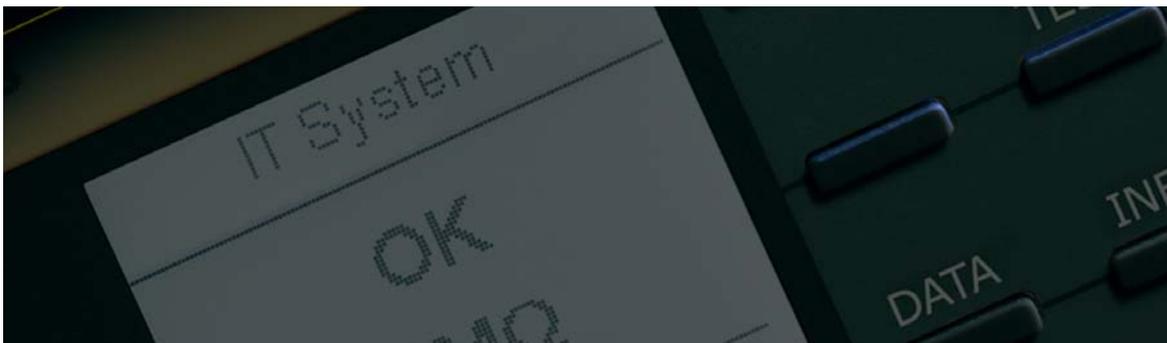


Verificación inicial y revisión de sistemas IT

(suministros de electricidad aislados de tierra)



El objetivo de las verificaciones realizadas en instalaciones y equipos eléctricos es establecer que no existen defectos y que después de la puesta en marcha, así como durante el uso, está garantizada una protección personal y material adecuada. Las pruebas en sí y el entorno correspondiente están descritos en los más variados reglamentos y normas aplicables. El siguiente artículo describe los requisitos que son aplicables o que deben observarse para suministros eléctricos aislados de tierra (sistemas IT).

Requisitos normativos

En las pruebas de sistemas de suministro eléctrico siempre debe diferenciarse entre verificación inicial y periódica. Las normas que tienen especial relevancia en este sentido son:

- **UNE-HD 60364-6:2009,**
Instalaciones eléctricas de baja tensión.
Parte 6: Verificaciones
- **UNE-EN 50110-1:2014**
Explotación de instalaciones eléctricas.
Parte 1: Requisitos generales.

Durante la verificación inicial, el instalador (fabricante) de la instalación debe demostrar que ha construido la instalación según las reglas reconocidas de la técnica y que la instalación no genera ningún peligro. Durante

la verificación inicial también tienen que registrarse parámetros que luego servirán de base para la verificación periódica. La verificación periódica es responsabilidad del usuario de la instalación. Como usuario, el empresario está obligado a realizarla dentro del marco de las normas para la prevención de accidentes. La norma UNE HD 60364-6 contiene tanto los requisitos para la verificación inicial de instalaciones eléctricas como las pruebas, con las que se determina si la instalación sigue cumpliendo con las condiciones de la verificación inicial. La revisión tiene que ser realizada por un técnico cualificado, ya que tiene que ser capaz de detectar variaciones y valorar las mismas. Los equipos de medida correspondientes tienen que cumplir con los requisitos de la serie de normas EN 61557-... Las pruebas son realizadas en el orden habitual: observar - medir - comprobar. El técnico/inspector es quien establece los detalles y los pasos necesarios para la prueba.



▶▶▶ Observar

Antes de las mediciones es necesario que el inspector se haga una imagen general del sistema IT que va a verificar.

- Estructura y tamaño del sistema IT
- Tipo y valores nominales de la fuente eléctrica
- Número y extensión de los circuitos eléctricos existentes
- Tipo y condiciones del entorno de la instalación de conexión a tierra
- Tipo de conexión a tierra de las masas – individuales, en grupo, total
- Tipo del o de los conductores de protección utilizado(s)
- Número y tipo de los aparatos de protección y vigilancia utilizados.

Con vistas a la documentación disponible de la instalación, es necesario también revisarla para comprobar si está completa y es correcta. En las verificaciones posteriores, las actas de inspección anteriores son útiles, por ejemplo, para facilitar la comparación con los valores de medida y detectar posibles cambios.

Antes de medir – confirmar que no existen fallos

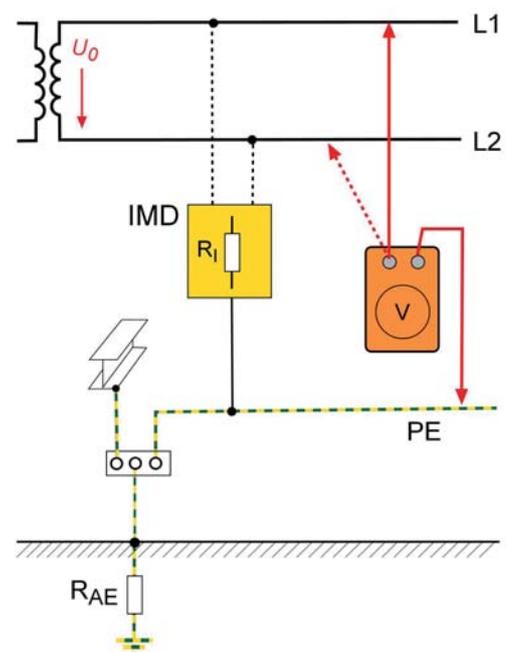
Una vez recogida toda la información sobre la estructura y las medidas de protección incorporadas en el sistema IT, se ha de controlar si el sistema IT está libre de fallos, es decir, que no exista un fallo de aislamiento. Esto se realiza con ayuda de un aparato de vigilancia de aislamiento (IMD). Como alternativa también se puede medir la tensión de desplazamiento. La tabla 1 contiene las tensiones de desplazamiento en un sistema IT sin fallos o resp. con un fallo de aislamiento de bajo ohmiaje en el conductor L1. Sin

