre conductores de línea y tierra suelen ser bastante bajas.

Este principio lo usa el Eurotest 61557.

- **Método mediante el uso de un generador de tensión interno, dos picas auxiliares y una pinza.**
La gran ventaja de este método es que no es necesario desconectar ningún electrodo de tierra que esté conectado en paralelo con el que queremos medir.

Este principio lo usa el Eurotest 61557 y el Medidor de Tierras y Aislamiento.

- **Método sin picas, mediante dos pinzas.**
En casos de puestas a tierra complejas, donde existan varias picas en paralelo, o donde exista una puesta a tierra secundaria de baja resistencia, este método permite realizar mediciones sin picas, con la gran ventaja de que no es necesario clavar y manipular picas en el terreno, así como tampoco se necesita desconectar los electrodos de la instalación.

Este principio lo usa el Eurotest 61557 y el Medidor de Tierras y Aislamiento.

Importante

- Es necesario tener en cuenta que es frecuente encontrar perturbaciones en los sistemas de puesta a tierra que se miden, especialmente en industria, transformadores de potencia, etc, donde altas corrientes de fuga fluyen hacia el terreno. De esta manera es muy posible encontrar altas corrientes en la zona alrededor de los electrodos de tierra, sobre todo en líneas de distribución de alta tensión, vías de tren, etc. La verdadera calidad del instrumento de medida se demuestra en este tipo de ambientes difíciles. Los instrumentos Eurotest 61557, Instaltest 61557 y el Medidor de Tierras y Aislamiento de KOBAN® utilizan métodos de medida patentados y de alta tecnología, que garantizan resultados exactos, ahí donde fallan otros instrumentos.
- Para una medida correcta y fiable de la resistencia de tierra usando picas auxiliares, es importante que la resistencia de dichas picas no sea muy alta.

- Por ese motivo los instrumentos anteriormente citados comprueban la resistencia de ambas picas antes de hacer la medición, indicando el valor de ambas, y advirtiéndolo de un posible valor demasiado elevado. Esto simplifica en gran medida la medición. Del mismo modo, no es necesario invertir las conexiones de las picas de tensión y corriente (ver figura 27) a mano, y luego repetir la prueba, tal y como en realidad se debe hacer con otro tipo de instrumentos que no disponen de esta característica.

El **máximo valor permitido para la resistencia de tierra RE** varía según el caso. Fundamentalmente el objetivo de las puestas a tierra en combinación con otros elementos de protección (diferenciales, magnetotérmicos, etc.) es evitar la aparición de tensiones de contacto peligrosas.

La medición básica de la resistencia de tierra utiliza el método de un generador interno y dos picas auxiliares, una de tensión y otra de corriente. La medición se basa en el llamado método del 62%.

Para este método es importante que la pica o electrodo de tierra de la instalación en que estamos midiendo esté desconectado de la misma, para evitar contacto con otros electrodos o posibles partes metálicas puestas a tierra. Conviene tener en cuenta que si durante la medición surge alguna corriente de fuga a través del conductor de protección, y éste está desconectado del electrodo, podría darse una situación de riesgo.

Principio de medición usando el método clásico de 4 terminales y 2 picas.

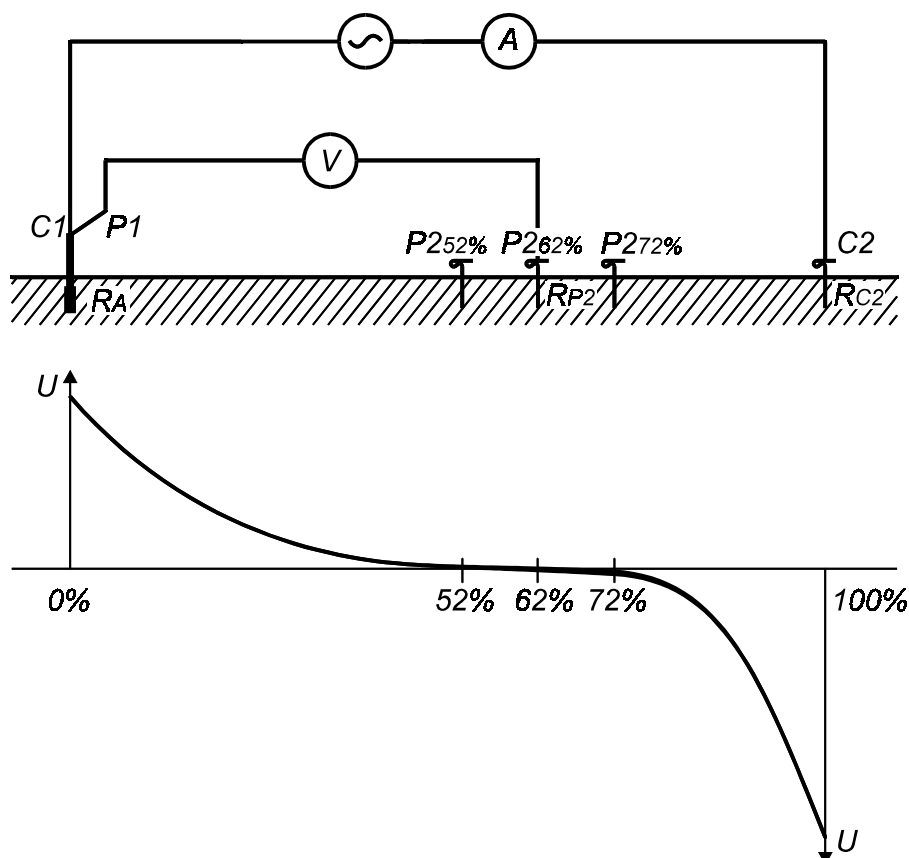


Fig. 27. Principio de medición y distribución de tensión

Cálculo de las distancias necesarias en el sistema de puesta a tierra (electrodo o cinta simple):

Bases para el cálculo es la profundidad del electrodo simple o la dimensión de la diagonal de la cinta.

- La distancia del electrodo de la medición a la pica auxiliar de corriente es $C2 = \text{profundidad (electrodo) o diagonal (cinta)} \times 5$
- La distancia a la pica auxiliar de tensión P2 (62%) = distancia $C2 \times 0,62$
- La distancia a la pica auxiliar de tensión P2 (52%) = distancia $C2 \times 0,52$
- La distancia a la pica auxiliar de tensión P2 (72%) = distancia $C2 \times 0,72$

Ejemplo: Puesta a tierra por electrodo, profundidad = 4 m.

$$C2 = 4 \text{ m} \times 5 = 20 \text{ m}$$

$$P2 (62\%) = 20 \text{ m} \times 0,62 = 12,4 \text{ m}$$

$$P2 (52\%) = 20 \text{ m} \times 0,52 = 10,4 \text{ m}$$

$$P2 (72\%) = 20 \text{ m} \times 0,72 = 14,4 \text{ m}$$

Este cálculo es claro y, por supuesto, teórico. Para asegurarse que que las distancias calculadas corresponden con la situación real, se aplicará el siguiente procedimiento:

La primera medición se debe hacer con la pica auxiliar de tensión clavada a la distancia de $0,62 \times C2$. La medición se debe repetir a las distancias de $0,52 \times C2$ y $0,72 \times C2$. Si los dos resultados obtenidos no difieren en más de un 10% con respecto de la primera medición ($0,62 \times C2$), entonces el primer resultado se considerará correcto. En caso de una diferencia superior al 10%, ambas distancias ($C2$ y $P2$) deberán aumentarse proporcionalmente y repetir la medición.

Se recomienda repetir todo el proceso variando la posición de las picas auxiliares con respecto del electrodo de tierra donde medimos (180° o al menos 90°). El resultado final a considerar será el valor medio de los resultados obtenidos.

Dado que los sistemas de puesta a tierra son en general complejos y tienden a serlo cada vez más, que pueden existir distintas puestas de tierra interconectadas entre sí bajo la superficie del terreno o por encima de éste, que estos sistemas pueden llegar a ser extremadamente grandes, y que casi nunca es posible observar visualmente la propia integridad del sistema, hoy en día la medición de la resistencia de tierra puede que sea la medición de seguridad más compleja, por lo que la elección del instrumento utilizado debe ser la adecuada. La recomendación es identificar y examinar el tipo de sistema de puesta a tierra, para después poder seleccionar el instrumento más adecuado.

El valor final tomado como válido deberá, en cualquier caso, corregirse/ajustarse de acuerdo con lo expuesto en el capítulo 5, según desviaciones permitidas, antes de compararlo con los valores límites fijados por la norma.

Veamos una serie de ejemplos prácticos de medición de resistencia de tierra en varios tipos de sistemas.

5.5.1. Medición de resistencia de tierra en electrodo simple

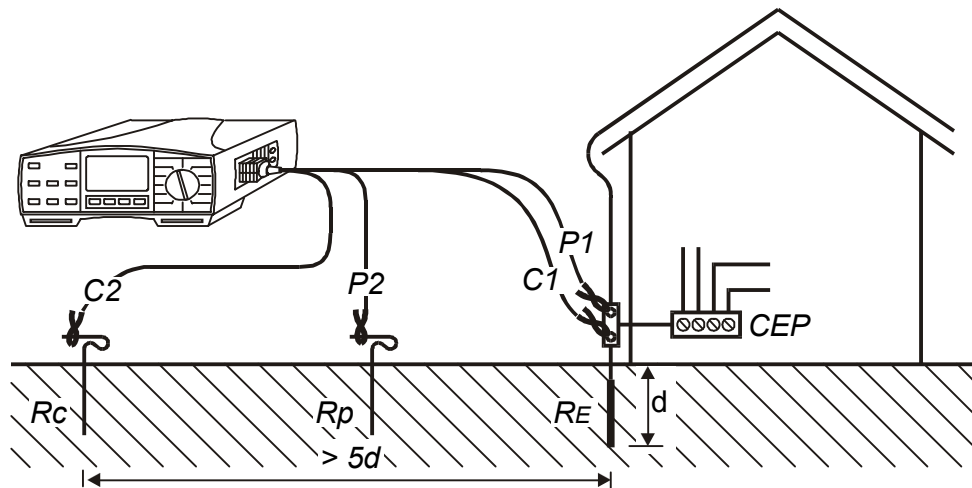


Fig. 28. Medición de resistencia de tierra en electrodo simple

Resultado = $U/I = R_E$

donde:

- U Tensión medida por el voltímetro interno entre P1 (electrodo de la instalación) y P2 (pica auxiliar de tensión).
I Corriente inyectada entre C1 y la pica auxiliar de corriente C2, medida por el amperímetro interno del instrumento.

La medición es bastante simple, debido al hecho de que el electrodo de la puesta a tierra es, en este caso, único y puntual, sin estar conectado a ningún otro electrodo o parte metálica. En estos casos **no es necesario desconectar el electrodo de la instalación**, con el incordio que muchas veces supone, debido a abrazaderas oxidadas, etc. Las distancias entre el electrodo y las picas auxiliares dependen de la profundidad de dicho electrodo, según explicado anteriormente.

El método de los 4 terminales utilizado por el Eurotest 61557 y Medidor de Tierras y Aislamiento es mejor y más exacto que el tradicional de 3 terminales, ya que elimina la resistencia de contacto que existe entre las pinzas de cocodrilo usadas para conectar al electrodo y la superficie, normalmente oxidada, de éste.

Las picas de tierra normalmente se clavan en línea recta con el electrodo de la instalación, o formando un triángulo equilátero con éste, según caso y modelo de instrumento.

5.5.2. Medición de resistencia de tierra en electrodo de cinta simple

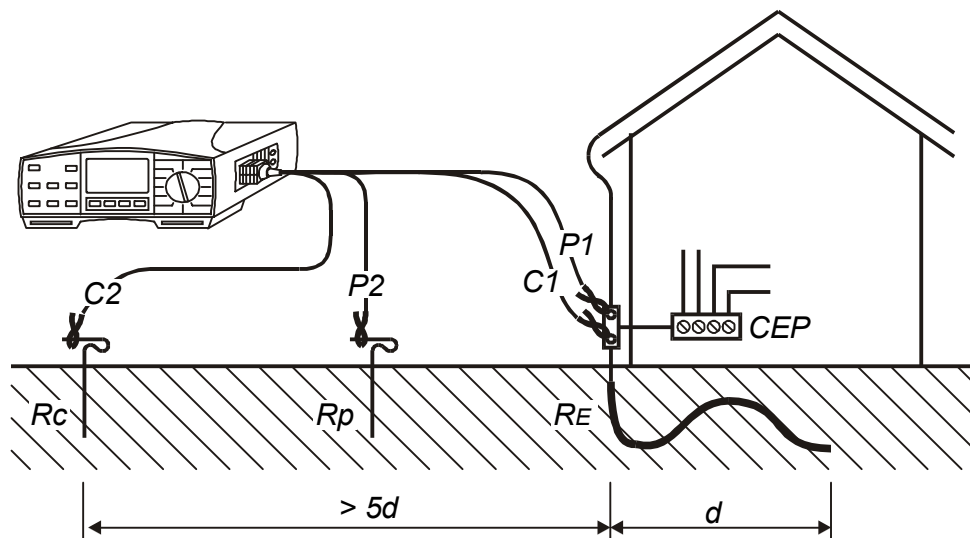


Fig. 29. Medición de resistencia de tierra en electrodo de cinta simple

Resultado = $U / I = R_E$

donde:

- U Tensión medida por el voltímetro interno entre P1 (electrodo de cinta de la instalación) y P2 (pica auxiliar de tensión).
- I Corriente inyectada entre C1 y la pica auxiliar de corriente C2, medida por el amperímetro interno del instrumento.

La medición es muy parecida a la anterior, salvo que en este caso **el electrodo no se puede considerar puntual**, sino que se debe tener en cuenta la longitud de la cinta. En función de dicha longitud se debe ajustar la distancia entre dicho electrodo de cinta en el que hacemos la medición y las dos picas auxiliares, según expuesto en la figura 29 de arriba.

5.5.3. Mediciones de sistemas complejos con varios electrodos de tierra conectados en paralelo

Dos datos importantes se deben tener en cuenta en este tipo de sistemas:

- **La resistencia total de la puesta a tierra R_{tot}** , la cual es equivalente a la conexión en paralelo de las resistencias individuales de cada electrodo por separado. Un valor bajo de esta resistencia total supone los requisitos necesarios para una protección contra una posible descarga eléctrica en caso de un defecto en la instalación, pero a nivel individual puede no ofrecer la protección necesaria contra descargas atmosféricas a través del conductor del pararrayos.

- **Las resistencias particulares de cada electrodo individual $RE_1...RE_N$.** Éstas deben tener un valor lo suficientemente bajo cuando la puesta a tierra tiene por fin la protección contra descargas atmosféricas. Estas descargas atmosféricas son realmente rápidas, de ahí que las corrientes de descarga contengan componentes de altas frecuencias. Para estas componentes cualquier inductancia que forme parte de la puesta a tierra supone una alta resistencia, y por tanto imposibilita una descarga efectiva, pudiendo traer consecuencias graves.

El efecto opuesto se puede conseguir mediante el propio pararrayos, con varios puntos a tierra separados, algunos de ellos con alta resistencia de tierra. El sistema de protección atmosférica atrae los rayos debido a su forma física y situación. Se puede producir un campo eléctrico de gran valor, con su consecuente ionización del aire a su alrededor.

Medida de la Resistencia Total de Tierra

a) Método clásico de 4 terminales y 2 picas auxiliares

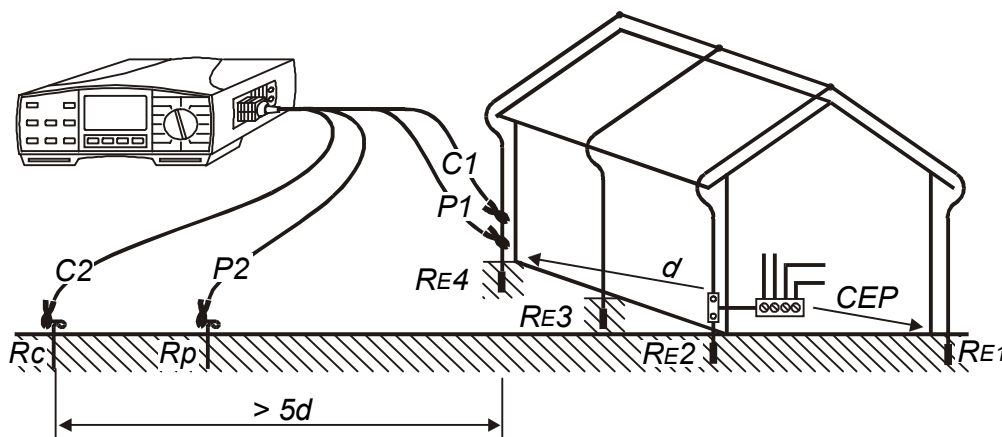


Fig. 30. Medición de la resistencia total de tierra mediante el método de 4 terminales y dos picas auxiliares

Las picas auxiliares de tensión y corriente deben clavarse en el terreno lo bastante lejos del sistema como para considerar éste como un sistema puntual. La distancia requerida para la pica de corriente C2 es al menos **5 veces mayor** que la distancia entre los electrodos individuales de la instalación. La distancia de la pica de tensión P2 será calculada de acuerdo con lo descrito en el capítulo **Cálculo de las distancias necesarias en el sistema de puesta a tierra (electrodo o cinta simple)** en páginas anteriores.

La ventaja de este método es que **asegura resultados exactos y fiables**. La desventaja, sin embargo, es que **se necesitan distancias relativamente grandes para situar las picas auxiliares**, lo cual puede ocasionar problemas, especialmente en el entorno urbano.

$$\text{Resultado} = U/I = RE1//RE2//RE3//RE4 = R_{\text{tot}}$$

donde:

- U Tensión medida por el voltímetro interno entre P1 (electrodo de cinta de la instalación) y P2 (pica auxiliar de tensión).
- I Corriente inyectada entre C1 y la pica auxiliar de corriente C2, medida por el amperímetro interno del instrumento.
- RE1 a RE4 Resistencia de tierra individual de cada electrodo.
- REtot..... Resistencia total de tierra del sistema medido.

b) Método sin picas, mediante el uso de 2 pinzas.

La medición de resistencia total de tierra se puede simplificar y puede realizarse sin el uso de picas auxiliares, siempre y cuando exista un **electrodo o grupo de electrodos adicional con una resistencia total de tierra baja**, y un **grupo de electrodos propios de la instalación conectados entre sí**. La medición se puede llevar a cabo, mediante un instrumento de las características del Eurotest 61557 o el Medidor de Tierras y Aislamiento, utilizando dos pinzas de prueba.

En el caso de no existir esta conexión entre nuestra puesta a tierra y otra referencia a tierra, nosotros podemos crearla. Simplemente utilizamos un cable exterior para unir la tierra que deseamos medir (conectamos en la arqueta) y, por ejemplo, la tierra de una nave o edificio vecina, o cualquier parte metálica puesta a tierra: vía del tren, torres o antenas de telefonía, farolas, semáforos, etc (cuantas más mejor).

En la práctica se suele tomar como referencia **el neutro de la instalación** (si existe), ya que éste está conectado a tierra en el transformador, y con unos valores muy bajos (máximo 5Ω por norma). Por tanto obtenemos un valor de tierra que es la suma de la tierra de la instalación más la del transformador. Por tanto si este valor es válido, el verdadero valor de la tierra de la instalación es incluso mejor (más bajo).

La figura de abajo representa este tipo de sistema y la conexión del instrumento, y a continuación se describe la obtención e interpretación del valor obtenido.

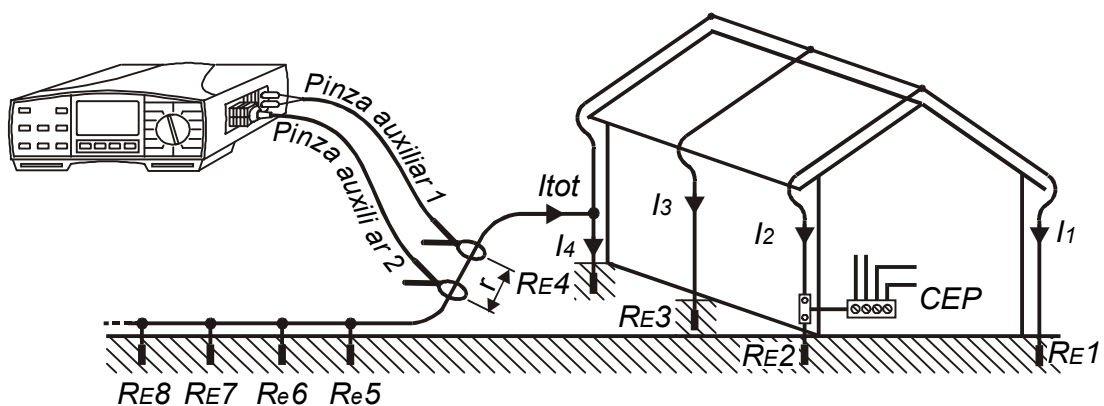


Fig. 31. Medida de la resistencia total de tierra utilizando dos pinzas de prueba.

- RE1 a RE4 Resistencias de tierra individuales del sistema medido.
 RE5 a REN Resistencias de tierra individuales del sistema auxiliar con una baja resistencia de tierra total (si conectamos a neutro, una sola resistencia).
 r Distancia entre las pinzas de prueba, la cual debe ser al menos de 30 cm, de lo contrario la pinza que actúa como generador puede influenciar a la pinza medidora.