embargo, la medida de la tensión de desplazamiento sólo debería llevarse a cabo en sistemas IT muy pequeños, con poca capacidad de derivación de red, ya que los fallos de aislamiento simétricos y capacidades de derivación de red distintas entre los cables de red activos y tierra podrían influir sobre la tensión de desplazamiento, por lo que sólo un IMD es capaz de indicar de forma fiable la resistencia de aislamiento. Sobre todo en sistemas IT 3 AC es imposible utilizar la medida de la tensión de desplazamiento con la fiabilidad necesaria, ya que en este caso, incluso los fallos de aislamiento con un ohmiaje relativamente bajo pueden ser compensados con una distribución desfavorable de las capacidades de derivación de red.



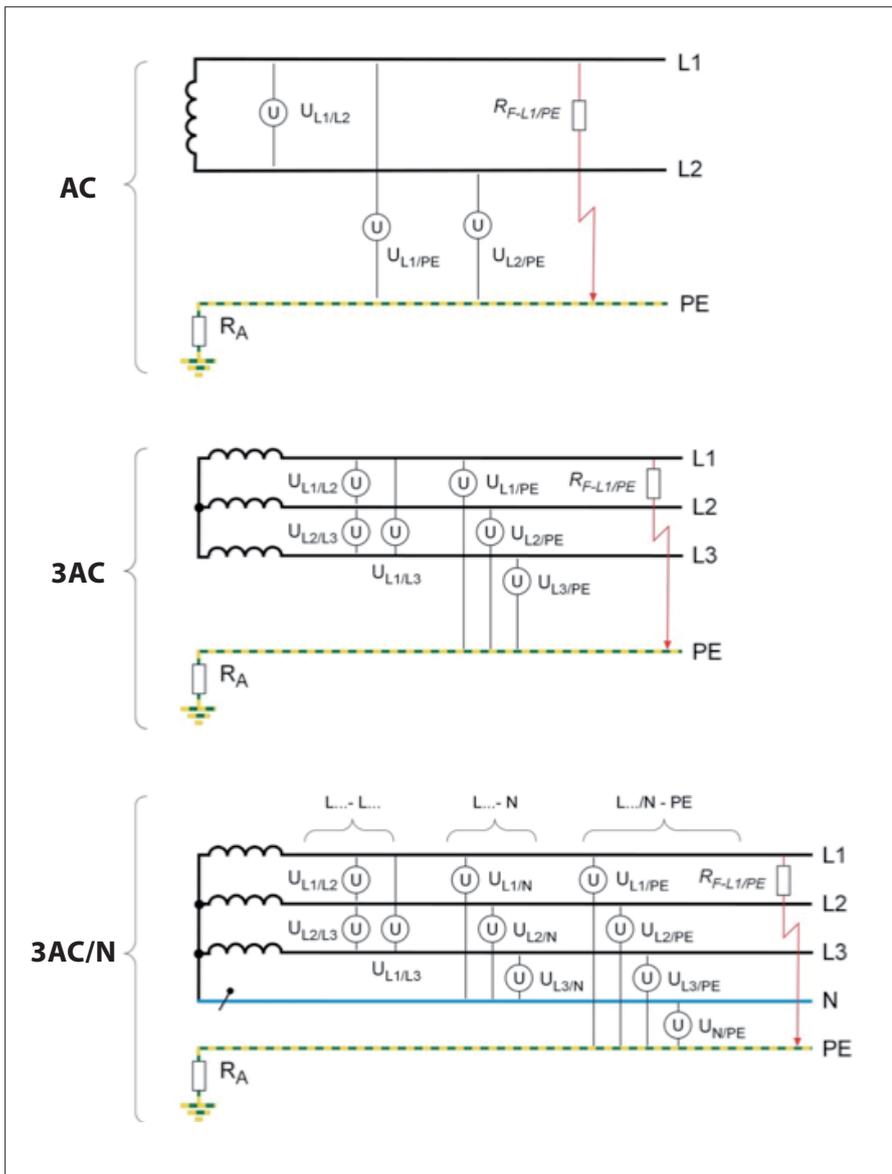
FIG. 1:

Principio de la medida de la tensión de desplazamiento en sistemas IT monofásicos



▶▶▶ **Tabla 1:**

Valores de medida de la tensión de desplazamiento en sistemas IT sin y con un fallo de aislamiento de muy baja resistencia R_F en L1



	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	230 V	230 V
$U_{L1/PE}$	115 V	0 V
$U_{L2/PE}$	115 V	230 V

	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	400 V	400 V
$U_{L2/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/PE}$	230 V	0 V
$U_{L2/PE}$	230 V	400 V
$U_{L3/PE}$	230 V	400 V

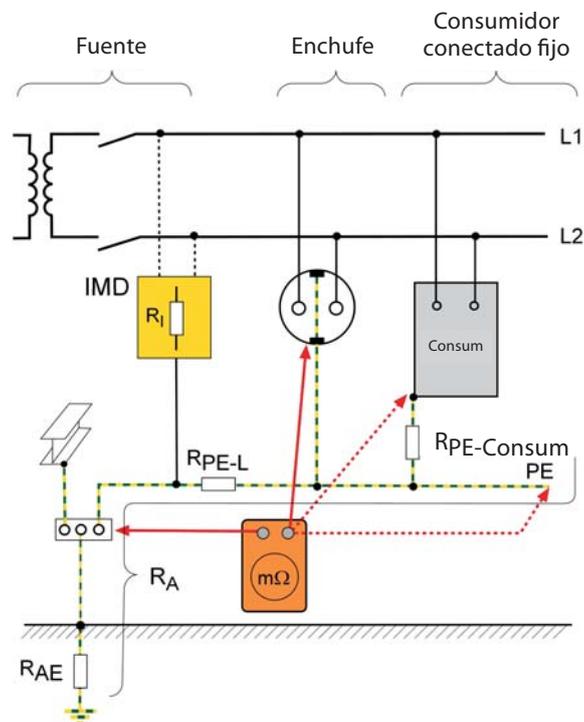
	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	400 V	400 V
$U_{L2/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/N}$	230 V	230 V
$U_{L2/N}$	230 V	230 V
$U_{L3/N}$	230 V	230 V
$U_{L1/PE}$	230 V	0 V
$U_{L2/PE}$	230 V	400 V
$U_{L3/PE}$	230 V	400 V
$U_{N/PE}$	0 V	230 V

►►► **Verificación de la continuidad de las conexiones de conductores de protección R_{PE}**

Si la instalación ha de ser segura, no se puede prescindir de cerciorarse de que los conductores de protección están en buen estado y de medir su continuidad. Un conductor de protección en buen estado es la base para el funcionamiento correcto de las medidas de protección contra descargas eléctricas.

FIG. 2:

Ejemplo de la medida de la continuidad de los conductores de protección

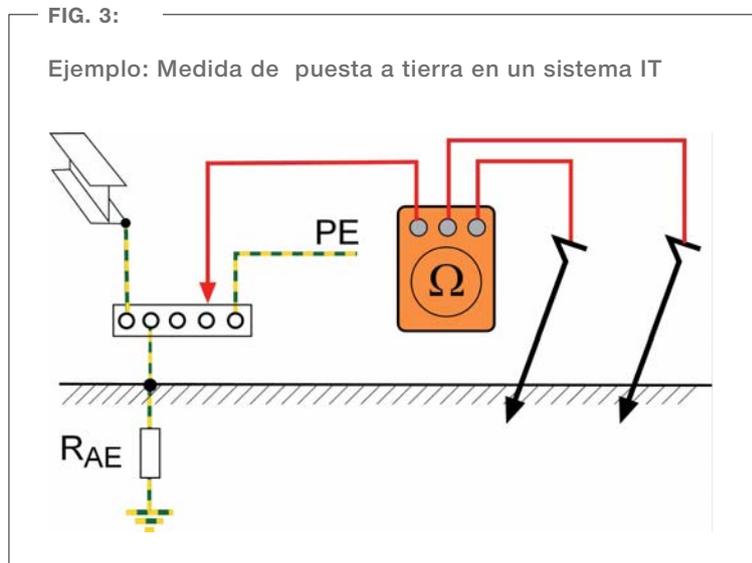


R_{PE} está compuesto de la resistencia del conductor de protección en la instalación R_{PE-L} y la resistencia del conductor de protección del cable de conexión $R_{PE-Consum PE}$ del consumidor.

Medición de la resistencia de tierra R_{AE}

La resistencia de tierra R_{AE} es la resistencia entre la tierra de referencia y el punto de conexión de la instalación de conexión a tierra. En el sistema IT, la instalación de conexión a tierra se necesita especialmente para acercar las distintas partes de la instalación y los circuitos eléctricos, en caso de un segundo fallo, a un potencial de referencia lo más cercano posible a la tierra de referencia. Existen varios procedimientos de medida para determinar la resistencia de tierra. El que se utiliza con mayor frecuencia en la práctica, es la medida de la resistencia contra tierra entre varios puntos de conexión a tierra y la barra principal de compensación de potencial.