La figura 32 a continuación ayuda a comprender mejor el ejemplo de sistema y método de medición anterior.

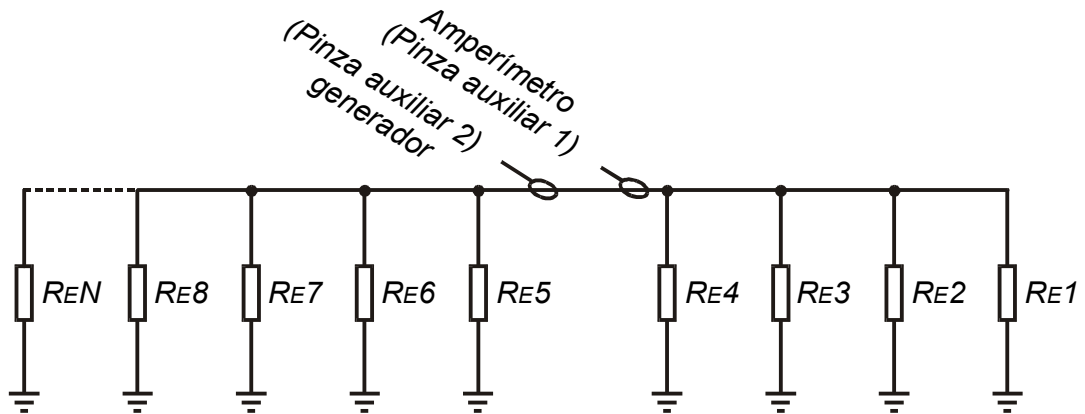


Fig. 32. Circuito equivalente del ejemplo de sistema de puesta a tierra anterior.

**Resultado = (resistencia total de los electrodos RE1 a RE4) +
 + (resistencia total de los electrodos auxiliares RE5 a REN)**

Si la resistencia total de los electrodos auxiliares RE5 a REN se puede considerar despreciable con respecto a la resistencia total de los electrodos medidos RE1 a RE4, entonces se puede afirmar que:

Resultado \approx (resistencia total de los electrodos medidos RE1 a RE4)

Si el resultado es inferior al máximo permitido entonces podemos asegurar que es válido, ya que el valor real suele ser incluso inferior al mostrado en pantalla.

Mediciones de Resistencia de Tierra en electrodos particulares

En el caso de que el valor de la resistencia total de tierra medido no sea el adecuado, y se desee identificar qué electrodo/s son los que tienen un valor demasiado elevado, existen varios métodos para medir la resistencia de tierra de un electrodo en particular. Se elegirá el método que más se ajuste al tipo de sistema de puesta a tierra en cada caso, a las condiciones particulares de la instalación (posibilidad de clavar o no picas auxiliares, desconectar los electrodos, etc.), y por supuesto de acuerdo con el instrumento disponible.

- a) Medición con desconexión mecánica del electrodo a medir, mediante el método clásico de 4 terminales y 2 picas auxiliares.

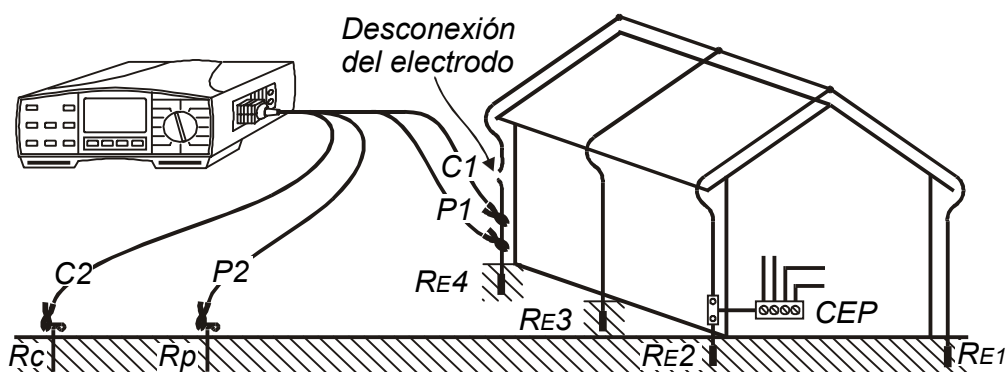


Fig. 33. Medición de la resistencia de tierra en un electrodo particular de la instalación

$$\text{Resultado} = U / I = R_{E4}$$

donde:

U Tensión medida por el voltímetro interno entre P1 (electrodo de la instalación) y P2 (pica auxiliar de tensión).

I Corriente inyectada entre C1 y la pica auxiliar de corriente C2, medida por el amperímetro interno del instrumento.

Las distancias requeridas entre el electrodo medido y las picas auxiliares de tensión (P2) y corriente (C2) son las mismas que en el caso de un único electrodo, ya sea de barra (5.5.1) o cinta (5.5.2).

La desventaja de este método es la **necesidad de desconectar de forma mecánica el electrodo** o pica en la que hacemos la medición del resto de la instalación, ya que esto puede resultar problemático si la unión (abrazadera, prensa, etc.) se encuentra oxidado. La ventaja del método es, sin embargo, una alta exactitud y fiabilidad del resultado, especialmente con instrumentos como el Eurotest 61557 o el Medidor de Tierras y Aislamiento de KOBAN

b) Medición con desconexión mecánica del electrodo a medir, mediante el método clásico de 4 terminales y 2 puntos de conexión.

Si el número total de electrodos/picas de tierra de la instalación es considerable (entre 3-6 picas conectadas entre sí) se puede utilizar este método simplificado con el Eurotest 61557 o el Medidor de Tierras y Aislamiento, (ver figura 34).

Se debe desconectar el electrodo o pica donde medimos, funcionando el resto como picas auxiliares. La resistencia de dicho conjunto de electrodos es despreciable con respecto a la del electrodo donde hacemos la medición. Las conexiones se realizan a ambos lados de la desconexión del electrodo medido.

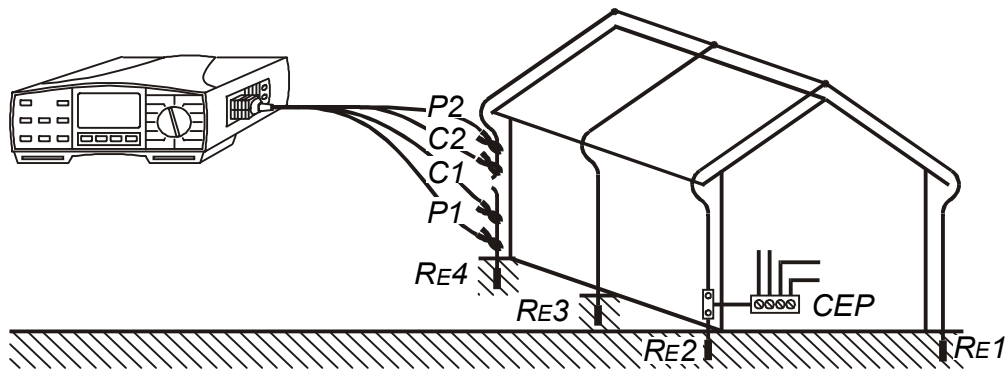


Fig. 34. Método simplificado sin picas auxiliares

Resultado = $RE4 + (RE1 // RE2 // RE3)$

La resistencia equivalente de la conexión paralelo ($RE1 // RE2 // RE3$) suele ser despreciable $RE4$, por lo que: **Resultado $\approx RE4$**

c) Medición mediante el método clásico de 4 terminales y 2 picas auxiliares en combinación con 1 pinza auxiliar de prueba.

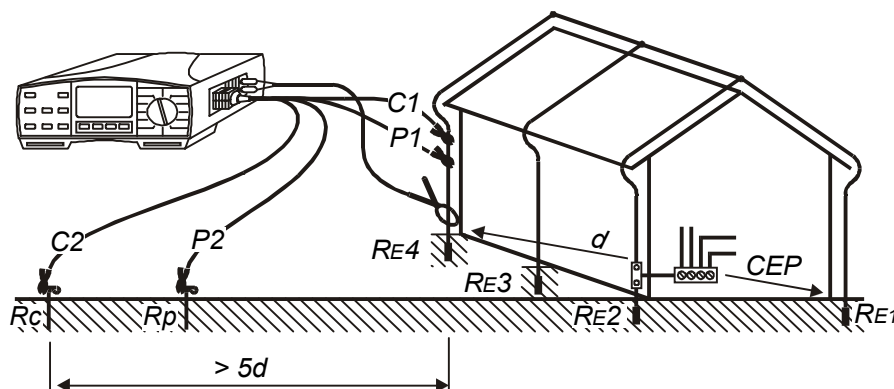


Fig. 35. Medición de resistencia de tierra utilizando 2 picas y una pinza

El circuito equivalente de la instalación se representa a continuación:

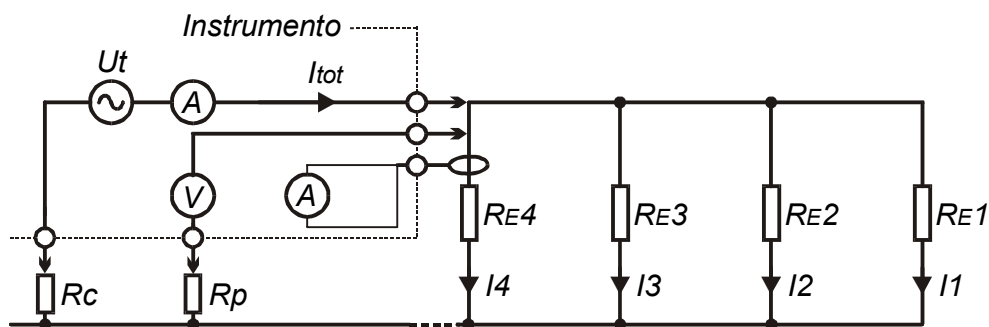


Fig. 36. Circuito equivalente del ejemplo práctico anterior.

U_t Tensión de prueba.

R_c Resistencia de la pica auxiliar de corriente C2.

R_p Resistencia de la pica auxiliar de Tensión P2..

I_{tot} Corriente total generada por U_t y medida por el amperímetro interno del instrumento, conectado en serie con el generador.

I_1 a I_4 Corrientes de electrodo individuales.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{tot}$$

Resultado 1 = R_{E4} (en función de la corriente medida por la pinza auxiliar)

Resultado 2 = R_{tot} (en función de la corriente medida por el amperímetro)

La ventaja de este método es, una vez más, que **no es necesario desconectar el electrodo de la medición**. La distancia del electrodo medido a la pinza auxiliar de corriente C2 debe ser al menos 5 veces mayor que la mayor distancia entre electrodos de la instalación. Esto puede suponer una desventaja en algunos casos.

Del mismo modo es muy importante darse cuenta que **la pinza auxiliar debe estar siempre por debajo de las conexiones C1 y P1**, ya que de lo contrario no mediría la corriente que circula por el electrodo, sino por el resto de electrodos de la instalación.

Si es posible, al mover la pinza de electrodo en electrodo mediríamos la corriente que circula por cada uno de ellos y su resistencia particular. En base a la corriente total medida por el amperímetro del instrumento y a la tensión medida en el voltímetro, el Eurotest 61557 o el Medidor de Tierras y Aislamiento calculan la resistencia particular de cada electrodo.

Importante

- Si se consideran las grandes distancias entre los electrodos, resulta prácticamente imposible mover sólo la pinza para medir electrodo a electrodo, por lo que en la mayoría de los casos es necesario mover todo el conjunto.

- Si el número de electrodos del sistema es demasiado elevado puede darse el caso de que la corriente que circula por cada uno de ellos sea demasiado baja para la medición correcta. En este caso el instrumento avisa de esta situación, y posiblemente habrá que desconectar una parte, y hacer la medición dos veces.

d) Medición sin picas auxiliares, utilizando 2 pinzas de prueba.

Es cada vez más frecuente al realizar mediciones de tierra el encontrarse con sistemas de puestas a tierra con un gran número de electrodos/picas conectados entre sí, o con sistemas interconectados con otros (figura 39). Del mismo modo, en áreas ya construidas resulta complicado muchas veces el clavar las picas en el terreno. En estos casos se recomienda utilizar el método sin picas, mediante 2 pinzas. Tanto el Eurotest 61557 como el Medidor de Tierras y Aislamiento pueden llevar a cabo este tipo de medición, siendo además prácticamente inmunes a señales de alta frecuencia, gracias a una técnica especial patentada de que disponen.

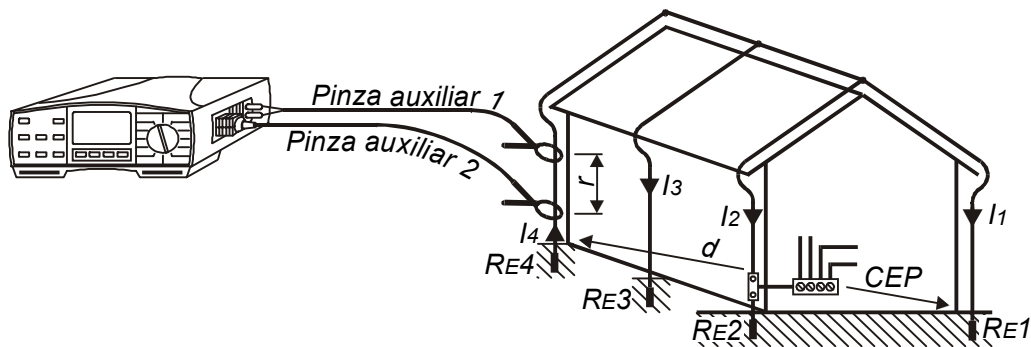


Fig. 37. Medición de la resistencia de tierra mediante el método sin picas.

Importante

- Se debe asegurar que la distancia mínima entre las dos pinzas sea al menos de 30 cm., de lo contrario la pinza generador actuaría sobre la pina lectora y viceversa, distorsionando el valor final de la lectura.

Veamos el circuito equivalente de la figura anterior.

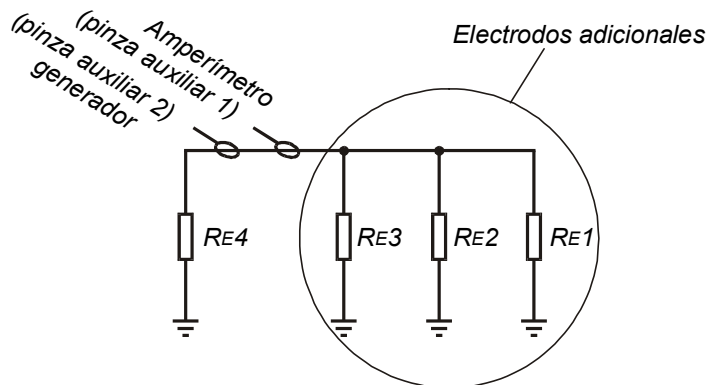


Fig. 38. Circuito equivalente del ejemplo práctico anterior

$$\text{Resultado} = R_{E4} + (R_{E3} // R_{E2} // R_{E1})$$

Se suele considerar que la resistencia equivalente de la conexión paralelo de R_{E3} , R_{E2} y R_{E1} es despreciable con respecto a la resistencia total R_{E4} , por lo que:

$$\text{Resultado} \approx R_{E4}$$

Si el resultado es inferior al máximo permitido entonces podemos asegurar que es válido, ya que el valor real suele ser incluso inferior al mostrado en pantalla. Otras resistencias particulares de tierra se pueden medir moviendo las pinzas a otros electrodos.

Si nos encontramos con sistemas similares al de la figura 39 (también descrito en figura 31) entonces podemos conectar las pinzas como se describe en la figura 39, siempre y cuando la resistencia del conjunto R_{E5} a R_{E8} sea despreciable con respecto a la resistencia del conjunto principal R_{E1} a R_{E4} (suele ocurrir).

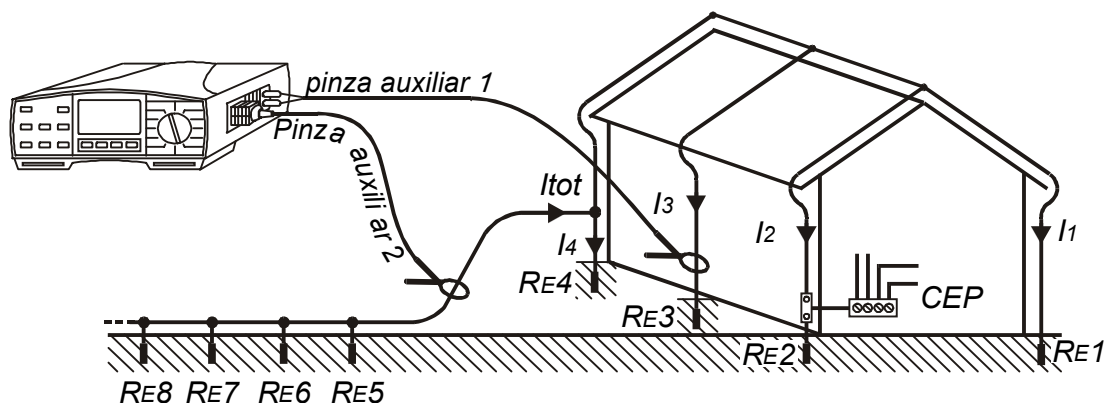


Fig. 39. Medición de resistencia de tierra sin picas mediante dos pinzas auxiliares

La conexión es similar a la de la figura 31, excepto que la pinza medidora de corriente se conecta a un electrodo específico cuya resistencia particular queremos medir. En el caso de la figura 31 colocábamos dicha pinza al lado de la generadora, y medíamos la resistencia total de tierra del sistema.

A continuación vemos el circuito equivalente del ejemplo anterior.

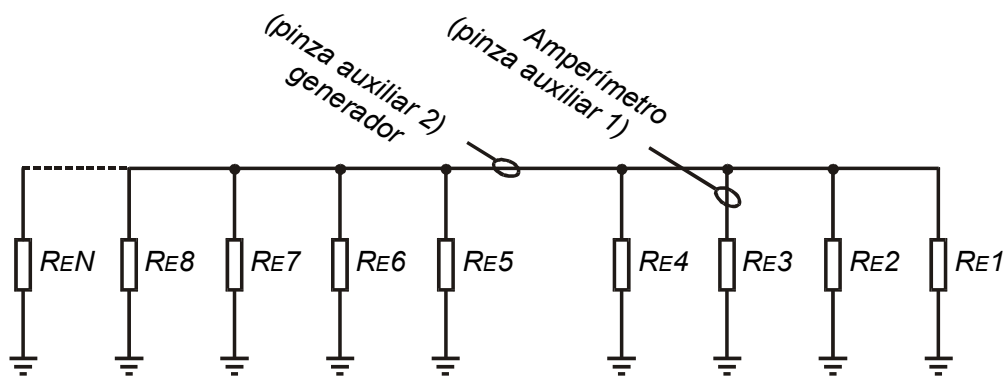


Fig. 40. Circuito equivalente del ejemplo práctico anterior.

De esta manera la resistencia total de los electrodos R_{E5} a R_{EN} es despreciable con respecto a la resistencia total de R_{E1} a R_{E4} , por lo que:

Resultado $\approx R_{E3}$

Si movemos la pinza medidora a los restantes electrodos mediríamos sus correspondientes resistencias individuales de tierra.

Importante

- Este método se puede usar siempre y cuando los electrodos individuales estén lo suficientemente cercanos como para cogerlos con la pinza medidora sin variar la posición de la pinza generadora, que debe permanecer siempre en el mismo punto.
- Si el número de electrodos del sistema es demasiado elevado puede darse el caso de que la corriente que circula por cada uno de ellos sea demasiado baja para la medición correcta. En este caso el instrumento avisa de esta situación, y posiblemente habrá que desconectar una parte, y hacer la medición dos veces.

Los métodos de medición de resistencia de tierra usando tensión de prueba externa (tensión del sistema, no de un generador interno del instrumento) se describen en el capítulo 5.8, sobre Interruptores diferenciales (RCD).

5.6. RESISTENCIA DE TIERRA ESPECÍFICA (RESISTIVIDAD) EN 61557- 5

Qué es la resistencia de tierra específica (resistividad) del terreno

Es la resistencia de un trozo de terreno en forma de cubo de $1 \times 1 \times 1$ m, donde los electrodos de medida se colocan en partes opuestas del mismo, según la figura:

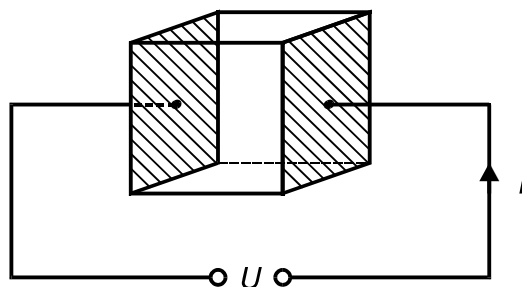


Fig. 41. Presentación de la resistencia específica de tierra

Medida de la resistencia específica de tierra

La medición se lleva a cabo de forma previa, para asegurar un cálculo correcto y preciso de la puesta a tierra de todo tipo de instalaciones.