►►► Determinación de la resistencia contra tierra R_A

Para sistemas IT es de aplicación la condición básica $R_A \times I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$ (sistemas AC). R_A está compuesta de las resistencias parciales R_{AE} und R_{PE} . No se ha establecido un valor máximo tolerado, pero los valores determinados no deberían ser superiores al valor que se ha de esperar de acuerdo con los datos de los cables y las resistencias de paso. En la práctica se exige, por ejemplo, según UNE 61557-2 un valor máximo de 100Ω para R_A . Bajo consideración del segundo fallo o resp. de una activación necesaria de un RCD, la resistencia contra tierra no debería superar los siguientes valores:

$I_{\Delta n}$	10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500 mA	1 A
R_A	5000 Ω	1666 Ω	500 Ω	166 Ω	100 Ω	50 Ω

Medida de la resistencia de aislamiento

Medida del aislamiento y vigilancia del aislamiento son términos que se confunden con facilidad, ya que en principio son muy similares. La medida del aislamiento es la prueba durante la cual se mide la resistencia de aislamiento entre conductores activos y el conductor de protección, con la red apagada o libre de tensión y con ayuda de un aparato para la medida del aislamiento según UNE 61557-2. Esta medida no es una medida específica para el sistema IT sino que se utiliza también para sistemas TN y TT. La vigilancia del aislamiento es la vigilancia permanente de la resistencia de aislamiento de un sistema IT en funcionamiento, y en consecuencia también de todos los equipos conectados.



▶▶▶ Para poder realizar la medida del aislamiento correctamente, antes de iniciar la medida, la instalación o parte de la instalación a ser verificada, deberá desconectarse del suministro de tensión. Igualmente será necesario desconectar el aparato de vigilancia del aislamiento. Si no es posible separar al aparato de vigilancia del aislamiento (IMD) de la red, deberá controlarse si el aparato es adecuado para la tensión de medida que se va a aplicar. En el caso de un aparato de vigilancia del aislamiento que no ha sido desconectado, cuya resistencia interna va a ser medida, el valor de medida indicado puede ser distinto al de una resistencia de aislamiento muy alta ($\geq 5 \text{ M}\Omega$).

La resistencia de aislamiento es medida entre los conductores activos y el conductor de protección conectado a tierra. Durante este ensayo los conductores activos pueden estar conectados eléctricamente entre ellos. La tensión continua de medida y la resistencia de aislamiento tienen que cumplir con las exigencias de la tabla 2. La resistencia de aislamiento se considera suficiente, cuando cada circuito de corriente, sin consumidores eléctricos conectados, alcanza el valor exigido. Durante la medida debe comprobarse que todos los interruptores que se encuentren en el circuito de corriente estén cerrados. Si no es posible cerrar los circuitos de corriente, los circuitos no incluidos deberán medirse por separado. Las conexiones existentes entre N y PE deben estar abiertas.

Tabla 2:
Resistencia de aislamiento y tensión de medida según UNE HD 60364-6:2009

Tensión nominal del circuito de corriente (V)	Tensión continua de medida (V)	Resistencia de aislamiento ($\text{M}\Omega$) min.
MBTS, MTBP	250	0,5
Hasta 500 V (incl.), al igual que MBTF	500	1,0
Por encima de 500 V	1000	1,0

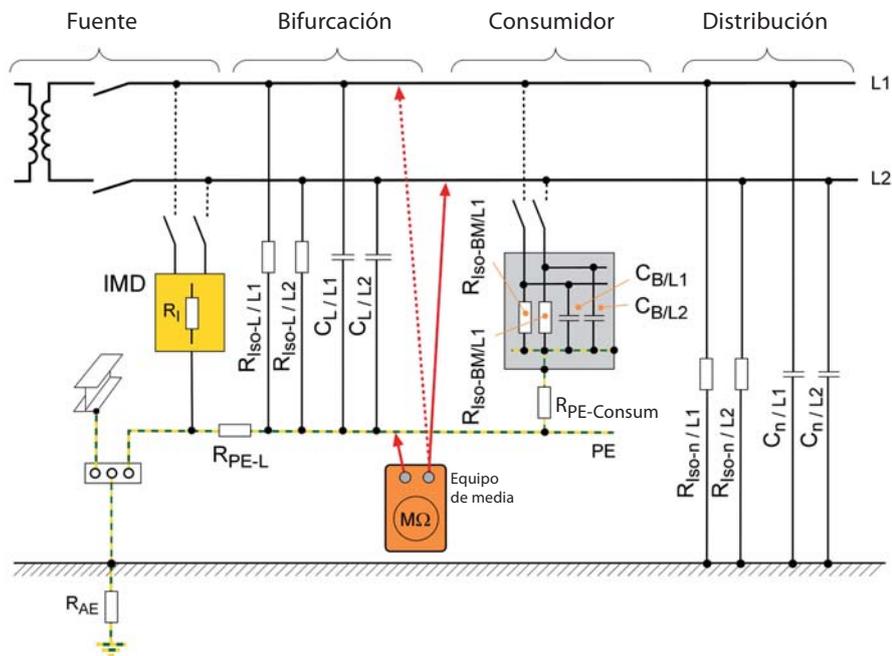
La tensión de medida es una tensión continua. Esto significa que se miden las resistencias óhmicas. El valor de la tensión de medida depende del tipo de instalación o equipo a ser verificado y está regulado por las normas aplicables a los ensayos técnicos de seguridad (véase tabla 2). Para sistemas de 230/400 V el valor es de 500 V DC. La corriente de medida debe ser de por lo menos 1 mA o resp. el valor de cresta no debe superar los 15 mA. A través del valor de la tensión de medida se comprueba al mismo tiempo una cierta "resistencia a cargas disruptivas". Por ello, todos los equipos conectados tienen que soportar esta tensión de medida continua durante por lo menos un minuto. Durante una medida del aislamiento no se deben tocar las piezas conductoras para evitar el riesgo de sufrir una descarga eléctrica en caso de haber, por ejemplo un equipo defectuoso.



▶▶▶ Para la medida de la resistencia de aislamiento durante el funcionamiento, la vigilancia permanente con un IMD representa un gran alivio, ya que después de una primera medida, el IMD, estando la instalación eléctrica conectada, asume esta tarea de medida (UNE 60364-6 párrafo 62.2.2). En consecuencia, si durante una verificación periódica se dispone de un IMD, se puede prescindir de la medida individual de la resistencia de aislamiento. Esto también es una ventaja en instalaciones eléctricas que no pueden ser desconectadas por motivos operativos. Una medida puntual acaba convirtiéndose en una vigilancia permanente. La tensión de medida continua del aparato de vigilancia de aislamiento se encuentra por debajo de la tensión máx. de contacto tolerada, es decir 50 VAC/120 VDC por lo que no puede generar ningún peligro. ▶▶▶

FIG. 4:

Medida de la resistencia de aislamiento con un aparato de medida de aislamiento según DIN EN 61557-2



►►► **Medida de la corriente de fallo I_d**

En sistemas IT debe demostrarse el cumplimiento de la siguiente condición:

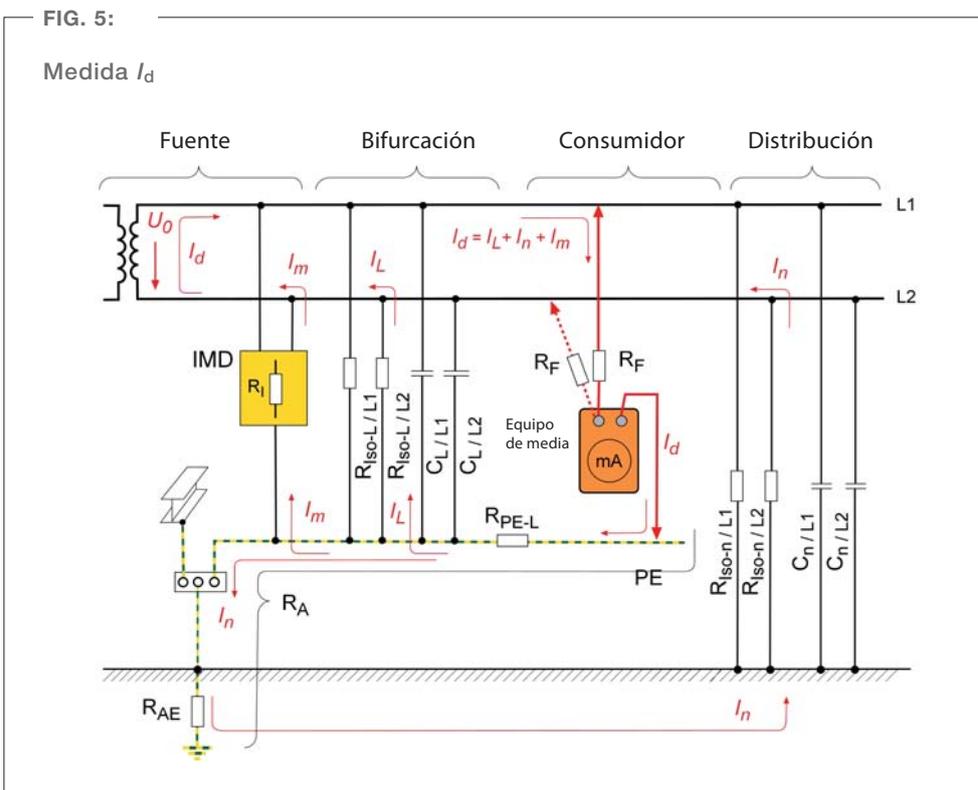
$$R_A \times I_d \leq 50 \text{ V (sistemas AC)}$$

Para los sistemas DC está permitido $< 120 \text{ V}$.

R_A la suma de las resistencias en Ω de la conexión a tierra y del conductor de protección respecto a la masa correspondiente;

I_d la corriente de fallo en A durante el primer error con impedancia despreciable entre un conductor externo y una masa. El valor de I_d tiene en cuenta las corrientes de fuga y la impedancia total de la instalación eléctrica contra tierra. El valor de I_d se puede determinar tanto matemáticamente como mediante medida. En el caso de la medida se conecta un conductor activo (p.e. L1) a tierra, con resistencia despreciable, para luego medir la corriente entre tierra y el otro conductor activo (p.e. L2) con ayuda de un amperímetro. Con la corriente de fallo I_d y la resistencia de conexión a tierra R_A medidos, se puede calcular la posible tensión de contacto U_B para luego compararla con la tensión de contacto U_L acordada localmente.