Se debe usar tensión de prueba AC, para evitar posibles procesos electroquímicos en el material del terreno a medir, como podría ocurrir en caso de corriente DC.

La resistencia específica de tierra se expresa en Ωm , su valor absoluto depende de la estructura del material del terreno.

El principio de medida se presenta en la figura siguiente.

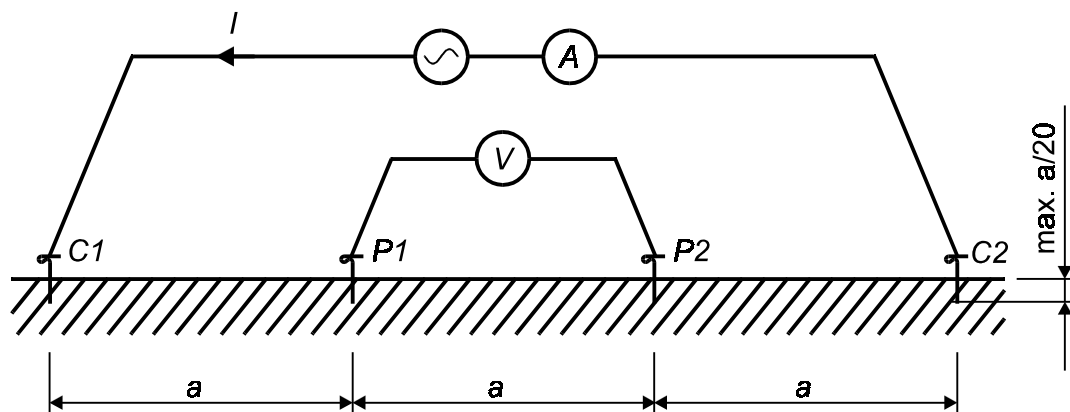


Fig. 42. Principio de medición

$$\text{Resultado} = 2 \pi a U / I = \rho$$

donde:

- a Distancia entre electrodos de prueba.
- U Tensión entre los electrodos P1 y P2, medidos por el voltímetro.
- I Corriente de prueba producida por el generador AC y medida en el amperímetro.
- ρ Resistencia específica (resistividad) del terreno.

La ecuación es válida si los electrodos de prueba se clavan en el terreno a una profundidad máxima de $a/20$.

Para obtener resultados más objetivos se recomienda realizar la prueba en distintas direcciones (90° y 180° con respecto a la primera medición) y tomar como resultado final el valor medio de ellos.

Utilizar distintas distancias entre los electrodos de prueba significa medir material a distintas profundidades, ya que cuanto mayor sea la distancia entre ellos mayor es la profundidad alcanzada.

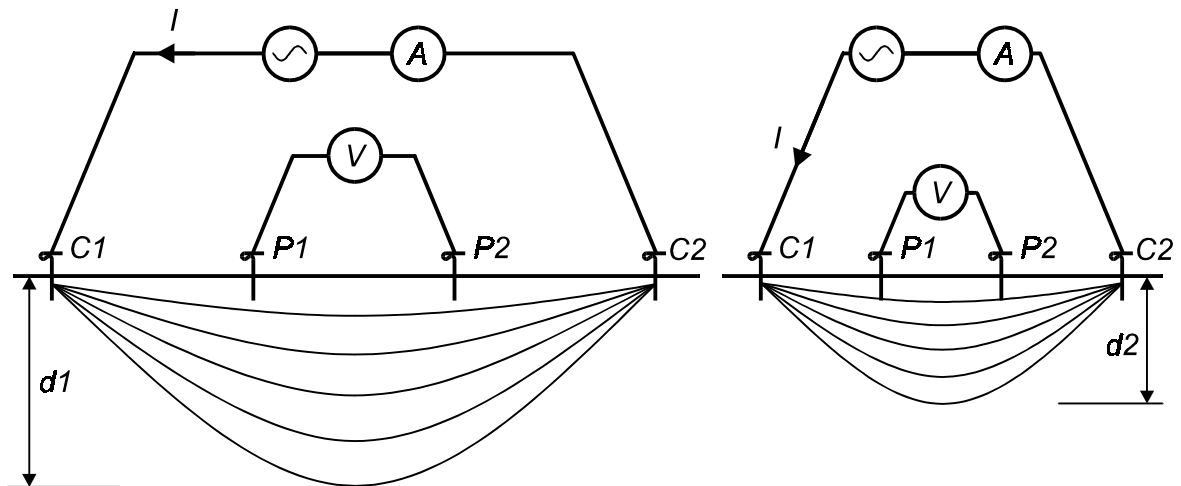


Fig. 43. Influencia de la distancia **a** en la profundidad **d**

d1 Profundidad para una distancia mayor **a** entre electrodos de prueba.

d2 Profundidad para una distancia menor **a** entre electrodos de prueba.

El electrodo/s o pica/s de tierra final de la instalación se deberá colocar en lugar y a la profundidad donde se obtenga el **menor valor de resistividad**. Por este motivo también se recomienda hacer la medición en varias zonas del terreno.

La medición de la resistencia específica del terreno también nos da una visión global de la estructura del terreno.

La tabla a continuación nos da una indicación orientativa de los valores de resistividad de algunos materiales comunes en el terreno.

Tipo de material del terreno	Resistencia de tierra específica en Ωm
Agua del mar	0,5
Agua de río o lago	10 – 100
Tierra arada	90 – 150
Cemento	150 – 500
Grava mojada	200 – 400
Arena fina seca	500
Cal	500 – 1000
Grava seca	1000 – 2000
Terreno rocoso	100 – 3000

Tabla 3. Valores orientativos de la resistividad de algunos materiales comunes en el terreno

La disposición para la medición práctica de la resistividad del terreno con el Eurotest 61557 o el Medidor de Tierras y Aislamiento se muestra en la figura a continuación.

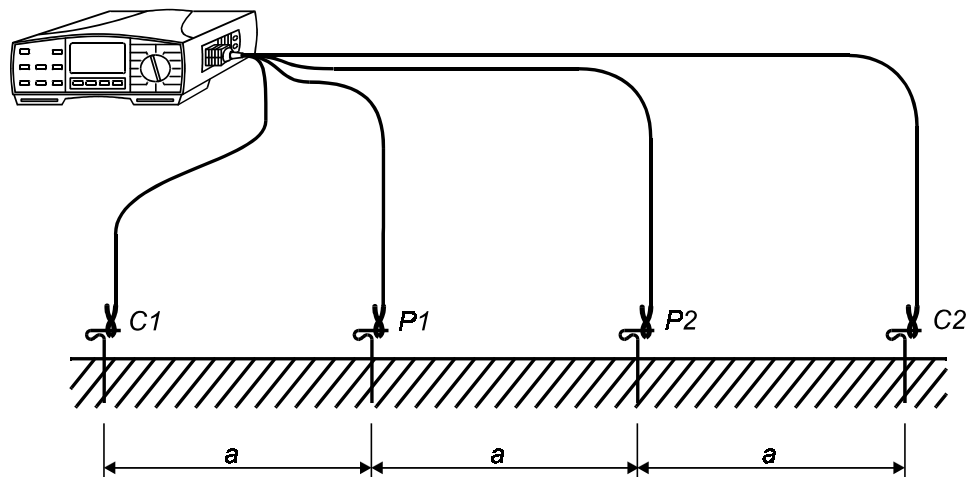


Fig. 44. Medición práctica de la resistividad del terreno

5.7. CONEXIÓN (ERRÓNEA) DEL CONDUCTOR DE PROTECCIÓN A LA LÍNEA

En algunas instalaciones nuevas, así como en instalaciones modificadas puede darse el caso (¡peligroso!) de que el conductor de protección equipotencial esté invertido con el conductor de línea, tal y como se muestra en la figura 45. Por ello es muy importante comprobar la posible presencia de tensión de línea en el terminal de protección. Esta prueba se debe realizar antes que cualquier otra que requiera la presencia de tensión del sistema, antes incluso de utilizar la instalación.

El Eurotest 61557 realiza esta prueba siempre que el dedo del usuario toca los dos terminales junto al botón de prueba, avisando de esta peligrosa situación.

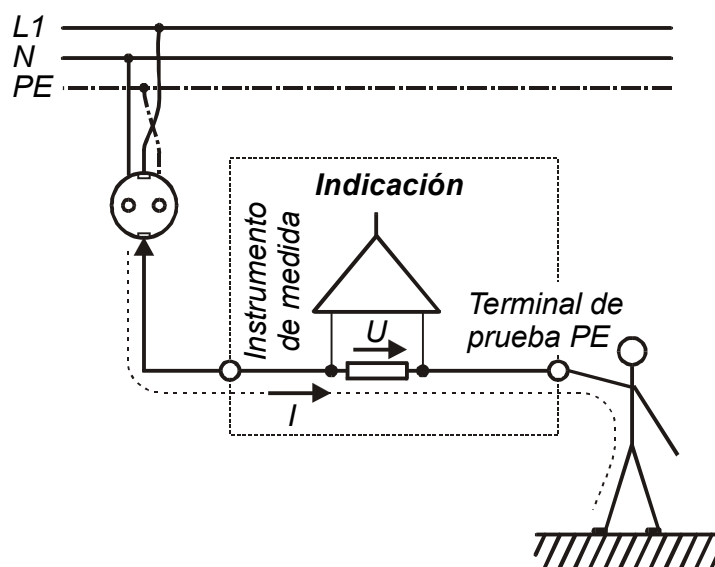


Fig. 45. Principio de funcionamiento

5.8. DISPOSITIVOS DE CORTE DIFERENCIAL (RCD) EN 61557- 6

Un interruptor diferencial (RCD) es un elemento de protección cuyo fin es proteger personas y animales contra posibles descargas eléctricas. Su funcionamiento se basa en la diferencia entre la corriente de fase que entra en una carga o grupo de cargas y la corriente de retorno que sale de ella/s por el conductor neutro. Si la diferencia es igual o superior de la corriente nominal de disparo I_{Δ} del interruptor diferencial instalado, éste se dispara automáticamente y corta la tensión general a todo el sistema que cuelga de él.

Esta función de protección es efectiva sólo si el diferencial se instala correctamente, si la propia instalación está correctamente especificada y si el valor de la resistencia de tierra está por debajo del límite permitido por el diferencial instalado.

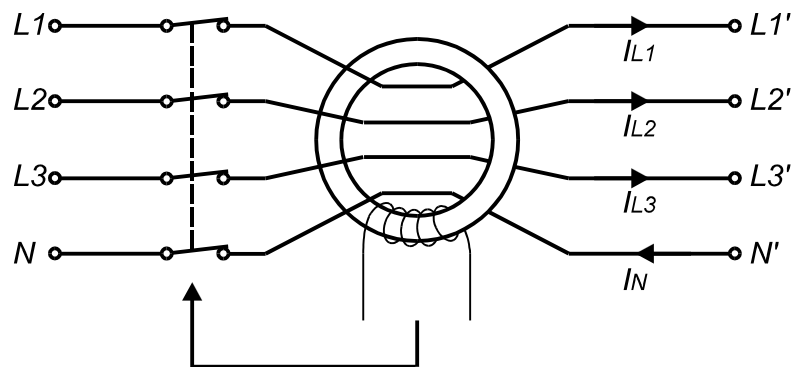


Fig. 46. Representación esquemática de un interruptor diferencial (RCD)

L1, L2, L3, N..... Tomas de entrada para conexión del suministro eléctrico
L1', L2', L3', N' Tomas de salida para conectar el suministro a la instalación

$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} - I_N$$

La fórmula de arriba es siempre válida, sea cual sea el tipo de carga conectada (monofásica, trifásica con/sin neutro, simétrica, no simétrica, lineal/no lineal, etc)

La condición para el disparo del diferencial es:

$$I_{\Delta} \geq \text{disparo}$$

donde:

I_{Δ} Corriente diferencial, igual a la suma de corriente de fuga y de defecto.

$I_{\Delta N}$ Corriente de disparo nominal del interruptor diferencial instalado.

Atendiendo al tipo (forma) de onda de la corriente de disparo, existen tres tipos básicos de diferenciales:

- **Tipo AC**, sensible a corriente diferencial alterna. Es el tipo más usado, ya que la mayoría de las instalaciones eléctricas de baja tensión trabajan con este tipo de corriente.

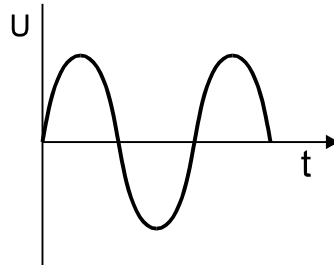


Fig. 47. Forma de onda (senoidal alterna) a la que es sensible un diferencial de tipo AC

- **Tipo A**, sensible, además de la corriente alterna, a señales de corriente alterna rectificadas o semi-rectificadas, así como señales pulsantes. No son muy comunes en la práctica ya que no existen muchas instalaciones que alimenten cargas con este tipo de corriente (motores de continua, plantas de galvanización, etc).

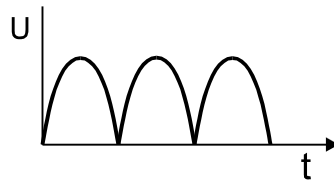


Fig. 48. Forma de onda a la que es sensible un diferencial de tipo A ,además de la onda alterna normal.

- **Tipo B**, es sensible, además de los dos tipos de corriente vistos, a señales de corriente continua puras o semi-puras. Son muy poco utilizados en la práctica, ya que no existen muchas instalaciones que trabajen con corriente DC pura.

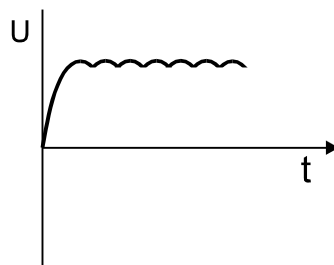


Fig. 49. Forma de onda a la que es sensible un diferencial de tipo B, además de los otros dos tipos de onda vistos.

En cuanto el tiempo de disparo de los interruptores diferenciales, existen básicamente dos tipos:

- Tipo estándar (disparo instantáneo)
- Tipo selectivo (disparo retardado)

Para asegurar un funcionamiento correcto del interruptor diferencial se deben verificar los siguientes parámetros:

- Tensión de contacto U_c
- Tiempo de disparo t_{Δ}
- Corriente de disparo I_{Δ}
- Resistencia de tierra R_E

Todos los parámetros recién mencionados se deberían (aspectos ideales) llevar a cabo con clima seco, que es cuando la resistencia de tierra alcanza su valor más elevado. En cualquier caso, y siguiendo con aspectos idóneos, estos parámetros deberían ser comprobados:

- Después de cada disparo, o
- Después de cada cortocircuito en la instalación, o
- Después de fuertes descargas atmosféricas en la zona, o
- Después de realizar modificaciones en los sistemas de protección, o
- Después de variar las condiciones del terreno (cavar o hacer zanjas cerca de los electrodos de tierra, drenado del terreno alrededor de la puesta a tierra, etc.)

5.8.1. Tensión de contacto U_c

Qué es la tensión de contacto

La tensión de contacto es la tensión que puede surgir en caso de condiciones de defecto en cualquier parte conductora accesible que pueda entrar en contacto con personas o animales.

Cuando una carga está defectuosa (aislamiento defectuoso que causa cierto nivel de fuga) se puede generar una corriente de defecto hacia tierra a través del conductor de protección. Esta corriente provoca una caída de tensión en la propia resistencia de tierra (en caso de sistemas TT) llamada **tensión de contacto**. Una parte de esta tensión de contacto puede estar accesible al cuerpo humano y por ello se denomina tensión de contacto. En la figura 7 se muestra de forma esquemática la tensión de contacto.

El valor máximo de la tensión de contacto se denomina tensión límite (marcada como U_L) y es normalmente 50V, aunque en algunos casos, tales como ambientes rurales, hospitales, salas de ordenadores, etc., es tan sólo 25V.

Medición de la tensión de contacto U_c

Por motivos de seguridad la continuidad de los conductores de protección y la resistencia de aislamiento se deben medir y comprobar antes de conectar ningún circuito a la salida del diferencial.

La medición de la tensión de contacto se suele realizar utilizando una corriente de prueba de $I_{\Delta N}/2$ ó $I_{\Delta N}/3$, por ello el interruptor diferencial no salta durante la prueba (siempre y cuando tanto el diferencial, como las cargas y la propia instalación estén en buenas condiciones).

El Eurotest 61557 ofrece dos métodos para la medición de la tensión de contacto:

- Sin utilizar pica auxiliar
- Utilizando pica auxiliar

a) Medición de la tensión de contacto sin usar pica auxiliar

El principio de medición se muestra en las dos figuras a continuación.

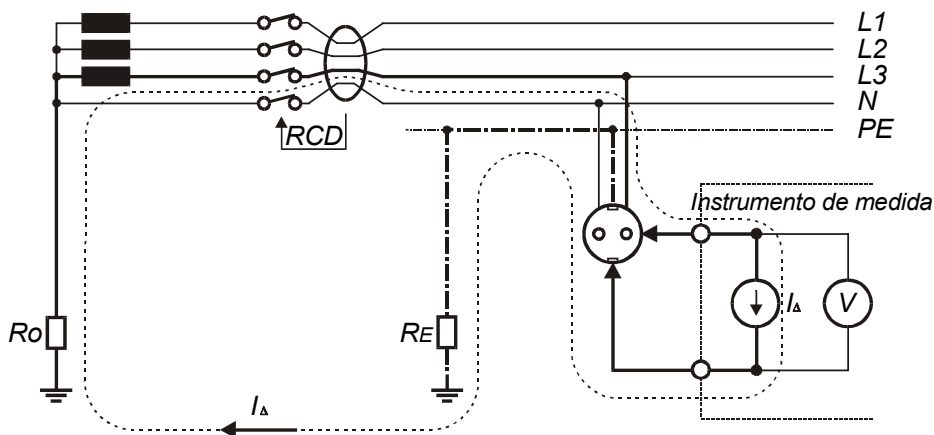


Fig. 50. Principio de medición de la tensión de contacto en sistemas TT sin utilizar pica auxiliar.

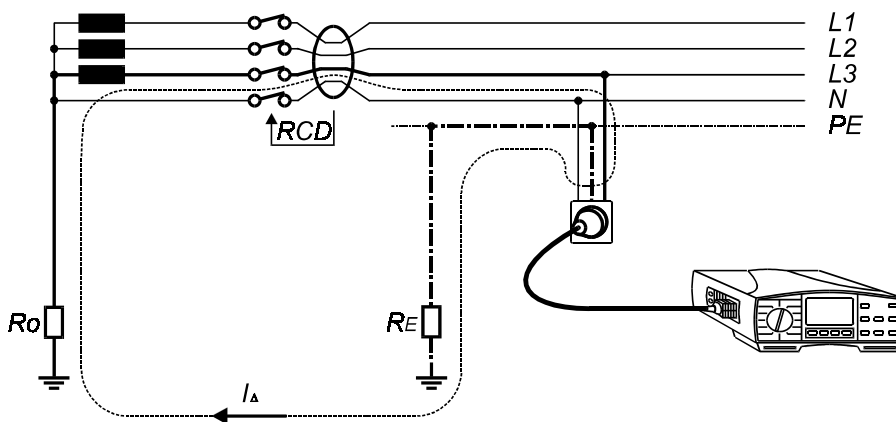


Fig. 51. Conexión práctica con el Eurotest 61557 o el Instaltest 61557

El instrumento de medida actúa como una carga defectuosa conectada a la instalación, generando una corriente de defecto entre fase y tierra a través del conductor de protección. La corriente de la prueba circula generando el siguiente bucle: terminal de tierra del instrumento - toma de corriente - conductor de protección - terreno – pica del transformador – secundario del transformador – conductor de línea – instrumento de medida. La resistencia de tierra es muy superior con respecto al resto de las partes del bucle creado, por lo que la mayoría de la tensión de contacto se concentra en dicha resistencia de tierra. Dicha tensión en la resistencia de tierra es medida por el instrumento y la muestra como la tensión de contacto.

Este método proporciona resultados bastante exactos, especialmente en sistemas TT, además de resultar realmente práctico al no tener que clavar ninguna pica auxiliar en el terreno. Sin embargo si se desean resultados totalmente exactos se recomienda utilizar el método con pica auxiliar descrito a continuación.

b) Medición de la tensión de contacto usando una pica auxiliar

El principio de medición se muestra en las dos figuras a continuación.

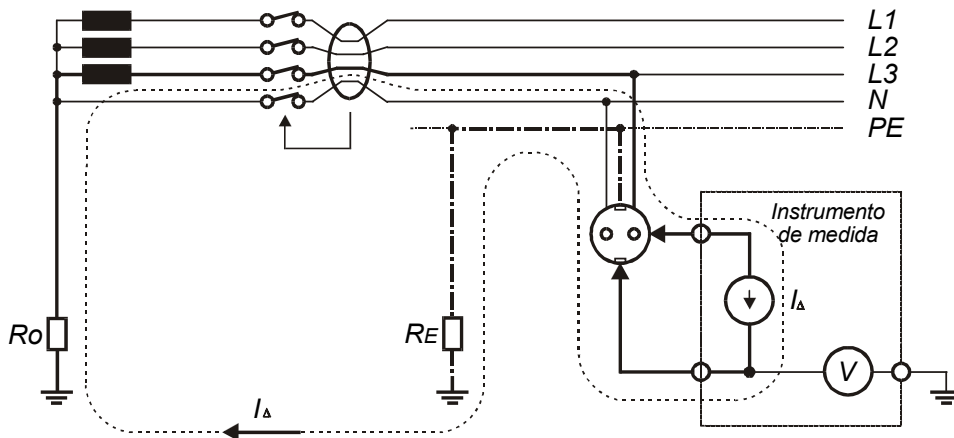


Fig. 52. Principio de la medición de la tensión de contacto en sistemas TT con utilización de pica auxiliar

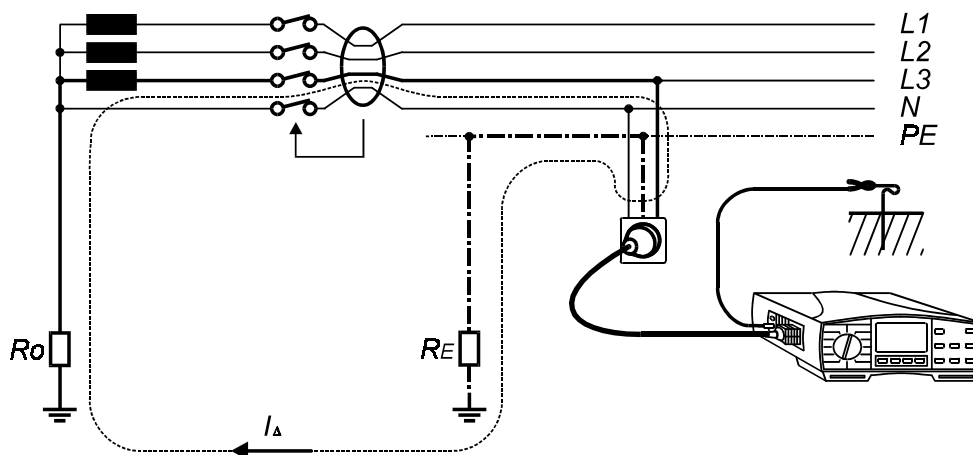


Fig. 53. Conexión práctica con el Eurotest 61557

Importante

- En caso de obtener una tensión de contacto elevada se debe comprobar la resistencia de tierra.
- Si el diferencial salta durante la prueba es prácticamente seguro que se deba a que ya exista una determinada corriente de fuga, que sumada a la generada por el instrumento provoca el disparo. En este caso se debe localizar la carga que genera dicha fuga y desconectarla de la instalación.

5.8.2. Tiempo de disparo t_{Δ}

Qué es el tiempo de disparo

El tiempo de disparo t_{Δ} es el tiempo que tarda el diferencial en saltar, a partir de que detecta la corriente diferencial $I_{\Delta N}$.

Los **máximos valores permitidos** del tiempo de disparo son definidos por la Norma EN 61009 y se listan en la tabla a continuación:

Tipo de RCD	$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}^*$	Observación
Estándar	0,3 s	0,15 s	0,04 s	Valor máximo permitido
Selectivo	0,5 s	0,2 s	0,15 s	Valor máximo permitido
	0,13 s	0,06 s	0,05 s	Valor mínimo permitido

* Se debe usar una corriente de prueba de 0,25A en vez de $5 \cdot I_{\Delta n}$ en caso de corrientes diferenciales nominales $I_{\Delta n} \leq 30$ mA.

Tabla 4. Valores máximos/mínimos de tiempo de disparo según la Norma EN 61009

Medición del tiempo de disparo t_{Δ}

El diagrama del circuito de medición es el mismo que para la tensión de contacto (ver figuras 50., 51., 52. y 53.) pero las corrientes de prueba son $0,5 \cdot I_{\Delta n}$, $I_{\Delta n}$, $2 \cdot I_{\Delta n}$ ó $5 \cdot I_{\Delta n}$. Por motivos de seguridad el instrumento mide primero la tensión de contacto (avisando en caso de un valor demasiado elevado) antes del tiempo de disparo.

En caso de que el tiempo de disparo esté fuera de los límites establecidos por la norma, se deberá sustituir el interruptor diferencial, ya que el tiempo de disparo depende únicamente del propio diferencial.

5.8.3. Corriente de disparo I_{Δ}

Qué es la corriente de disparo

Es la corriente diferencial más baja I_{Δ} que provoca el disparo del diferencial.

El rango de valores de corriente de disparo permitido lo establece la Norma EN 61009 y depende del tipo de interruptor diferencial (AC, A ó B) tal y como se describe a continuación:

$I_{\Delta} = (\text{de } 0,5 \text{ a } 1) \times I_{\Delta n}$ tipo AC

$I_{\Delta} = (\text{de } 0,35 \text{ a } 1,4) \times I_{\Delta n}$ tipo A

$I_{\Delta} = (\text{de } 0,5 \text{ a } 2) \times I_{\Delta n}$ tipo B

Medición de la corriente de disparo

El diagrama del circuito de medición es el mismo que para la tensión de contacto (ver figuras 50, 51, 52 y 53). El instrumento de medida envía inicialmente una corriente de $0,5 \cdot I_{\Delta n}$ o inferior, e incrementa posteriormente dicha corriente hasta que salta el diferencial, o en caso de no producirse el disparo, hasta $1,1 \cdot I_{\Delta n}$.

Si la corriente de disparo está fuera de los límites permitidos se deberá comprobar el estado del diferencial, así como de la propia instalación y cargas que cuelguen de dicho diferencial. Si el resultado es una corriente de disparo muy baja con respecto de la corriente nominal de disparo del diferencial, es bastante posible que se deba a que exista una corriente de fuga ajena a la provocada por el propio instrumento de medida.

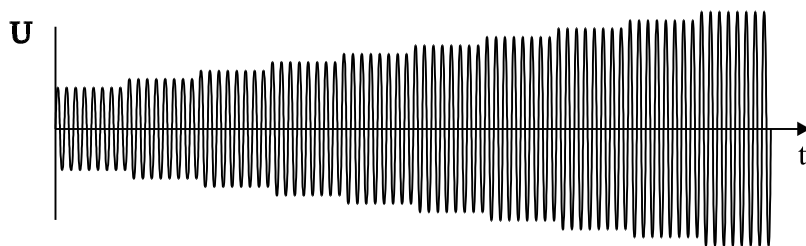


Fig. 54. Forma de la corriente aplicada en la medición de la corriente de disparo de un interruptor diferencial de tipo AC.

La forma de la corriente de prueba puede variar en función del fabricante del instrumento de medida, así como el número total de pasos también puede ser distinto. En cualquier caso, el principio de medición es siempre el mismo.

5.8.4. Resistencia de tierra R_E (fuente de tensión externa)

Una apropiada resistencia de tierra es de vital importancia cuando se utiliza un interruptor diferencial como dispositivo de protección contra posibles descargas eléctricas. Si la resistencia de tierra es demasiado alta entonces aparecerán tensiones de contacto relativamente altas al tocar las partes conductoras accesibles de cargas defectuosas. Esta tensión supone un riesgo importante de descarga eléctrica.

Como consecuencia de lo anterior, se debe medir la resistencia de tierra siempre que la tensión de contacto salga alta, y en caso de que la tierra esté alta también se deberá modificar la puesta a tierra (añadir picas o bandas, mallas, etc.)

Los instrumentos avanzados de hoy en día muestran ambos resultados (resistencia de tierra y tensión de contacto) simultáneamente, ya que el principio de medición es el mismo.

El Eurotest 61557 y Instaltest 61557 muestran los cuatro parámetros (tensión de contacto, resistencia de tierra, tiempo y corriente de disparo). El Eurotest 61557 puede medir la resistencia de tierra con y sin uso de pica auxiliar, mientras que el Instaltest 61557 lo hace sólo sin la pica. Conviene aclarar que la resistencia de tierra real se obtiene midiendo con una pica auxiliar. En la medición sin la pica auxiliar el valor que se obtiene es el del bucle de defecto completo. Lo que ocurre es que en sistemas TT el valor es muy similar al de la resistencia de tierra, ya que las resistencias del resto del bucle son despreciables.

a) Medida de la Resistencia de bucle de defecto sin pica auxiliar

Este método es muy práctico en sistemas TT. El diagrama del circuito, así como las conexiones son los mismos que en las figuras 50 y 51). El resultado es simplemente un cálculo matemático según la expresión:

$$\text{Resultado} = \Delta U / I_t = (U_o - U_L) / I_t = R_{\text{sec}} + R_L + R_{\text{PE}} + R_E + R_G + R_o$$

donde:

- I_t Corriente de prueba (normalmente 1/2 ó 1/3 de la corriente nominal del diferencial, de tal modo que éste no salte durante la prueba).
- U_o Tensión del sistema medida durante el primer paso de la medición (tensión del sistema descargada).
- U_L Tensión del sistema medida durante el segundo paso de la medición (tensión del sistema cargado con la corriente de prueba).
- R_{sec} Resistencia del secundario del transformador.
- R_L Resistencia del conductor de fase, entre el transformador y la toma de corriente donde se hace la medición.
- R_{PE} Resistencia del conductor de protección entre el terminal de tierra de la toma de corriente y la pica de tierra de la instalación.
- R_E Resistencia de la pica de tierra de la instalación.
- R_G Resistencia del terreno entre la pica y el transformador.
- R_o Resistencia de la pica de tierra del transformador.

La máxima resistencia de tierra en la pica de la instalación si se usa un interruptor diferencial se define en función de los siguientes parámetros del diferencial:

- Corriente nominal diferencial $I_{\Delta n}$ del interruptor diferencial instalado
Los valores estándar de $I_{\Delta n}$ son: 0,01A, 0,03A, 0,1A, 0,3A, 0,5A y 1A.
- Máxima tensión de contacto U_L permitida.
Normalmente es 50 V, en otros casos sólo 25 V (ver apartado 5.8.1).

La máxima resistencia de tierra permitida se calcula según la expresión:

$$R_E \text{ máx.} = U_L / I_{\Delta n}$$

donde:

U_L Tensión de contacto límite (25 ó 50 V).

$I_{\Delta n}$ Corriente nominal diferencial del interruptor diferencial instalado.

La siguiente tabla muestra los valores máximos permitidos calculados de forma previa.

Corriente nominal diferencial $I_{\Delta n}$ (A)	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1
Máx. Resistencia de tierra para $U_L = 50 \text{ V}$ (Ω)	5000	1666	500	166	100	50
Máx. Resistencia de tierra para $U_L = 25 \text{ V}$ (Ω)	2500	833	250	83	50	25

Tabla 5. Máximos valores de resistencia de tierra permitidos.

La medición descrita del valor de la resistencia de tierra difiere del método de medición descrito en el capítulo “Impedancia de bucle de defecto y posible corriente de cortocircuito” a continuación en que en este caso el interruptor diferencial no salta durante la prueba debido a la baja corriente de prueba utilizada ($<0,5 \cdot I_{\Delta n}$). Se considera que el valor de la resistencia de tierra R_E es mucho mayor que la suma de las otras resistencias que forman el bucle de defecto creado (lo cual es cierto para sistemas TT), por lo que:

Resultado $\approx R_E$

b) Medida de la Resistencia de tierra con pica auxiliar

Este método es apropiado para tanto para sistemas TT como TN.

El diagrama del circuito, así como las conexiones son los mismos que en las figuras 52 y 53 para la medida de la tensión de contacto.

El resultado es de nuevo un cálculo matemático según la expresión:

Resultado = $U_c / I = R_E$

donde:

U_c Tensión de contacto medida por el voltímetro con respecto de la pica auxiliar clavada en el terreno, que es la misma que la tensión en los extremos del electrodo/pica de tierra de la instalación.

I Corriente de prueba que circula a través de la resistencia de tierra, Medida por el amperímetro.

R_E Resistencia de tierra en el electrodo/pica de tierra de la instalación.

La máxima resistencia de tierra permitida R_E es igual que la presentada en la tabla 4 de la página anterior.

5.9. IMPEDANCIA DE BUCLE DE DEFECTO Y POSIBLE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO I_{pcc} EN 61557- 3

Si la instalación dispone de dispositivos de protección contra sobre-corrientes, tales como fusibles e interruptores magnetotérmicos, entonces se debe medir la impedancia de bucle de defecto Z_s . La impedancia de bucle de defecto debe ser lo suficientemente baja para permitir que las posibles corrientes de defecto causen el salto de los magnetotérmicos o la fundición de los fusibles en caso de defecto.

Existe una idea equivocada de que cuando una determinada corriente de fuga sale por la pica/s de tierra de una instalación, el problema se termina ahí. Sin embargo una parte importante de esa corriente está retornando a la instalación a través de la pica del transformador, secundario de éste, y el conductor de línea, origen del defecto. Al producirse este fenómeno existe una determinada corriente de cortocircuito que circula por el “**bucle de defecto**” descrito a continuación, y se suma a la corriente de carga en el conductor de línea.

El efecto inmediato debe ser el salto del diferencial. Sin embargo, en el caso de que éste no exista, o no funcione correctamente, debemos asegurarnos de que la impedancia del bucle o circuito creado sea lo suficientemente baja para que la corriente de cortocircuito sea lo bastante alta como para hacer saltar/fundir el dispositivo de corte por sobre-corriente dentro del tiempo máximo permitido por la norma en cada caso.

Se debe, por tanto, realizar esta medición en la última toma de corriente de cada circuito, y verificar que dichos circuitos están protegidos por las protecciones existentes, de acuerdo con los valores indicados en las tablas expuestas a continuación.

En sistemas TT las impedancias parciales son las siguientes:

- Impedancia del secundario del transformador de potencia
- La resistencia del conductor de fase entre el transformador y el punto de defecto
- La resistencia del conductor de protección entre el defecto y la pica de tierra.
- La resistencia de tierra R_E en la pica.
- La resistencia del terreno entre la pica y el transformador.
- La resistencia en la pica de tierra del transformador R_o .

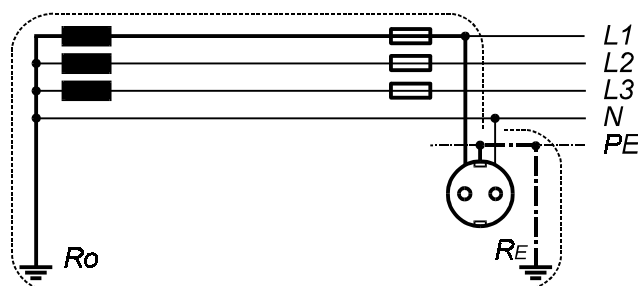


Fig. 56. Presentación del bucle de defecto en sistemas TT

La siguiente tabla muestra los valores máximos permitidos de impedancia de bucle en instalaciones con tensión nominal $U_{L-N} = 220$ V, protegida por fusibles tipo gG.

Corriente nominal del dispositivo de protección (A)	gG 0,4 s		gG 5s	
	I_a (A)	Z_s (Ω)	I_a (A)	Z_s (Ω)
2	16	13,7	9,2	23,9
4	32	6,8	18,5	11,8
6	47	4,6	28,0	7,8
10	82	2,6	46,5	4,7
16	110	2,0	65	3,3
20	147	1,4	85	2,5
25	183	1,2	110	2,0
32	275	0,8	150	1,2
40	320	0,6	190	1,1
50	470	0,4	250	0,8
63	550	0,4	320	0,6
80	840	0,2	425	0,5
100	1020	0,2	580	0,3
125	1450	0,1	715	0,3

I_a Corriente de bucle que asegura el corte del dispositivo de protección.

En algunos países se utilizan fusibles tipo gL en vez de gG. La tabla a continuación muestra los valores para fusibles gL de acuerdo con la Norma VDE 0636 en instalaciones con $U_{L-N} = 220$ V.

Corriente nominal del dispositivo de protección (A)	gL 0,2 s		gL 5s	
	I_a (A)	Z_s (Ω)	I_a (A)	Z_s (Ω)
2	20	11,0	9,21	23,9
4	40	5,5	19,2	11,5
6	60	3,7	28,0	7,9
10	100	2,2	47	4,7
16	148	1,5	72	3,1
20	191	1,2	88	2,5
25	270	0,8	120	1,8
32	332	0,7	156	1,4
35	367	0,6	173	1,3
40	410	0,5	200	1,1
50	578	0,4	260	0,8
63	750	0,3	351	0,6
80	—	—	452	0,5
100	—	—	573	0,4
125	—	—	751	0,3
160	—	—	995	0,2

La siguiente tabla muestra los valores máximos permitidos de impedancia de bucle en instalaciones con tensión nominal $U_{L-N} = 220\text{ V}$, protegida por interruptores magnetotérmicos tipos B, C y D.

Corriente nominal del dispositivo de protección (A)	Interruptor magnetotérmico tipo B		Interruptor magnetotérmico tipo C		Interruptor magnetotérmico tipo D	
	$I_a=5 \cdot I_n$ (A)	$Z_s (\Omega)$ (0,2s)	$I_a=10 \cdot I_n$ (A)	$Z_s (\Omega)$ (0,2s)	$I_a=20 \cdot I_n$ (A)	$Z_s (\Omega)$ (0,2s)
2	10	22	20	11	40	5,5
4	20	11	40	5,5	80	2,8
6	30	7,3	60	3,65	120	1,83
10	50	4,4	100	2,2	200	1,1
16	80	2,8	160	1,4	320	0,7
20	100	2,2	200	1,1	400	0,55
25	125	1,8	250	0,9	500	0,45
32	160	1,4	320	0,7	640	0,34
35	175	1,3	350	0,65	700	0,31
40	200	1,1	400	0,55	800	0,27
50	250	0,9	500	0,45	1000	0,22
63	315	0,7	630	0,35	1260	0,17

Dependiendo del tipo de magnetotérmico instalado, sabemos la corriente de cortocircuito mínima necesaria para hacerlo saltar en menos de 0,2 seg. Si la **posible corriente de cortocircuito I_{pcc}** medida por el instrumento es inferior a la indicada en la tabla, ese magnetotérmico no está realmente protegiendo el circuito. Si se produce el corto, y el diferencial no salta, la corriente circulará durante el tiempo que tarde el magnetotérmico en cortar por efecto térmico, pero no en menos de 0,2 seg, tal y como exige la norma.

Estos mismos conceptos son aplicables a la **impedancia de línea** (posible cortocircuito entre fase y neutro) explicada en el capítulo siguiente.

Medición de la impedancia de bucle

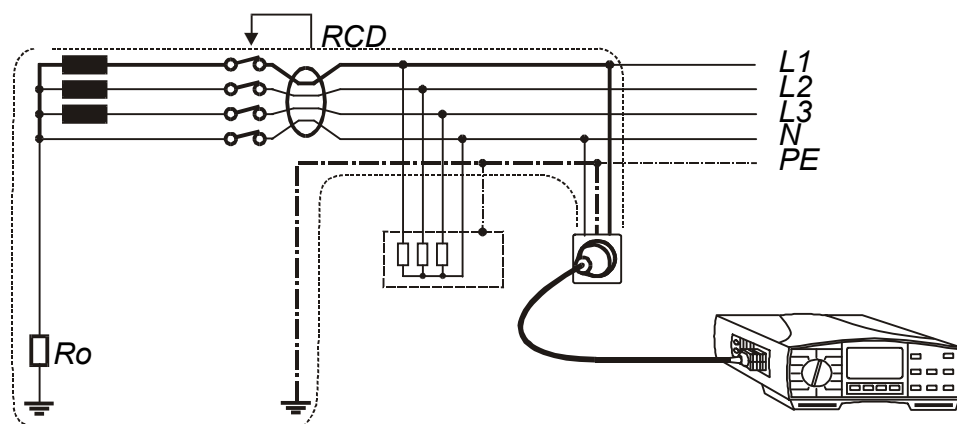


Fig. 58. Conexión práctica del Eurotest 61557 ó Instaltest 61557

$$\text{Resultado} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_{PE} + R_E + R_G + R_O = Z_s$$

donde:

Z_{sec} Impedancia del secundario del transformador.

R_{L1} Resistencia del conductor de fase entre el transformador y la toma de corriente donde se hace la prueba.

R_{PE} Resistencia del conductor de protección entre la toma de corriente y el transformador.

R_E Resistencia de la pica de tierra de la instalación.

R_G Resistencia del terreno entre la pica y el transformador.

R_O Resistencia de la pica de tierra del transformador.

El instrumento se conecta a la tensión del sistema actuando como una resistencia de carga, y genera la corriente de defecto que circula según el bucle mostrado en las figuras 57 y 58 (línea a trazos). La caída de tensión provocada por la corriente de prueba en la resistencia interna R_L del instrumento es medida por el voltímetro interno del instrumento. También se mide el desfase entre la tensión del sistema y la corriente de prueba. En base a los parámetros medidos el instrumento calcula la impedancia de bucle de defecto Z_s (Z_{LOOP}).

Los instrumentos avanzados de hoy en día muestran simultáneamente el valor de dicha impedancia de bucle y el valor de la posible corriente de cortocircuito **I_{pcc}** , calculada según la siguiente expresión:

$$I_{\text{pcc}} = U_n \cdot 1,06 / Z_{\text{LOOP}}$$

donde:

I_{pcc} Posible corriente de cortocircuito del bucle de defecto creado.

U_n Tensión nominal del sistema entre fase y conductor de protección Conectado a tierra (220 V ó 230 V).

Z_{LOOP} Impedancia de bucle de defecto.