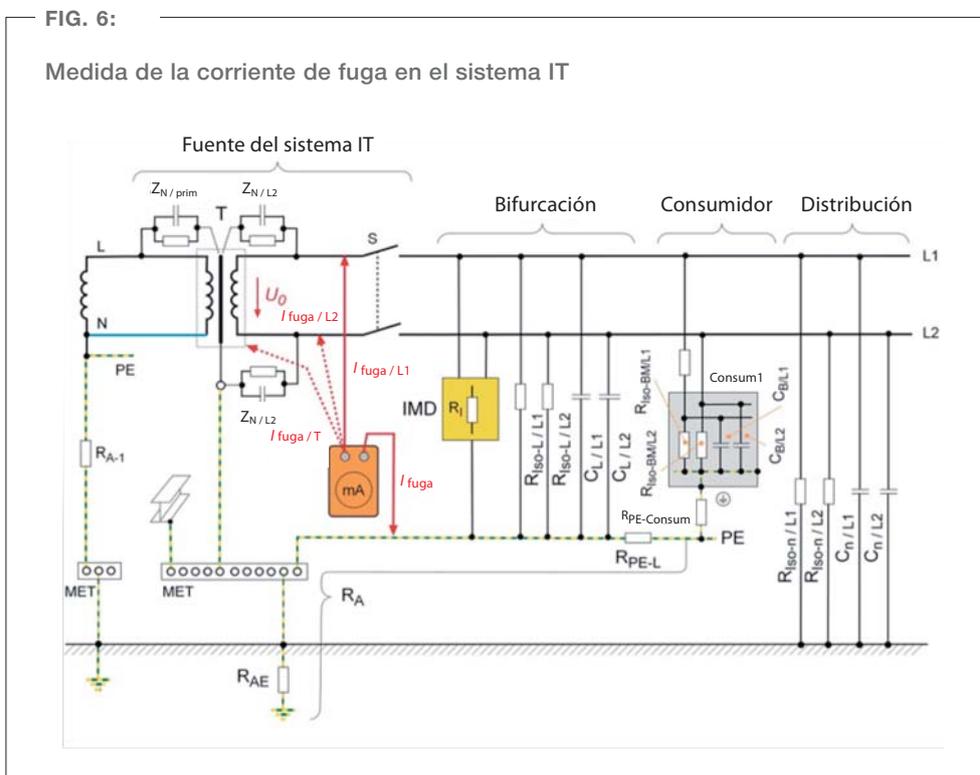
Durante una medida manual se deberán tomar las medidas de precaución necesarias para evitar peligros en el caso de aparecer un doble fallo. No obstante, en el mercado ya hay dispositivos que impiden la aparición de este peligro.



▶▶▶ **Medida de la corriente de fuga I_{fuga}**

La corriente de fuga es la corriente que fluye a tierra desde las partes activas de la instalación o del equipo, sin que aparezca un fallo de aislamiento. En sistemas IT esta corriente es generalmente muy baja, ya que las resistencias de aislamiento que habitualmente la generan o las capacidades de derivación de red son casi simétricas a tierra. La corriente de fuga es de especial importancia en sistemas IT médicos. Así, para transformadores de separación galvánica según EN 61558-2-15:2012-09 esta permitida una corriente de fuga del bobinado de salida en condiciones de funcionamiento en vacío de 0,5 mA, midiéndose la corriente de fuga I_{fuga} con un amperímetro con impedancia despreciable. La corriente de fuga I_{fuga} no se debe confundir con la corriente de fallo I_d , que se mide con un fallo de aislamiento R_F prácticamente sin resistencia. La medición de I_{fuga} se realiza con el interruptor S abierto entre L1, L2 y el núcleo del transformador.

Si se realiza la misma medida con el interruptor S cerrado, se obtendrá información sobre la situación de las corrientes de fuga en todo el sistema IT. Para ello es, lógicamente, necesario, que estén conectados todos o prácticamente todos los equipos.



▶▶▶ Medida y verificación de las condiciones de desconexión para el segundo fallo

En este ensayo se controla si en el caso de dos fallos de aislamiento en dos conductores de red activos distintos (doble fallo) el aparato de protección del circuito de corriente desconecta por lo menos un punto de fallo en el tiempo predeterminado. Si el sistema IT sólo incluye un circuito de corriente, el inspector medirá al final del circuito de corriente la impedancia de red Z_s entre dos conductores externos o, si el conductor N se ha incluido también, la impedancia Z'_s entre un conductor exterior y el conductor N. Con la impedancia de red medida y el tamaño de la posible corriente de desconexión I_a del aparato de protección contra sobrecorriente, es posible controlar el funcionamiento correcto de los órganos de protección contra sobrecorriente. Para el bucle de fallos son de aplicación las condiciones según **UNE-HD 60364-6**.

a)

Cuando las masas están conectadas entre ellas mediante un conductor de protección y están conectadas a tierra a través del mismo embarrado, son de aplicación las condiciones comparables válidas para un sistema TN, por lo que se debe cumplir con lo siguiente:

Sistemas de corriente alterna sin conductor neutro y sistemas de corriente continua sin conductor central:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \times I_a}$$

Sistemas con conductor neutro o central:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \times I_a}$$

Siendo

U_0 la tensión alterna o continua nominal entre conductor exterior y conductor neutro o central;

U la tensión alterna o continua nominal entre conductores externos;

Z_s la impedancia del bucle de fallos, que consta del conductor externo y del conductor de protección del circuito de corriente;

Z'_s la impedancia del bucle de fallos, que consta del conductor neutro y del conductor de protección del circuito de corriente;

I_a la corriente que genera el funcionamiento del aparato de protección dentro del tiempo requerido para sistemas TN.