5.10. IMPEDANCIA DE LÍNEA y posible corriente de cortocircuito

La impedancia de línea es la impedancia medida entre los terminales de fase (L) y neutro (N) en sistemas monofásicos o entre los terminales de dos fases en sistemas trifásicos. La impedancia de línea se debe medir para verificar la protección de los circuitos por parte de las protecciones instaladas, en caso de un posible cortocircuito, así como cuando se desee comprobar la capacidad de un circuito o de la instalación entera para alimentar determinadas cargas.

En muchas ocasiones se presenta la duda de si podemos añadir más cargas a un circuito determinado, aumentando la corriente de carga de dicho circuito, sin necesidad de aumentar la sección del mismo. Dicha duda se puede solucionar mediante la medición de la **impedancia de línea (Z_{LINE}) y posible corriente de cortocircuito I_{PCC}** . El valor de la corriente de cortocircuito obtenida en el punto de medición nos determina cuál es el mayor magnetotérmico que podemos colocar sin modificar la sección del conductor. La corriente de cortocircuito medida deberá ser siempre mayor que la mínima necesaria para provocar el salto del magnetotérmico en menos de 0,2 seg., según las tablas expuestas en el capítulo anterior.

La impedancia de línea es en realidad la suma de las siguientes impedancias parciales:

- Impedancia del secundario del transformador
- Resistencia del conductor de fase entre el transformador y el punto de prueba
- Resistencia del conductor neutro entre el transformador y el punto de prueba

Generalidades sobre la medición de la impedancia de línea

El principio de medición es exactamente el mismo que para la medición de la impedancia de bucle de defecto (apartado 5.9) salvo que en este caso el bucle se cierra entre los terminales L y N, es decir, la medición se hace entre fase y neutro.

5.10.1. Impedancia de línea entre los terminales de fase y neutro

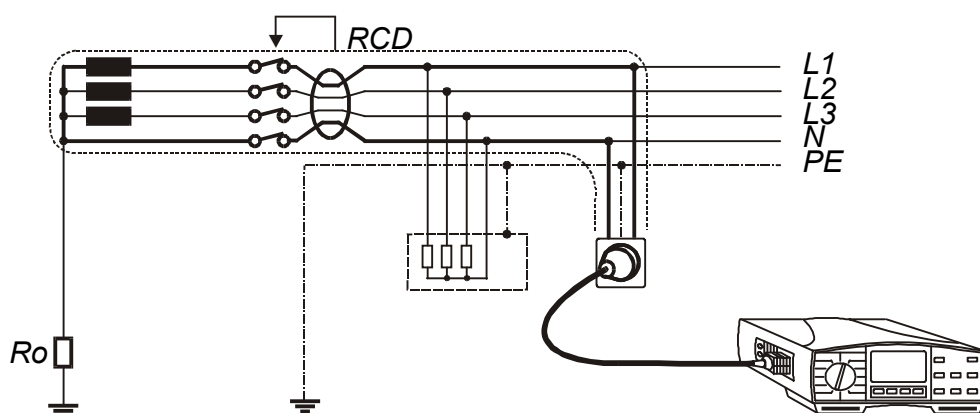


Fig. 60. Conexión práctica del instrumento

$$\text{Resultado} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_N = Z_{\text{LINE}}$$

donde

Z_{sec} Impedancia del secundario del transformador de potencia.

R_{L1} Resistencia del conductor de fase entre el transformador y el punto de Prueba.

R_N Resistencia del conductor de neutro entre el transformador y el punto de prueba

Z_{LINE} Impedancia de línea.

Ver descripción de la medición en el siguiente capítulo.

5.10.2. Medición de la impedancia de línea entre conductores de fase

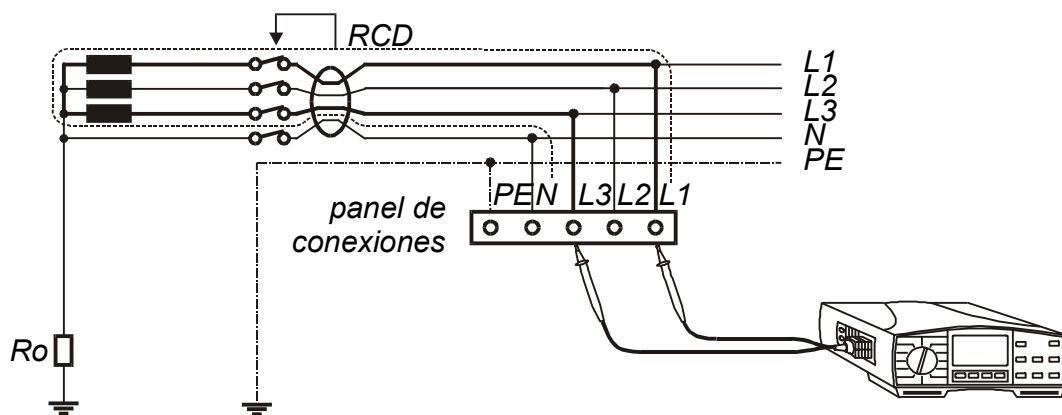


Fig. 62. Conexión práctica del instrumento.

$$\text{Resultado} = Z_{\text{sec}} + R_{L1} + R_{L3} = Z_{\text{LINE}}$$

La medición se lleva a cabo en dos pasos. Primero se mide la tensión del sistema entre los terminales de prueba. Después se conecta una carga de alta potencia (interna del instrumento) a los terminales de prueba durante un periodo corto de tiempo. La corriente de prueba generada recorre el bucle marcado en las figuras 59, 60, 61 y 62 con línea de trazos.

En función de la diferencia de tensiones con el sistema sin carga y con carga, y del desfase entre tensión y corriente, el instrumento calcula la impedancia de línea.

La posible corriente de cortocircuito I_{pcc} es calculada por el instrumento de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$I_{\text{pcc}} = U_n \cdot 1,06 / Z_{\text{LINE}}$$

donde:

I_{pcc} Posible corriente de cortocircuito.

U_n Tensión nominal del sistema, entre fase y neutro o entre fases (115 / 230 / 400 V).

Z_{LINE} Impedancia de línea.

5.11. RESISTENCIA DE BUCLE N-PE

Los instrumentos de hoy en día que disponen de electrónica avanzada pueden medir la resistencia incluso entre los conductores de neutro (N) y tierra (PE) en el caso de posibles corrientes elevadas en el conductor de neutro. Normalmente las corrientes generadas por tensiones de fase a través de distintas cargas lineales y no lineales, producen caídas de tensión de forma muy irregular. Estas caídas de tensión interfieren con las tensiones de prueba y por tanto entorpecen y dificultan la medición. El instrumento genera su propia tensión interna de prueba (aprox. 40V, a.c., <15 mA) ya que no existe tensión entre los conductores de protección y neutro.

La gran ventaja de este método frente al de bucle de defecto (L – PE) es que en este caso **se garantiza que el diferencial no saltará** durante la prueba, debido a la baja corriente generada (<15 mA).

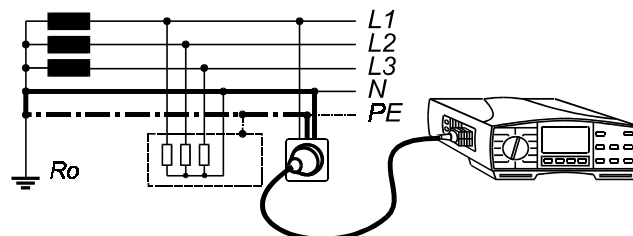
El Eurotest 61557 utiliza además un principio de medición especial (patentado) que filtra la señal de prueba y por tanto asegura unos Resultados correctos.

Interpretación de la medida

En función del Resultado obtenido podemos sacar las siguientes conclusiones:

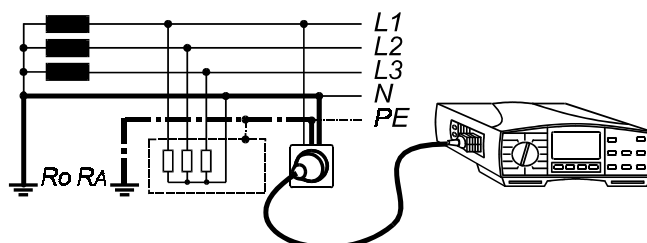
- **Tipo de sistema de puesta a tierra (TN, TT ó IT):**

a) TN si el valor obtenido es muy bajo (menor de 2Ω)



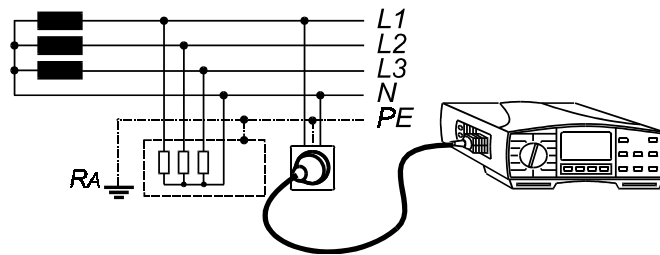
En este caso el valor obtenido es tan sólo la suma de las resistencias de los conductores $R_N + R_{PE}$

b) TT si el valor es algo mayor (más de 10Ω)



Ahora el valor obtenido es superior, ya que el resultado es la suma de cuatro valores: $R_N + R_{PE} + R_E + R_O$, es decir, añadimos las resistencias de las picas de nuestra instalación, más la del transformador.

c) IT si el valor obtenido es muy alto (incluso fuera de la escala del instrumento)



Como se observa en la figura, en instalaciones IT no existe conexión física entre el conductor de protección y el de neutro, lo que justifica que el valor obtenido sea muy elevado.

Importante

El propio valor alto de la resistencia medida no es, de por sí, suficiente evidencia de que estamos en un sistema IT. Podría deberse también a un corte o interrupción en el conductor de protección de un sistema TT ó TN. Habría, pues, que verificar el verdadero motivo.

- **El valor de la resistencia de tierra, en caso de sistema TT.**

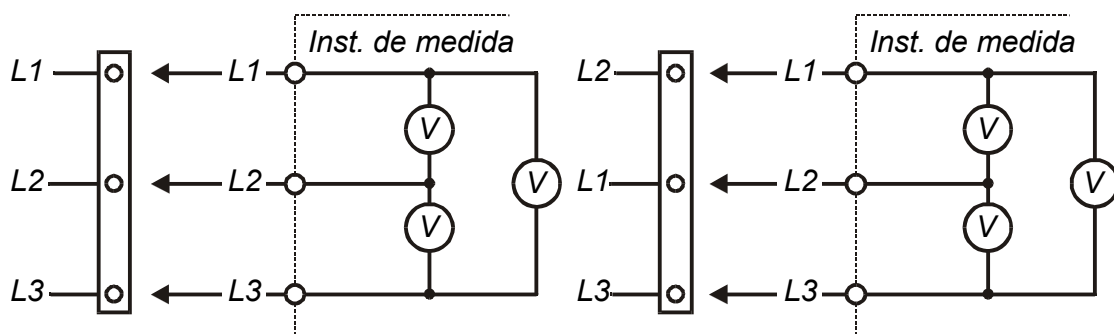
En el caso de sistemas TT, el resultado es muy parecido al de la resistencia de bucle de defecto, de hecho más aproximado al verdadero valor de la resistencia de tierra de la instalación (eliminamos impedancia parcial del transformador). Por este motivo, el instrumento también calcula la posible corriente de cortocircuito.

5.12. SECUENCIA DE FASES EN 61557- 7

En la práctica nos enfrentamos de forma habitual a la conexión de cargas trifásicas (motores y otras máquinas electromecánicas) a instalaciones trifásicas. Algunas cargas (ventiladores, extractores, motores, etc.) requieren una secuencia de fases determinada y pueden verse seriamente dañadas si se las conecta de forma inversa. Por este motivo es necesario verificar dicha secuencia antes de realizar la conexión.

La forma se realiza de forma comparativa, con respecto a una toma del sistema.

Cómo medir la secuencia de fases



1. Fase (referencial); el resultado es 1 2 3 2. Fase (comparativo); el resultado es 2 1 3

El instrumento compara las tres tensiones entre fases en relación con el desfase entre ellas, determinando de ese modo su secuencia.

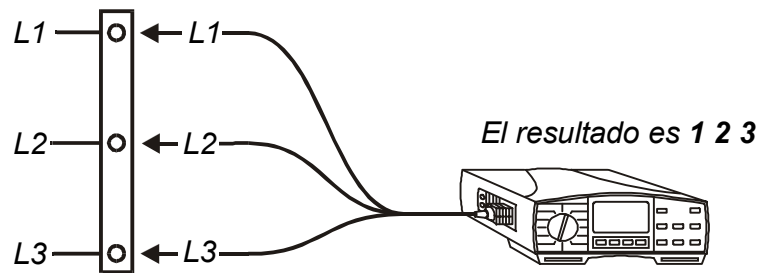


Fig. 68. Medida de la secuencia de fases

Procedimiento:

- Lo primero, debemos medir la secuencia en una toma o punto de la instalación donde necesitamos una secuencia determinada, que conocemos por la secuencia que nos exige la máquina que se va a conectar. Verificamos dicha secuencia.
- Se repite la medición en el resto de tomas desconocidas y se comparan Resultados.
- Si es necesario, se deberán intercambiar dos conductores de fase, si en algún caso la secuencia obtenida es la inversa.

5.13. MEDICIÓN DE TENSIÓN, CORRIENTE Y FRECUENCIA.

5.13.1. Medida de tensión y frecuencia.

La medida de tensión se debe realizar muy a menudo cuando trabajamos con instalaciones eléctricas (llevando a cabo distintas pruebas y mediciones, buscando defectos, etc.). La frecuencia se debe medir, por ejemplo, cuando se establece la fuente principal de alimentación (transformador de potencia de red o generador individual)

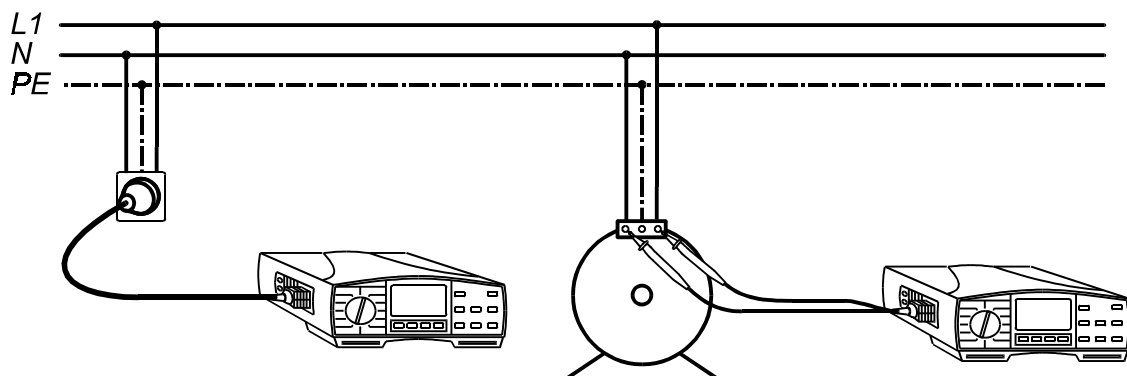


Fig. 69. Medida de tensión/frecuencia en una toma del sistema, mediante adaptador schuko, o en los bornes de un motor, mediante cable de prueba universal.

5.13.2. Medición de corriente

El Eurotest 61557 y Earth-Insulation Tester miden corriente por medio de una pinza transformadora de corriente, lo cual es una ventaja, ya que no es necesario interrumpir el bucle o circuito. Los valores de medición en ambos casos están entre 0,5 mA y 200 A, con resoluciones entre 0,1mA y 1 A.

La figura a continuación nos muestra la medida de bajas corrientes usando la pinza, mientras que la figura 71 representa la medición simultánea de una corriente de carga en la fase L2 y la tensión entre fases U_{L2-L1} .

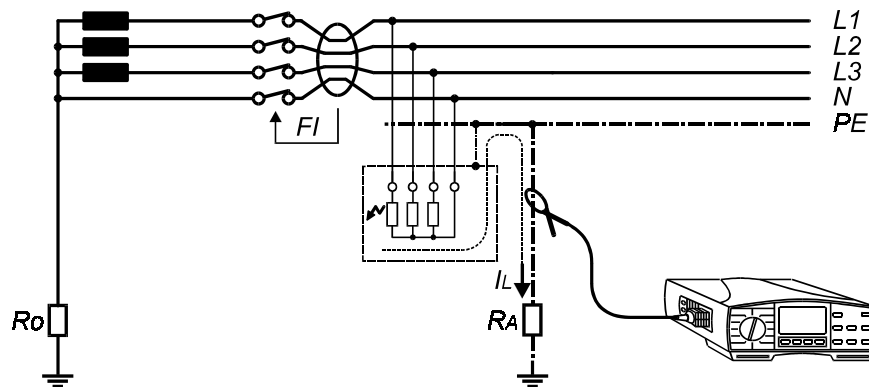


Fig. 70. Medida de corrientes bajas (ej. corrientes de fuga)

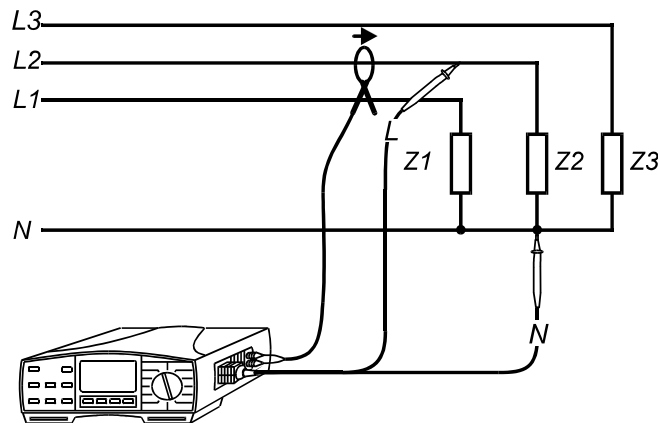


Fig. 71. Medida de corriente de carga y tensión entre fases

La forma de la corriente medida es normalmente no-senoidal. Dicha forma de onda se ve distorsionada por diversas cargas no lineales conectadas a la instalación aguas arriba. Por este motivo es importante que el instrumento de medida (por ejemplo el Eurotest 61557 o el Earth-Insulation Tester) midan dicha corriente en verdadero valor eficaz (TRMS). De lo contrario el resultado puede llevar a confusiones.

5.14. COMPROBACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRE-TENSIONES BASADOS EN VARISTOR.

Los dispositivos de protección contra sobre-tensiones se suelen usar cada día más para proteger equipos eléctricos y electrónicos tales como ordenadores e impresoras, sistemas de telefonía, etc. contra los efectos de posibles descargas atmosféricas, especialmente en aquellas zonas en las que dichas descargas atmosféricas son frecuentes.

Para asegurar la protección más efectiva, los dispositivos de protección se suelen instalar en tres niveles distintos:

- En cuadros de conexión, a la entrada de la acometida principal (evitan la propagación de sobre-tensiones al resto de la instalación: protección basta).
- En cuadros de distribución de las ramas de la instalación (protección media).
- De forma adyacente a los propios equipos conectados (protección fina).

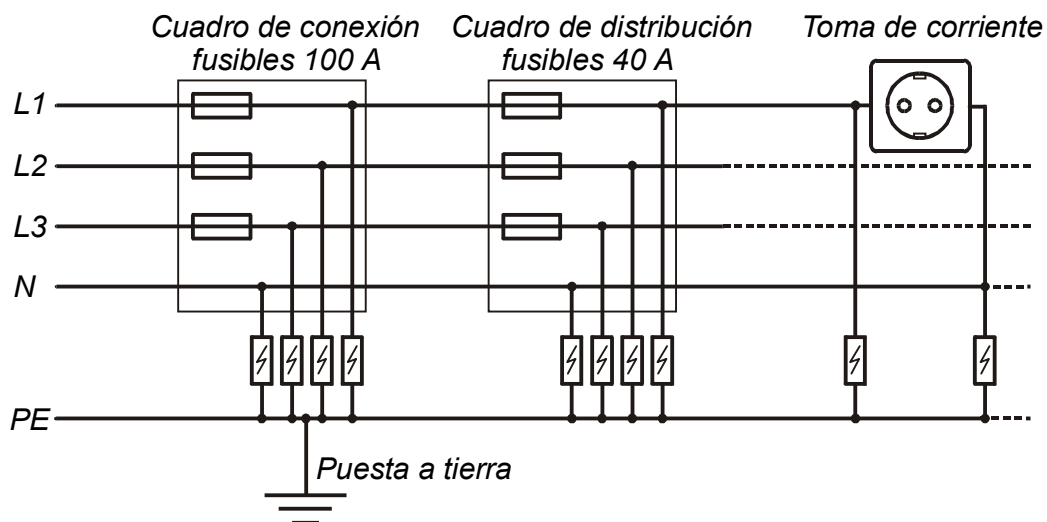


Fig. 72. Conexiones para protección multi-nivel

La construcción de los dispositivos de protección es muy heterogénea y diversa. Pueden consistir en tan sólo un varistor, descargadores de gas, diodos ultra rápidos, solenoides, condensadores, o la combinación de éstos y otros elementos de protección distintos.

Los dispositivos pueden, debido a la absorción de impulsos de alta tensión, variar sus características de dos formas distintas:

- La tensión de ruptura puede caer. Por esta razón pueden ser destruidos por la propia tensión del sistema.
- Pueden romper totalmente. Por tanto la función de protección se pierde al completo.

Instrumentos como el Eurotest 61557, Instaltest 61557 o el Earth-Insulation Tester pueden llevar a cabo pruebas no destructivas de los dispositivos de protección contra sobretensiones basados en varistor, usando tensiones de prueba entre 50 y 1.000 V.

El principio de medición se muestra en la figura a continuación:

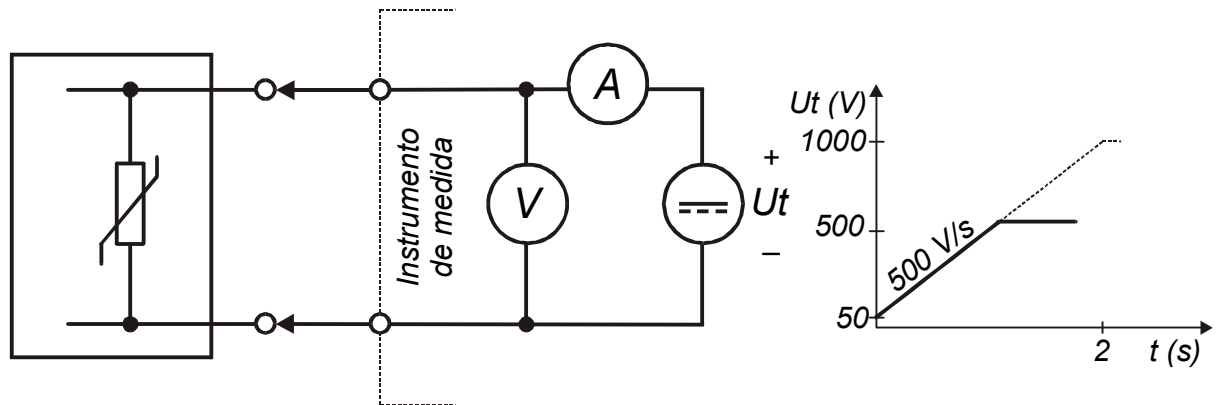


Fig. 73. Principio de medición

Un generador DC interno crea una rampa de tensión de pendiente 500 V/s, mientras un amperímetro interno mide la corriente de descarga. En el momento en que dicha corriente alcanza el valor de 1 mA (umbral de corriente a partir del cual se considera que el varistor conduce), el generador deja de generar tensión, y la última tensión de la rampa (tensión de ruptura) se muestra en pantalla.

El usuario debe comparar la tensión de ruptura mostrada en pantalla con la tensión nominal del dispositivo (impresa en su carcasa) y reemplazarlo si es necesario.

Se considera que el dispositivo está fuera de uso si:

- Si está en circuito abierto (Resultado **>1000 V**). Ya no existe función de protección.
- Si la tensión de ruptura mostrada es demasiado alta (por ejemplo el doble de la nominal). La protección está parcialmente dañada. Puede llegar a permitir sobretensiones demasiado altas.
- Si la tensión de ruptura mostrada es demasiado baja (valor cerca de la tensión nominal del sistema). El dispositivo podría destruirse por la propia tensión del sistema en poco tiempo.

Importante

- La prueba debe realizarse sin tensión en el dispositivo.
- El dispositivo a prueba debe retirarse de la instalación antes de la prueba, para evitar que posibles cargas conectadas a la instalación puedan afectar el Resultado final.

5.15. SEGUIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Cuando tratamos con instalaciones eléctricas, ya sean nuevas o antiguas, cuando tratamos de eliminar defectos en ellas, cuando queremos planificar una nueva instalación a partir de una ya existente, cuando queremos realizar mediciones en instalaciones que desconocemos, etc., la mayoría de las veces nos encontramos con el problema de identificar y seguir una determinada línea de cables oculta. Algunos casos concretos serían:

- Identificación de un elemento de protección (fusible, etc.) para un circuito determinado.
- Localización de cortocircuitos y cables interrumpidos.
- Seguimiento de un conductor oculto en presencia de tensión.
- Seguimiento de conductores ocultos exentos de tensión.

Instrumentos como el Eurotest 61557 o Instaltest 61557 en combinación con el receptor-localizador KMA 1005 (incluido en el “Euroset”) pueden solucionar todas las situaciones anteriormente descritas. El usuario puede seleccionar dos modos de funcionamiento (inductivo o capacitivo) de recepción de la señal en dicho receptor, según se describe a continuación:

- Modo inductivo El instrumento trabaja en una instalación con tensión del sistema presente (carga dicha tensión).
- Modo capacitivo El instrumento trabaja en una instalación sin tensión del sistema presente (carga señal del generador interno).

El propio instrumento selecciona el modo apropiado automáticamente, en función de que detecte o no detecte la tensión del sistema.

A continuación se describe el principio de funcionamiento y de operación del instrumento:

a) Reconocimiento del elemento de protección en instalaciones con tensión del sistema.

Se debe colocar el receptor en modo inductivo.

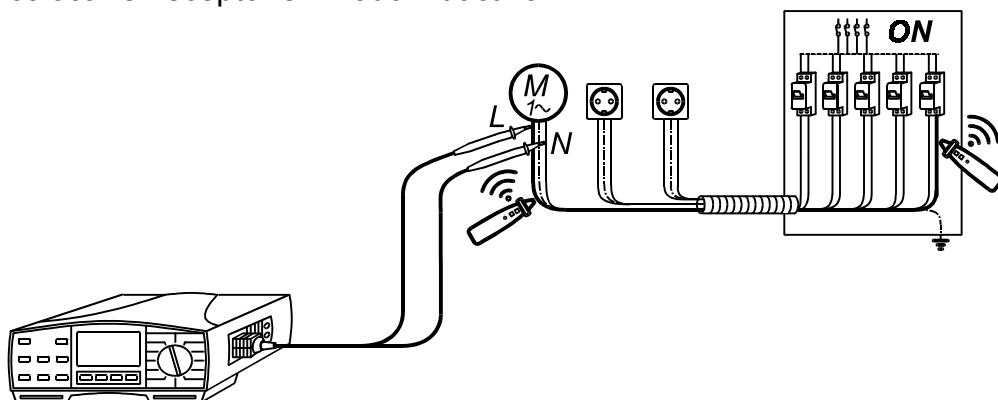


Fig. 74. Conexión del instrumento de medida a los terminales de fase y neutro de la máquina o aplicación eléctrica.

El instrumento carga la tensión del sistema, generando una corriente de una frecuencia determinada entre fase y neutro. Dicha corriente crea un campo electromagnético alrededor de los conductores conectados a la carga, la cual es detectada por el receptor KMA 1005 en cualquier punto de la instalación. Si se mira en el cuadro, identificamos el fusible o magnetotérmico del que cuelga dicha carga.

Si lo que deseamos es identificar el fusible o magnetotérmico que protege una determinada toma de corriente schuko, simplemente enchufamos el instrumento a dicho schuko:

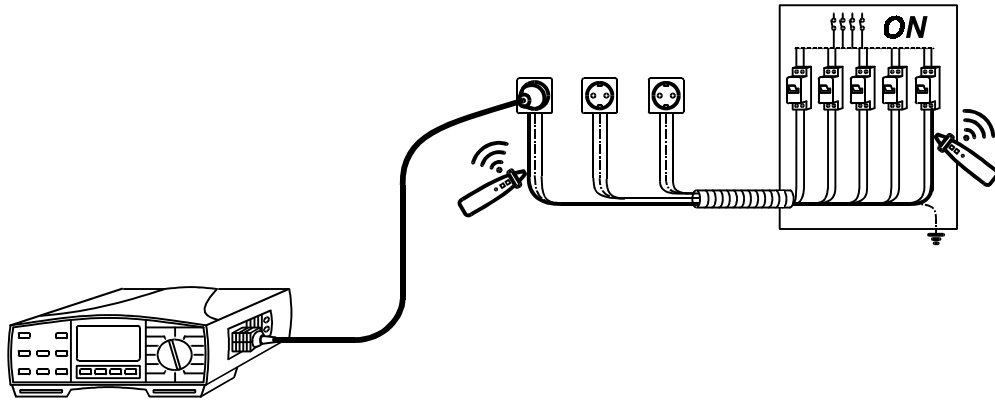


Fig. 75. Conexión del instrumento a un schuko alimentado con tensión del sistema.

El principio de operación del instrumento es en ambos casos (figuras 74 y 75) el mismo, es decir, el instrumento cargando la tensión del sistema, generando impulsos de corriente entre fase y neutro.

b) Reconocimiento del elemento de protección en instalaciones sin tensión.

Se debe colocar el receptor en modo capacitivo.

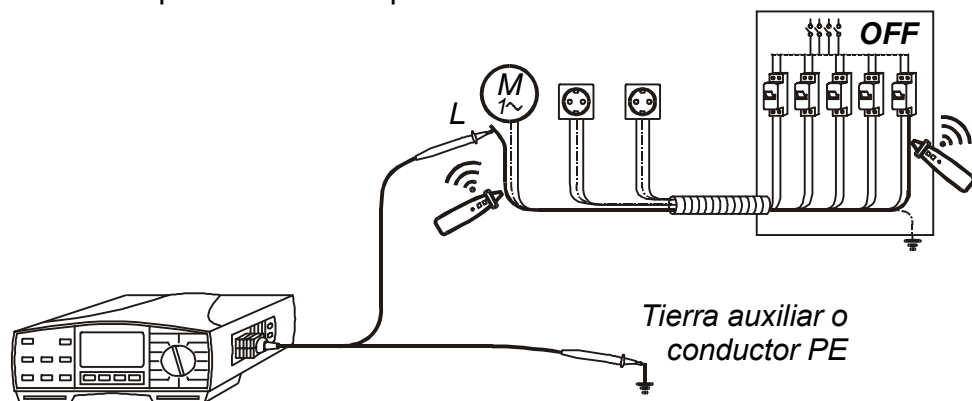


Fig. 76. Identificación del elemento de protección asociado a una determinada aplicación eléctrica, sin tensión en el sistema (usando la tierra como referencia).

El instrumento genera y carga una señal de prueba, con una determinada frecuencia audible, entre el punto de referencia y el conductor que se desea identificar en el cuadro. El conductor radia dicha señal, la cual se debilita según se aumenta la distancia, lo cual se va detectando con el receptor KMA 1005. De este modo el receptor identifica el otro extremo del conductor en el cuadro.

Antes de comenzar la prueba es necesario desconectar el conductor de fase de la aplicación. Si esto no se hiciese, la señal sería transmitida por la resistencia interna de la aplicación eléctrica al conductor neutro, que está al potencial de tierra. Como estamos utilizando la tierra como punto de referencia, la medición sería errónea.

La misma medición se puede realizar si se enchufa directamente el instrumento a una toma schuko:

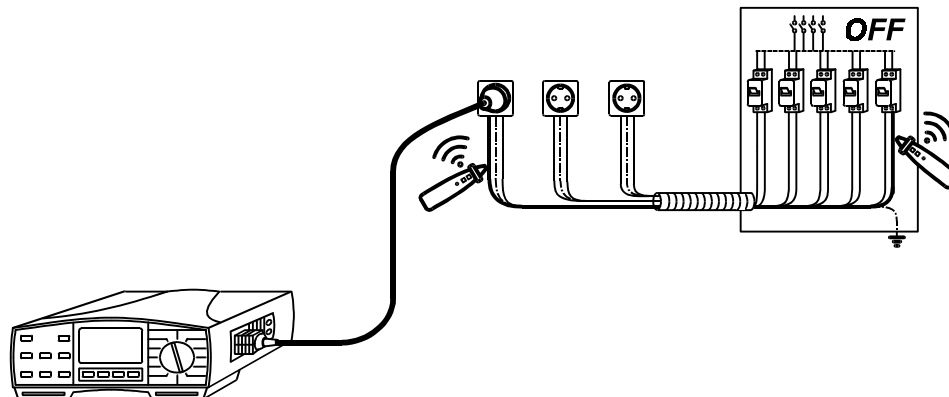


Fig. 77. Identificación del elemento de protección asociado a una toma de corriente, sin tensión en el sistema (usando el neutro como referencia).

Ambos casos (figuras 76 y 77.) son iguales, salvo en el punto de referencia (tierra en la figura 76 y neutro en la 77).

c) Localización de cortocircuitos entre conductores de fase y neutro.

Se debe colocar el receptor en modo inductivo.

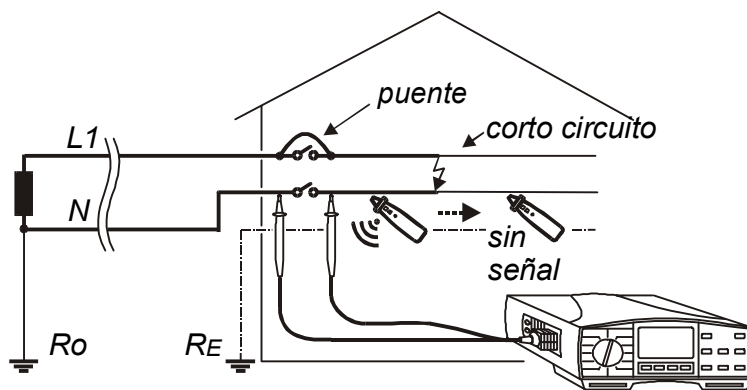


Fig. 78. Conexión del instrumento para localizar un cortocircuito entre conductores de fase y neutro.

Antes de comenzar la prueba es necesario puentear uno de los polos del interruptor de corte, permitiendo de ese modo al instrumento cargar la tensión del sistema.

Se establece el siguiente bucle: transformador, conductor de fase desde el transformador hasta el cortocircuito (mediante el puente colocado), conductor de neutro, instrumento (resistencia interna) y de nuevo al transformador. El campo electromagnético creado por la corriente es detectado por el receptor KMA 1005, llegándose a localizar fácilmente el punto del cortocircuito.

d) Localización de cortocircuitos entre conductores de fase y tierra.

Se debe colocar el receptor en modo inductivo.

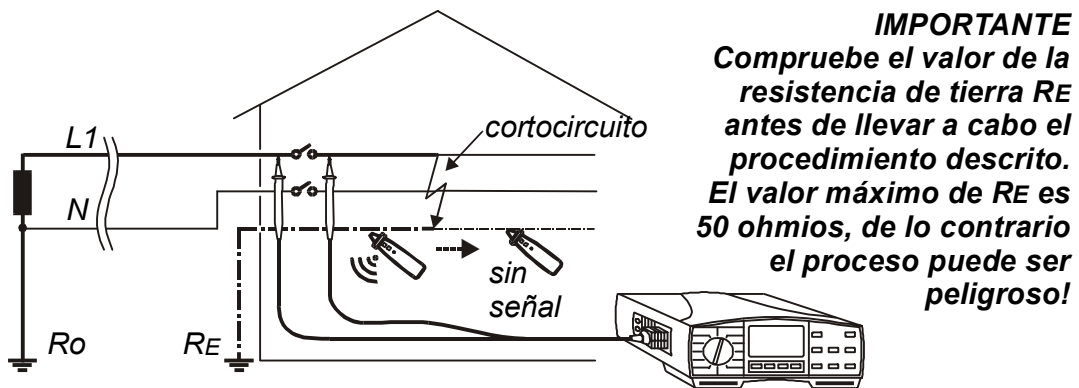


Fig. 79. Conexión del instrumento para localizar un cortocircuito entre conductores de fase y tierra.

El instrumento carga la tensión del sistema. Se establece el siguiente bucle: transformador, conductor de fase desde el transformador hasta el cortocircuito, conductor de protección (tierra) desde el cortocircuito al terreno a través del instrumento (resistencia interna) y de nuevo al transformador, a través del terreno. El campo electromagnético creado por la corriente es detectado por el receptor KMA 1005, llegándose a localizar fácilmente el punto del cortocircuito.

Si hay interruptor diferencial dentro del bucle formado, se debe puentear, para evitar que la corriente de prueba provoque su disparo.

e) Localización de cortes (interrupciones) en conductores.

Se debe colocar el receptor en modo capacitivo.

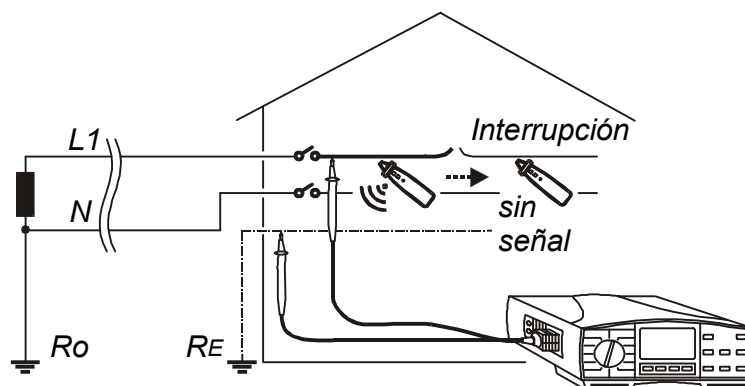


Fig. 80. Conexión del instrumento para localizar un corte (interrupción) en un conductor.

La medición se debe llevar a cabo sin tensión en la instalación. El instrumento genera y aplica una señal de frecuencia audible entre el punto de referencia (conductor de protección/tierra) y el conductor cuya interrupción queremos localizar.

El conductor radia la señal aplicada, la cual es fácilmente detectable por el receptor KMA 1005.

Si no existiese conductor de protección en la instalación, se sustituiría éste por un conductor conectado a una pica auxiliar de tierra (incluida en cualquier kit de medición de tierras) de forma temporal.

Importante

Cuando tratemos con instalaciones complejas (largos conductores con muchos circuitos conectados a ellos en paralelo), se recomienda desconectar el circuito a comprobar de cualquier elemento que pueda estar conectado a él, y que no forme parte de la instalación. Si no se hace esto, la señal de prueba se podría esparcir por toda la instalación, y el Resultado de la prueba sería incorrecto.

5.16. POTENCIA

Las cargas eléctricas conectadas a las instalaciones eléctricas difieren unas de otras en función de diversas características, tales como su potencia nominal, el carácter de su impedancia interna, nº de fases conectadas, etc.

Como las instalaciones se dimensionan y realizan para suministrar valores de potencia limitados, es necesario poder visualizar y analizar la potencia consumida en relación con la suministrada por la Compañía. Si no se hace esto, la instalación podrá resultar sobrecargada y consecuentemente dañada, ser cortada por los interruptores de protección, algunas cargas podrían Resultar perjudicadas por bajadas de tensión debidas a la propia sobrecarga, etc. Se debe observar el carácter de la potencia consumida ($\cos \varphi$) y compensarlo si es necesario. La figura a continuación representa el triángulo de potencia de una instalación:

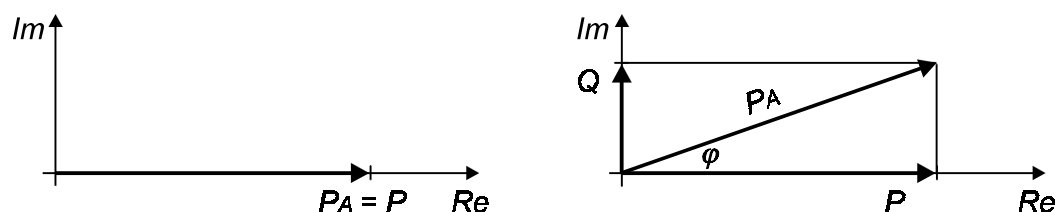


Fig. 81. Diagrama de potencia de una instalación ($\cos \varphi = 1$ a la izquierda y $\cos \varphi \neq 1$ a la derecha)

donde:

- Im Ejes imaginarios.
- Re..... Ejes reales.
- P..... Potencia activa.
- Q Potencia reactiva.
- PA..... Potencia aparente.

5.16.1. Medición de potencia en sistemas monofásicos.

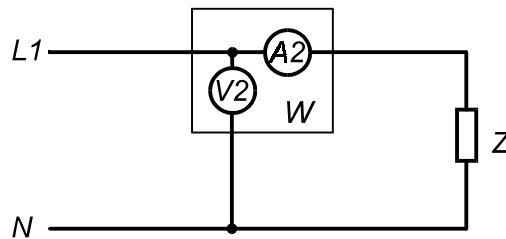


Fig. 82. Principio de medición de potencia en sistemas monofásicos.

La medición de las tres potencias (activa, reactiva y aparente) se puede realizar indirectamente midiendo la tensión de fase U_{L-N} , corriente de fase I_L y el desfase φ entre tensión y corriente. El ángulo φ es el Resultado de la carga total, inductiva o capacitiva, conectada a la instalación.

Usando instrumentos avanzados como el Eurotest 61557 o el Power-Harmonics Analyser, se puede medir de forma directa las tres potencias en cargas monofásicas (Eurotest 61557) o trifásicas (Power-Harmonics Analyser). También se puede medir las tres potencias con el Eurotest 61557 en sistemas trifásicos, realizando la medición en tres pasos, y calculando posteriormente los valores totales (procedimiento descrito posteriormente).