▶▶▶ b)

Cuando las masas están conectadas a tierra en grupos o de forma individual es de aplicación la siguiente condición:

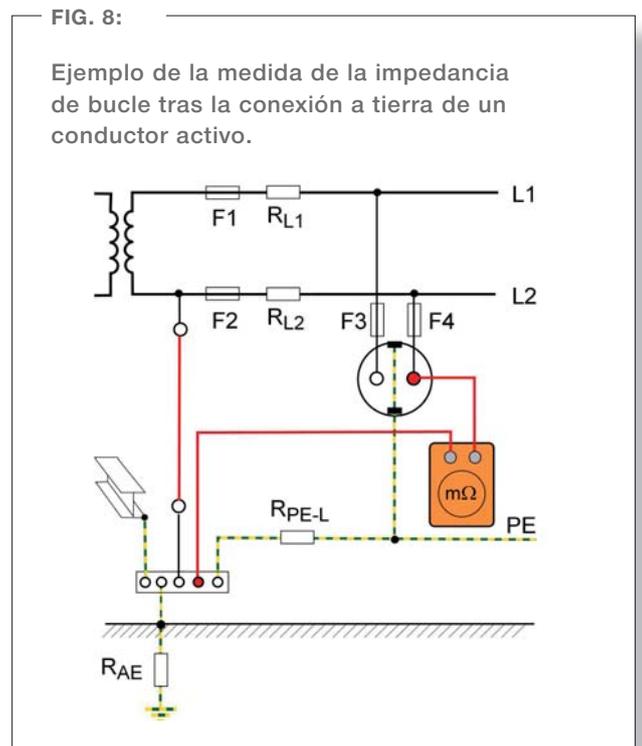
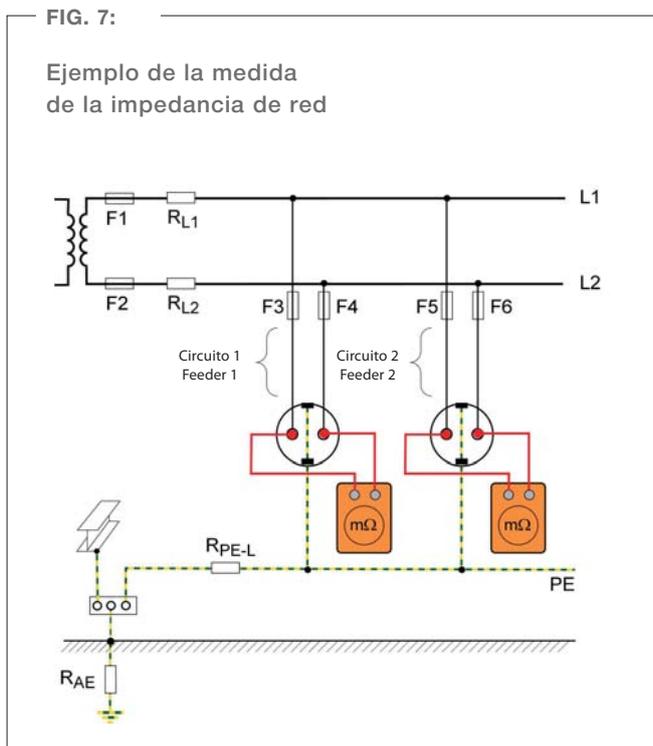
$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_a}$$

Siendo

R_A la suma de las resistencias en ohmios de la conexión a tierra y del conector de protección para la masas;

I_a la corriente en A que genera el funcionamiento del aparato de protección dentro del tiempo requerido para sistemas TT.