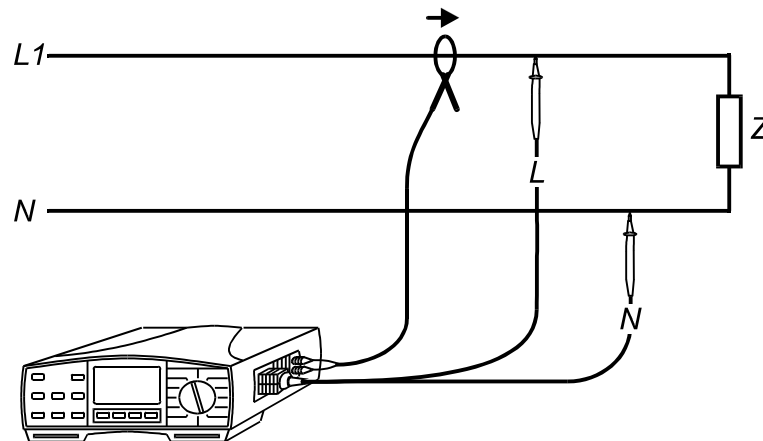


Fig. 83. Conexión del instrumento para medir potencia en sistemas monofásicos.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots \text{(Potencia activa en W)}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots \text{(Potencia reactiva en VAR)}$$

$$PA = U \cdot I \dots\dots\dots \text{(Potencia aparente en VA)}$$

donde:

- U Valor eficaz de la tensión de fase
- I Valor eficaz de la corriente de fase
- φ ángulo entre la tensión de fase U y la corriente de fase I

5.16.2. Medición de potencia en sistemas trifásicos.

La medición de potencia en sistemas trifásicos se divide en dos grupos:

- **Medidas en sistemas de 4 cables (con neutro)**
- **Medidas en sistemas de 3 cables (sin neutro)**

El sistema de tres cables es el más usado al transportar energía en altas tensiones. También se usa en bajas tensiones cuando se tienen potentes cargas simétricas sin conexión a neutro (motores, ventiladores y extractores, sistemas de calefacción, etc.) conectadas a la instalación.

El sistema de cuatro cables es más adecuado para alimentar cargas trifásicas desequilibradas o cargas monofásicas conectadas entre cualquiera de las tres fases de la instalación y el conductor neutro.

Cuando se mide potencia en sistemas trifásicos es necesario tener en cuenta el hecho de que el sistema o fuente de alimentación trifásica utilizada puede estar desequilibrado (las flechas de los vectores representativos de las tres tensiones de fase $U_{L1/L2}$, $U_{L2/L3}$, $U_{L3/L1}$, puestas en secuencia no forman un triángulo equilátero), debido a posibles cargas trifásicas desequilibradas conectadas al sistema.

Medición de potencia en sistemas trifásicos de 4 cables

a) Método del vatímetro trifásico

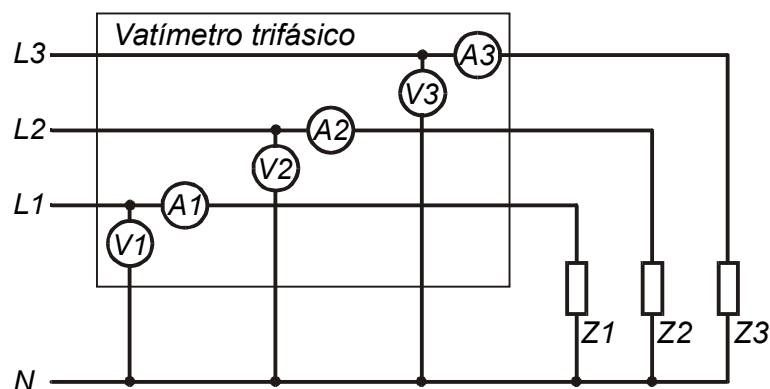


Fig. 84. Principio de medición de potencia en sistema trifásico de 4 cables usando un vatímetro trifásico.

El vatímetro trifásico mide las tres tensiones de fase, corrientes de fase y desfases entre tensiones y corrientes. En función de estos valores, puede calcular los tres niveles de potencia separados para cada fase, así como el nivel de potencia total del sistema trifásico.

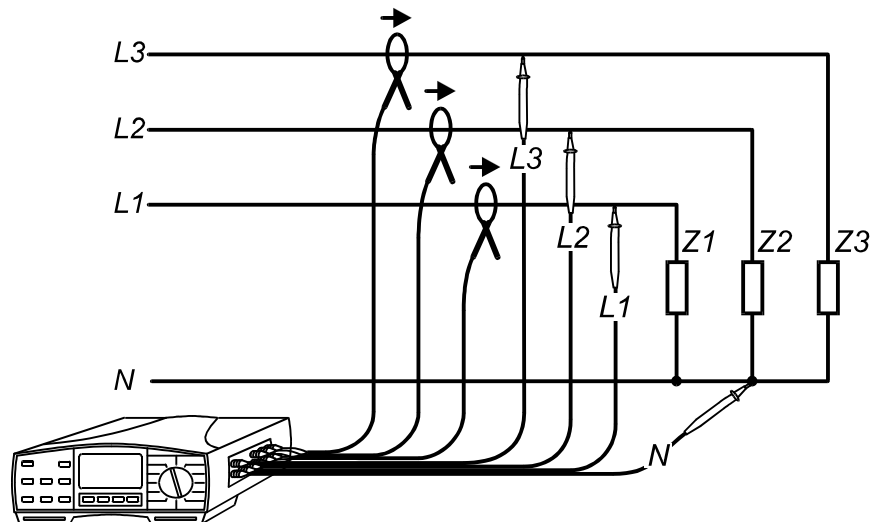


Fig. 85. Medición de potencia en sistema trifásico de 4 cables usando el Power-harmonics analyser (KMI 2092).

Todas las tres potencias pueden leerse directamente en pantalla. Este método permite la medición de potencia en las tres fases de forma simultánea y es especialmente adecuado para potencia desequilibrada. En el caso de potencia equilibrada se puede usar un vatímetro monofásico y medir en tres pasos (uno para cada fase), según se describe a continuación.

b) Método del vatímetro monofásico.

Donde existan cargas monofásicas o trifásicas no simétricas conectadas al sistema trifásico, es necesario medir la potencia en las tres fases (no se puede medir sólo una y luego calcular el valor total). La medición usando el Eurotest 61557 se lleva a cabo en tres pasos, donde cada uno de ellos es el equivalente a la medición de potencia en un sistema monofásico:

Primer paso:

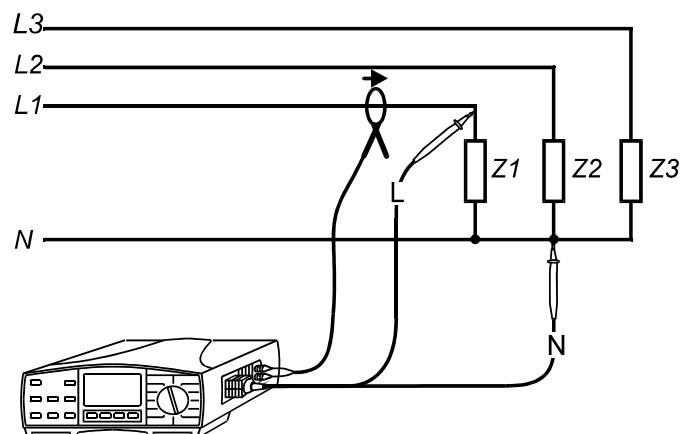


Fig. 86. Medición de potencia en un sistema trifásico (primer paso)

- Resultado 1 = $P1 = U1 \cdot I1 \cdot \cos \varphi1$ (potencia activa)
- Resultado 2 = $Q1 = U1 \cdot I1 \cdot \sin \varphi1$ (potencia reactiva)
- Resultado 3 = $PA1 = U1 \cdot I1$ (potencia aparente)

Segundo paso:

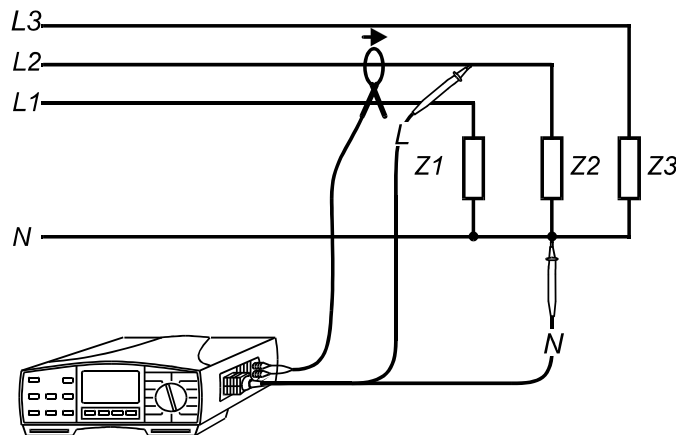


Fig. 87. Medición de potencia en un sistema trifásico (segundo paso)

- Resultado 1 = $P2 = U2 \cdot I2 \cdot \cos \varphi2$.. (potencia activa)
- Resultado 2 = $Q2 = U2 \cdot I2 \cdot \sin \varphi2$... (potencia reactiva)
- Resultado 3 = $PA2 = U2 \cdot I2$ (potencia aparente)

Tercer paso:

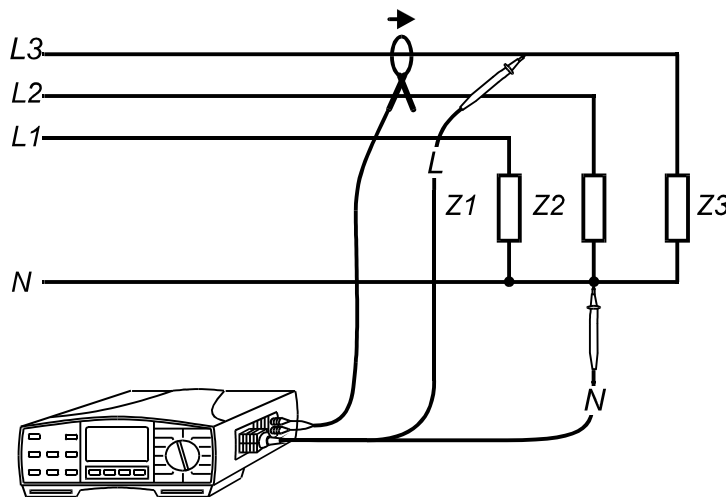


Fig. 88. Medición de potencia en un sistema trifásico (tercer paso)

- Resultado 1 = $P3 = U3 \cdot I3 \cdot \cos \varphi3$.. (potencia activa)
- Resultado 2 = $Q3 = U3 \cdot I3 \cdot \sin \varphi3$ (potencia reactiva)
- Resultado 3 = $PA3 = U3 \cdot I3$ (potencia aparente)

En cada paso el instrumento mide la tensión de fase, corriente de fase y desfase entre tensión y corriente. A partir de los resultados obtenidos en cada paso (para cada fase) podemos calcular las tres potencias totales del sistema trifásico, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$P_{tot} = P1 + P2 + P3 \dots\dots\dots \text{(potencia activa total del sistema trifásico)}$$

$$Q_{tot} = Q1 + Q2 + Q3 \dots\dots\dots \text{(potencia reactiva total del sistema trifásico)}$$

$$P_{A tot} = \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2} \dots\dots\dots \text{(potencia aparente total del sistema trifásico)}$$

$$PF_{tot} = P_{tot} / P_{A tot} \dots\dots\dots \text{(factor de potencia)}$$

Medición de potencia en sistemas trifásicos de 3 cables

a) Método de 2 vatímetros monofásicos (conexión “Aron”)

Si únicamente nos interesa la potencia total del sistema trifásico, y no las potencias individuales de cada fase, entonces se recomienda el método de los dos vatímetros en conexión “Aron”, según se describe a continuación. Este método permite el cálculo de la potencia activa total, incluso con cargas trifásicas no simétricas (las puntas de los vectores de tensión $U_{L1/L2}$, $U_{L2/L3}$ y $U_{L3/L1}$ en secuencia no forman un triángulo equilátero).

El cálculo de la potencia aparente total es correcto, sólo si las cargas conectadas son simétricas y las tensiones entre fases equilibradas, por ejemplo, en un sistema de alimentación equilibrado.

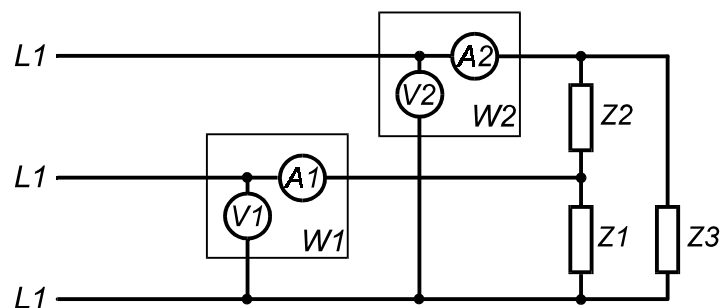


Fig. 89. Principio de medición de potencia en sistemas trifásicos de 3 cables usando el método de los dos vatímetros monofásicos.

Este método se puede utilizar también con el Eurotest 61557, pero en este caso la medición se debe llevar a cabo en dos pasos y calcular posteriormente la potencia total, según explicamos a continuación.

Primer paso:

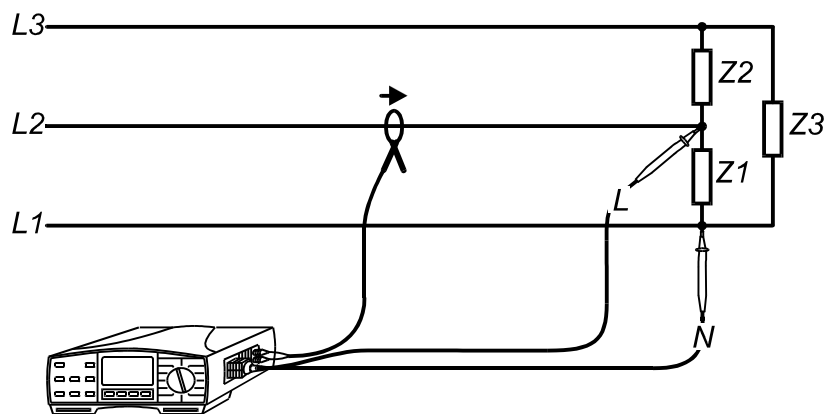


Fig. 90. Medición de potencia usando el Eurotest 61557 (primer paso)

$$\text{Resultado 1} = U_{L2/L1} \cdot I_{L2} \cdot \cos \delta = P_{L2/L1}$$

$$\text{Resultado 2} = U_{L1/L2} \cdot I_{L2} = P_{A L1/L2}$$

donde

δ desfase entre la tensión entre fases $U_{L2/L1}$ y la corriente I_{L2}

Segundo paso:

La pinza de corriente y la punta de tensión se debe mover del conductor L2 al conductor L3, y repetir la medición.

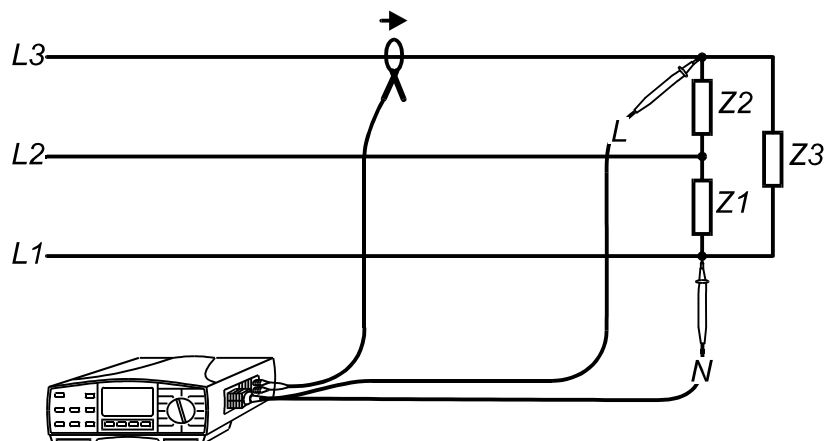


Fig. 91. Medición de potencia usando el Eurotest 61557 (segundo paso)

$$\text{Resultado 1} = U_{L3/L1} \cdot I_{L3} \cdot \cos \delta = P_{L3/L1}$$

Donde:

δ =desfase entre la tensión entre fases $U_{L3/L1}$ y la corriente I_{L3}

La potencia activa y potencia aparente totales se pueden calcular según las expresiones siguientes:

$$P_{tot} = P_{L2/L1} + P_{L3/L1} \dots\dots\dots \text{(potencia activa total)}$$

$$P_{A \text{ tot}} = P_{A \text{ L2/L1}} \cdot 1,732 \dots\dots\dots \text{(potencia aparente total)}$$

$$PF_{tot} = P_{tot} / P_{A \text{ tot}} \dots\dots\dots \text{(factor de potencia)}$$

Importante

- Es necesario tener en cuenta la correcta polaridad de las puntas de tensión, así como de la pinza de corriente (observar marcas en ambas), de lo contrario el resultado puede ser incorrecto.
- En caso de que la potencia medida salga negativa (posiblemente debido a un desfase demasiado elevado entre tensión y corriente) se debe tener en cuenta el signo “-“ para las ecuaciones de cálculo finales.
- Es necesario saber que los valores medidos no tienen un significado real, sino que sólo sirven para el cálculo de la potencia total .
- La potencia activa total calculada es correcta, sin tener en cuenta el tipo de sistema (equilibrado o desequilibrado) de alimentación

La potencia aparente total calculada es correcta sólo si el sistema trifásico de alimentación es equilibrado. Lo mismo ocurre para el cálculo del factor de potencia total. Las potencias aparentes medidas en ambos casos serán iguales si el sistema es equilibrado (es una forma de averiguarlo, en el caso de desconocerse).

b) Método para sistemas de potencia trifásicos equilibrados

En el caso de sistemas de potencia trifásicos equilibrados, con conexión en estrella de las cargas, con punto neutro accesible, se puede usar el método de un vatímetro. Es suficiente medir potencia en una fase, y después calcular la potencia total. Este método se suele usar cuando medimos potencia en motores trifásicos o cargas similares.

A continuación se describe el método usando el Eurotest 61557 o Power-Harmonics Analyser.

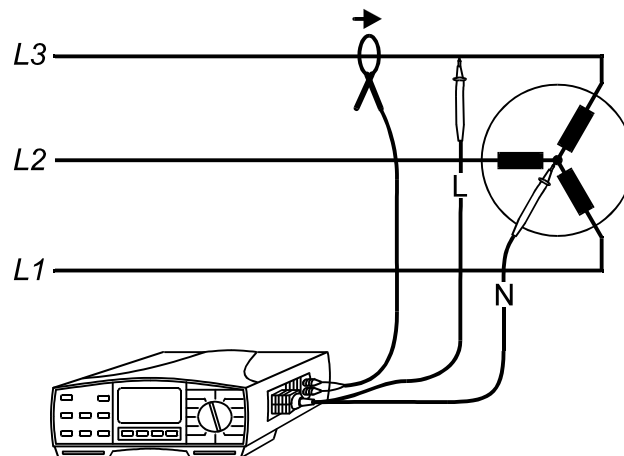


Fig. 92. Conexión del instrumento

Resultado 1 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos \varphi_1 = P_1$ (potencia activa)

Resultado 2 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \sin \varphi_1 = Q_1$ (potencia reactiva)

Resultado 3 = $U_{L3} \cdot I_{L3} = PA_1$ (potencia aparente)

Resultado 4 = $P_1 / PA_1 = PF_1$ (factor de potencia)

Cálculo de la potencia total de un sistema trifásico:

P_{tot} = 3 · P₁ (potencia activa total del sistema trifásico)

Q_{tot} = 3 · Q₁ (potencia reactiva total del sistema trifásico)

PA_{tot} = 3 · PA₁ potencia aparente total del sistema trifásico)

PF_{tot} = P_{tot} / PA_{tot} = PF₁ (factor de potencia total)

Importante

- Es necesario verificar que la carga conectada es, en efecto, simétrica. Se puede comprobar midiendo las tres corrientes de fase, las cuales deben ser idénticas entre las tensiones de fase equilibradas.
- Si el punto neutro de la carga conectada no está accesible (protección mecánica, conexión en triángulo, etc.) es posible usar el neutro del generador o transformador de potencia, asumiendo, por supuesto, que esté accesible. Si las tensiones entre fases están equilibradas, también se puede simular un punto neutro usando tres resistencias (ver figura 93). Si usamos un neutro simulado, es necesario asegurarse que la resistencia interna del dispositivo usado sea mucho más baja que la impedancia interna del instrumento de medida a la frecuencia del sistema.

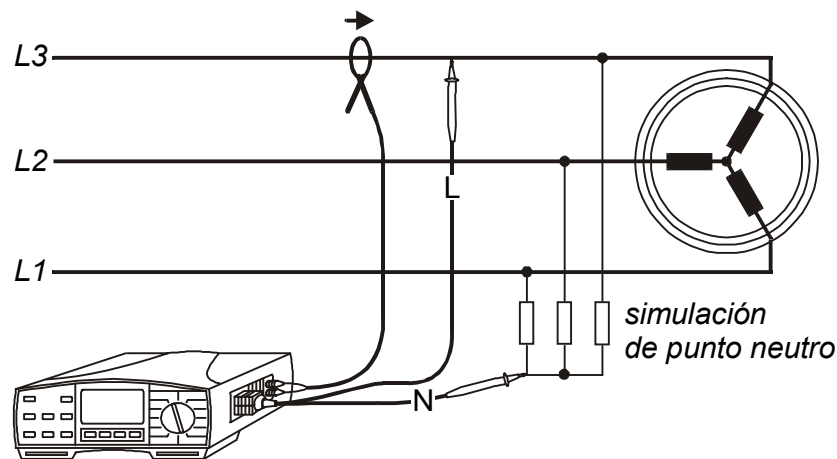


Fig. 93. Conexión del instrumento a un punto neutro simulado

c) Método con un vatímetro para cargas no simétricas

La medición se debe realizar en tres pasos (por separado en cada fase). Usando el Eurotest 61557, la medición se puede hacer de la misma manera que para sistemas monofásicos, pero en este caso el punto de neutro debe ser el de la fuente de alimentación o simulado (en ningún caso nunca el de la carga no simétrica). Por supuesto este método es válido para tensiones entre fase equilibradas. Las medidas se deben realizar por separado en cada fase.

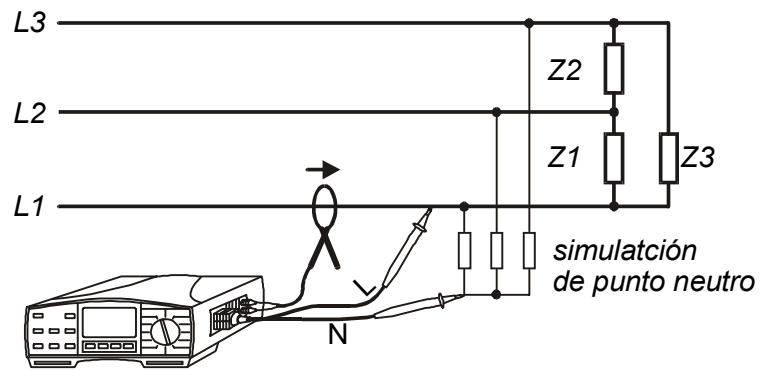
Primer paso:

Fig. 94. Medición de potencia en sistemas trifásicos de 3 cables con cargas no simétricas usando el Eurotest 61557 (primer paso)

Resultado 1 = $U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \cos \varphi_1 = P_1$ (potencia activa)

Resultado 2 = $U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \sin \varphi_1 = Q_1$ (potencia reactiva)

Resultado 3 = $U_{L1} \cdot I_{L1} = PA_1$ (potencia aparente)

PF1 = P_1 / PA_1 (factor de potencia)

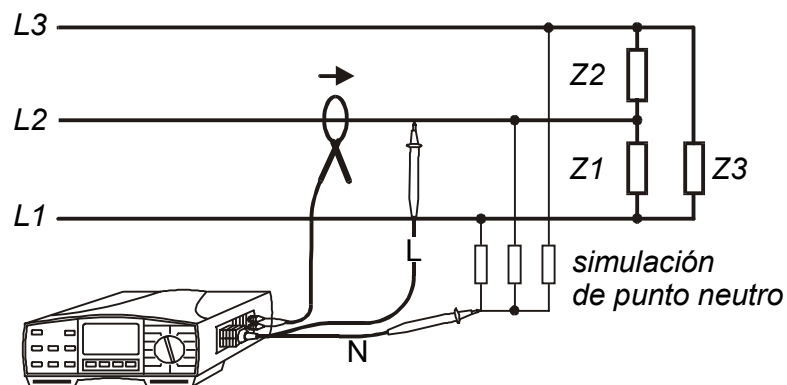
Segundo paso:

Fig. 95. Medición de potencia en sistemas trifásicos de 3 cables con cargas no simétricas usando el Eurotest 61557 (segundo paso)

Resultado 1 = $U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \cos \varphi_2 = P_2$ (potencia activa)

Resultado 2 = $U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \sin \varphi_2 = Q_2$ (potencia reactiva)

Resultado 3 = $U_{L2} \cdot I_{L2} = PA_2$ (potencia aparente)

PF2 = P_2 / PA_2 (factor de potencia)

Tercer paso:

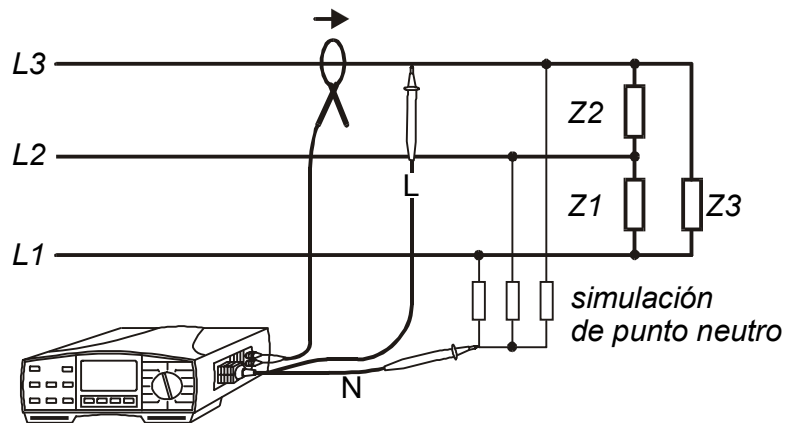


Fig. 96. Medición de potencia en sistemas trifásicos de 3 cables con cargas no simétricas usando el Eurotest 61557 (tercer paso)

- Resultado 1 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos \varphi_3 = P_3$ (potencia activa)
- Resultado 2 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \sin \varphi_3 = Q_3$ (potencia reactiva)
- Resultado 3 = $U_{L3} \cdot I_{L3} = PA_3$ (potencia aparente)
- PF3 = P_3 / PA_3 (factor de potencia)

En función de los valores medidos en los tres pasos previos, es posible calcular los tres niveles de potencia en el sistema trifásico, según las expresiones descritas a continuación:

- P_{tot} = P₁ + P₂ + P₃** (potencia activa total del sistema trifásico)
- Q_{tot} = Q₁ + Q₂ + Q₃** (potencia reactiva total del sistema trifásico)
- P_{A tot} = $\sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2}$** (potencia aparente total del sistema trifásico)
- PF_{tot} = P_{tot} / P_{A tot}** (factor de potencia)

5.17. ENERGÍA

Cuando existe un consumo constante de potencia en una carga determinada, el consumo energético puede ser calculado en función de la potencia de carga y el tiempo en que es consumida. Cuando la potencia es variable (calefacciones regulables/programables, motores de funcionamiento intermitente, etc.) la energía no se puede calcular, sino que debe ser medida. También es necesario medir la energía consumida (no se puede calcular) si se desconoce la potencia de la carga. En todos estos casos, el Eurotest 61557 puede medir energía consumida en cargas monofásicas conectadas al sistema. La conexión del instrumento se realiza según el esquema siguiente:

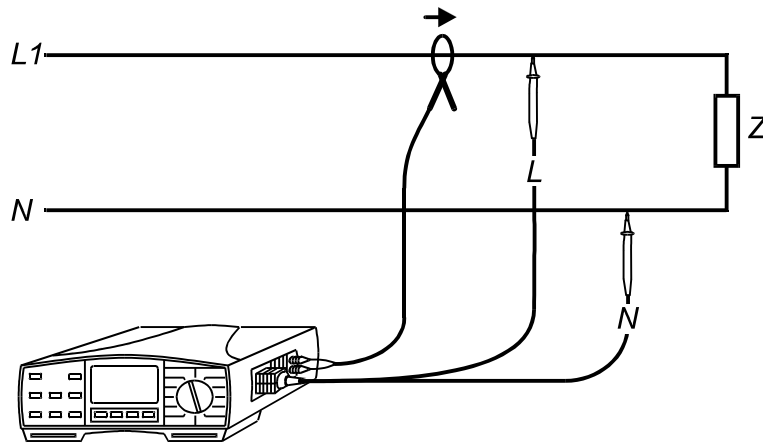


Fig. 97. Medición de energía en sistemas monofásicos

El instrumento mide la tensión de fase U , la corriente de fase I mediante una pinza, y el desfase φ entre tensión y corriente. En función de los valores obtenidos, el Eurotest 61557 calcula la energía consumida, de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

$$W = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t = P \cdot t$$

donde

W Energía.

U Tensión de fase.

I Corriente de fase.

φ Desfase entre tensión U y corriente I .

t Tiempo de consumo.

P Potencia activa.

El tiempo de medición de energía con el Eurotest 61557 está limitado a 25 horas.

5.18. ANÁLISIS ARMÓNICO

Tratar con componentes armónicos hace tan sólo unos años se consideraba como altamente académico y absolutamente poco práctico. Era un problema existente pero de solución al alcance de muy pocos. Los problemas causados por los armónicos son hoy en día mucho más relevantes y originan daños mucho más costosos a los sistemas de distribución de energía y a las propias cargas conectados a ellos.

La distorsión en la tensión y corriente del sistema, y por tanto la aparición de componentes armónicos es algo con lo que se debe contar, en una era de electrónica ultra moderna, con una amplia gama de dispositivos electrónicos conectados a los sistemas de distribución. En general los armónicos representan una influencia negativa para las cargas eléctricas, así como para la fuente de alimentación y la propia instalación. La calidad de la energía eléctrica, por tanto, disminuye considerablemente.

Cómo detectar la presencia de componentes armónicos

- Sobrecalentamiento de cargas conectadas (motores, transformadores, etc.).
- Pérdidas en los sistemas de distribución, con demanda de potencia de las cargas superior a la potencia suministrada, provocando bajadas de frecuencia.
- Los motores regulados/programados funcionan de forma inestable, debido a arranques incorrectos de sus electrónicas.
- Los transformadores de potencia se sobrecalientan.
- Los interruptores de corte por sobrecorriente disparan indebidamente.
- Disminuye la estabilidad de distintas mediciones en las instalaciones eléctricas (impedancia de bucle/línea, potencia, tensión, corriente, etc.), también debido a incorrectas operaciones de la electrónica de los instrumentos de medida.

Por qué aumentan los componentes armónicos

La presencia de distintas cargas no lineales (en especial las de altas potencias), tales como convertidores a.c./d.c., reguladores de motores, ordenadores personales, máquinas industriales, etc., pueden consumir corrientes de forma brusca, en vez de hacerlo de forma progresiva, como sería deseable. Estas corrientes bruscas causan caídas de tensión de la misma dimensión en los conductores de fase y neutro, así como en los propios transformadores de potencia. El resultado de estas caídas de tensión no es otro que distorsiones considerables en la onda de tensión, que a su vez volverá a alimentar más cargas no lineales, repitiéndose el proceso.

El segundo motivo importante en la aparición de armónicos es la posible disposición desfavorable de cargas inductivas y/o capacitivas, lo cual puede también producir oscilaciones en el suministro eléctrico, y por tanto la aparición de armónicos.

A continuación se presenta un ejemplo de componentes armónicos generados por un simple convertidor a.c./d.c. de un potente cargador de baterías de coche.

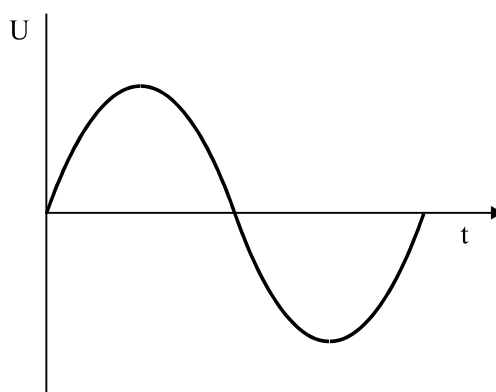


Fig. 98. Forma de la onda de tensión (senoidal pura) sin distorsión, que alimenta un convertidor a.c./d.c.

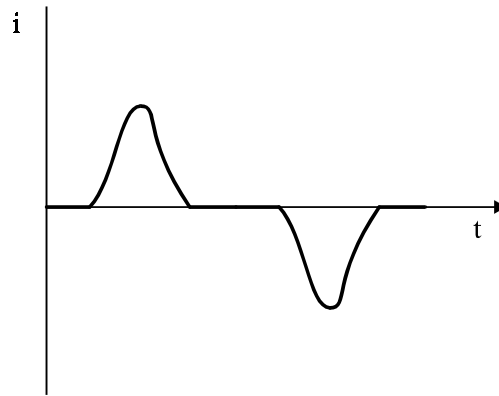


Fig. 99. Forma de la onda de corriente, distorsionada, que consume el convertidor a.c./d.c.

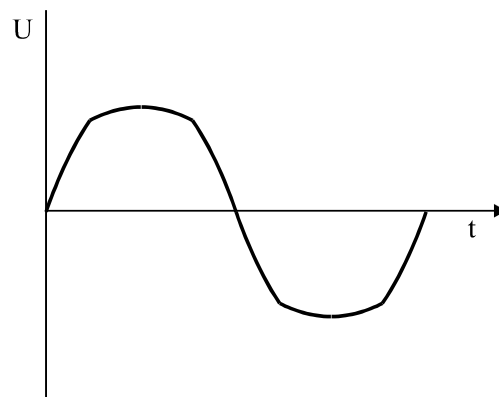


Fig. 100. Forma de la onda de tensión, distorsionada debido a las caídas de tensión en los conductores y la propia impedancia interna del convertidor a.c./d.c.

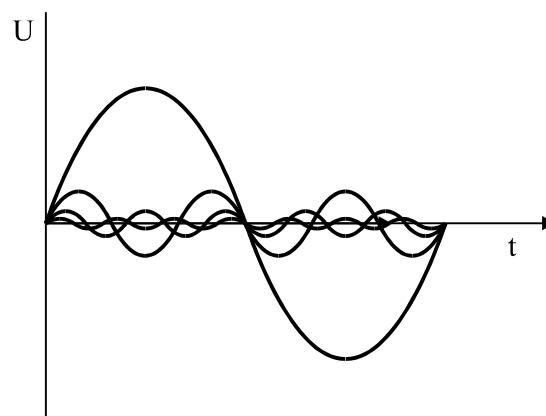


Fig. 101. Presentación de la tensión distorsionada, analizada según el método de la transformada de Fourier, desglosada en su frecuencia principal y armónicos. Presentación en dominio de tiempo.

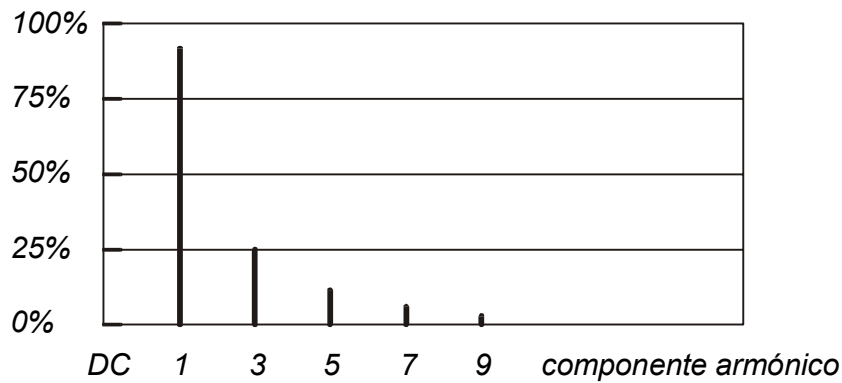


Fig. 102. Presentación de la tensión distorsionada, analizada según el método de la transformada de Fourier, desglosada en su frecuencia principal y armónicos. Presentación en dominio de frecuencia.

La intensidad de los componentes armónicos se puede presentar directamente en voltios, o en su valor porcentual con respecto al componente fundamental.

La medida de armónicos de tensión se suele realizar cuando se verifica la calidad de la onda de tensión en general. Si lo que buscamos son provocadores de distorsión (generadores de componentes armónicas), entonces es más recomendable medir armónicos de corriente.

El Eurotest 61557 puede realizar mediciones indicativas de armónicos de orden impar, tanto de tensión como de corriente, hasta el orden 21°. El objetivo de este tipo de medición es obtener una estimación de la intensidad de los armónicos presentes en la onda. En caso de darse una situación crítica, se recomienda el uso de un instrumento más profesional y especializado, como es el Power-Harmonics Analyser. Este instrumento permite el análisis detallado de armónicos hasta el orden 63°, además de permitir el registro y observación de dichos armónicos en sistemas trifásicos en tiempo real.

El Power-Harmonics Analyser permite además realizar el análisis completo de potencia (potencia activa, reactiva y aparente) de forma simultánea en las tres fases.

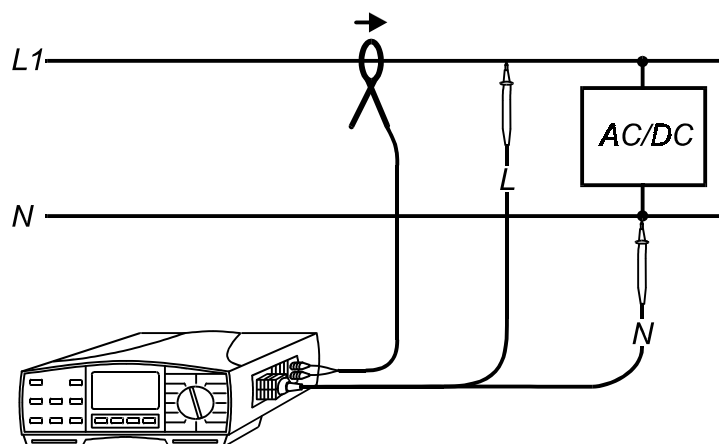


Fig. 103. Medida de armónicos de tensión y corriente en sistemas monofásicos usando el Eurotest 61557 o el Power-Harmonics Analyser.

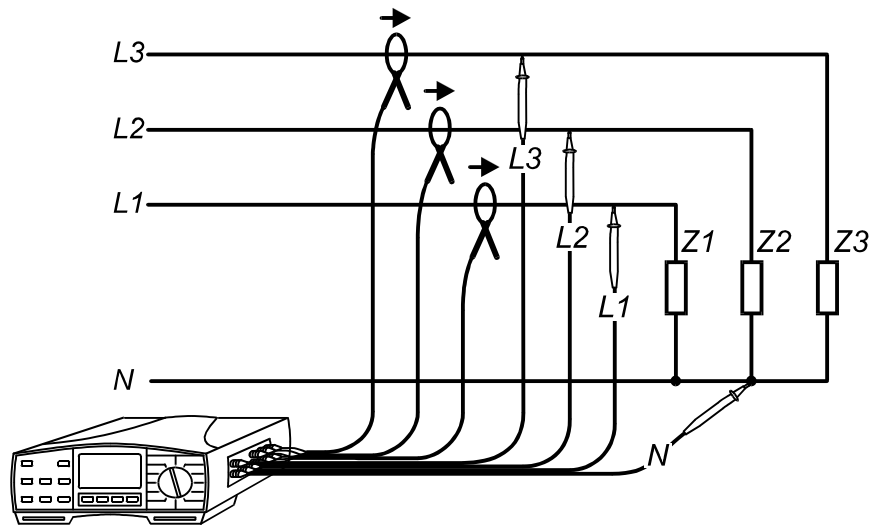


Fig. 104. Medida de armónicos de tensión y corriente en sistemas trifásicos usando el Power-Harmonics Analyser.

Ecuaciones de utilidad:

Si existen componentes armónicos en los sistemas de distribución eléctricos, entonces todos los cálculos sencillos de potencia no son válidos. A continuación se muestran las ecuaciones válidas a utilizar en caso de presencia armónica en la onda.

Valor eficaz de la tensión

$$U_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n U_{n,i}^2}$$

donde

- i índice de fase
- n índice de componente armónico
- U_i valor eficaz de la tensión en la fase i
- U_{n,i} amplitud del componente armónico de tensión n-th en la fase i

Valor eficaz de la corriente

$$I_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n I_{n,i}^2}$$

donde

- i índice de fase
- n índice de componente armónico
- I_i valor eficaz de la corriente en la fase i
- I_{n,i} amplitud del componente armónico de corriente n-th en la fase i

Potencia activa de fase

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_n U_{n,i} \cdot I_{n,i} \cdot \cos \varphi_{n,i}$$

donde

- i índice de fase
- n índice de componente armónico
- P_i potencia activa de todos los componentes armónicos en la fase i
- U_{n,i} amplitud del componente armónico de tensión n-th en la fase i
- I_{n,i} amplitud del componente armónico de corriente n-th en la fase i
- φ_{n,i} desfase entre el componente armónico de tensión n-th y el componente armónico de corriente n-th en la fase i

Potencia activa total

$$P_{tot} = \sum_i P_i$$

donde

- i índice de fase
- P_{tot} Potencia activa total de todos los componentes armónicos de todas las fases
- P_i potencia activa de todos los componentes armónicos en la fase i

Potencia aparente de fase

$$P_{Ai} = U_i \cdot I_i = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_n U_{n,i}^2} \cdot \sqrt{\sum_n I_{n,i}^2}$$

donde

- i índice de fase
- n índice de componente armónico
- P_{Ai} potencia aparente de todos los componentes armónicos en la fase i
- U_i valor eficaz de la tensión en la fase i
- I_i valor eficaz de la corriente en la fase i
- U_{n,i} amplitud del componente armónico de tensión n-th en la fase i
- I_{n,i} amplitud del componente armónico de corriente n-th en la fase i

Potencia aparente total

$$P_{Atot} = \sum_i P_{Ai}$$

donde

- i índice de fase
- P_{A tot} Potencia aparente total de todos los componentes armónicos de todas las fases
- P_{Ai} potencia aparente de todos los componentes armónicos en la fase i