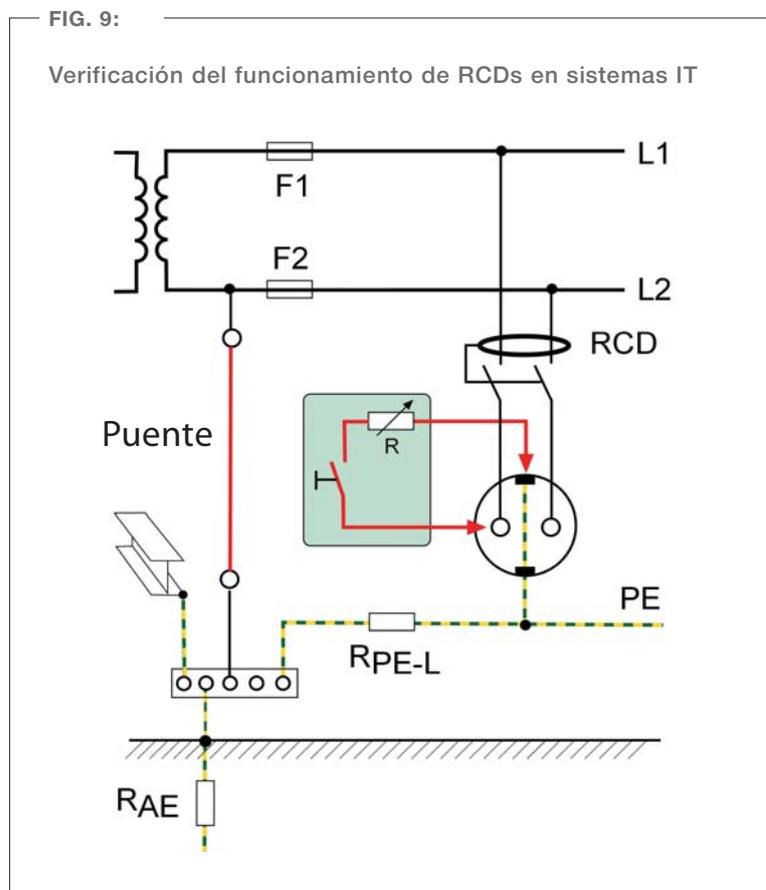
El segundo caso es un sistema IT con varios circuitos de corriente. En un sistema de este tipo no se puede prever en qué circuitos de corriente, y menos en qué puntos diferentes, aparecerán simultáneamente los dos fallos a observar. De esta forma, dependiendo del lugar del fallo, resultarán bucles de fallos diferentes y para cada uno una impedancia de red Z_s especial. Por ello, la impedancia de red deberá medirse en el extremo de cada circuito de corriente. Así se obtendrá información sobre las condiciones de la resistencia en la parte activa de la red.



►►► **Verificación de aparatos de protección contra corriente de fallo RCD**

Los aparatos de protección contra corriente de fallo o RCD, reaccionan cuando aparece un segundo fallo en otro conductor, es decir que el bucle de fallo se cierra en el caso de un fallo doble solamente a través del conductor de protección. Por ello, en la práctica se establece un contacto a tierra artificial para poder realizar esta medida. Sin embargo se ha de tener en cuenta que en un sistema IT trifásico con conductor N los equipos estarán sometidos a una carga mayor, ya que la tensión de los conductores sin fallo hacia tierra se incrementará a la tensión del conductor externo (tensión fase-fase).

Tras el establecimiento de un contacto a tierra artificial (1er fallo) se puede comprobar y evaluar la reacción correcta del RCD con un aparato de ensayo para RCDs. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en el caso de capacidades de derivación a red altas podría generarse una reacción del RCD no deseada.



▶▶▶ Verificaciones de funcionamiento y operación

Los módulos de funcionamiento, como pueden ser combinaciones de interruptores, accionamientos, aparatos de ajuste y bloqueos, tienen que ser sometidos a una verificación de su función para poder comprobar que han sido ajustados y montados de acuerdo con las exigencias correspondientes de esta norma. En el caso de aparatos de protección, siempre que sea requerido, deberá realizarse una prueba de funcionamiento para determinar que han sido montados y ajustados según la norma.

Prueba de funcionamiento de un aparato de vigilancia de aislamiento

El aparato de vigilancia de aislamiento (IMD) se verifica y evalúa con ayuda de la documentación del equipo o con aparatos de ensayo adecuados. Durante las verificaciones debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Cumple con los requisitos dispuestos en la norma EN 61557-8
- Ajuste de los valores de alarma R_{an}
- Avisos ópticos o acústicos en el caso de un fallo de aislamiento
- Funciones de Test y Reset.

a) Comprobación de las funciones de vigilancia internas del IMD

Los aparatos de vigilancia del aislamiento pueden incluir funciones de vigilancia internas, para asegurar el funcionamiento correcto del IMD. Puede tratarse, por ejemplo de la vigilancia de la conexión a la red o a tierra. Estas conexiones se llevan a cabo por lo menos con dos polos. Si el inspector abre una de estas conexiones entre el IMD y el conector de protección o tierra, el IMD deberá dar aviso sobre este fallo. Esta vigilancia también se realiza para la conexión en el lado red.

b) Ajuste correcto de los valores de reacción

Si no se ha predeterminado un valor de reacción específico, deberá ajustarse en el IMD un valor de reacción de $100 \Omega/V$ como aviso principal. Si el IMD dispone de un segundo nivel de aviso, éste se puede configurar con un preaviso al alcanzar el valor de $300 \Omega/V$. De esta forma, el usuario de la instalación tiene la ventaja de recibir un aviso sobre posibles cambios en la instalación con suficiente antelación, sin necesidad de actuar de inmediato. Tiene la opción de realizar los trabajos de servicio en un momento posterior. En el ámbito médico, el valor mínimo necesario es de $50 k\Omega$.

c) Verificación del valor de respuesta

La verificación del funcionamiento del IMD se realiza según EN 61557-8 sección 6.1.2, con ayuda de una resistencia de ensayo, cuyo valor tiene que corresponder a la mitad del valor de respuesta configurado en el IMD. La verificación del tiempo de reacción viene descrita en EN 61557-8:2007-12 sección 6.1.2 Tiempo de reacción. Según las indicaciones, con una capacidad de derivación de red de máx. $1 \mu F$ se debe conectar de forma repentina una resistencia de ensayo adecuada entre el conductor activo y tierra, y medir el tiempo de retardo hasta la desconexión del circuito de corriente de salida (p.e. enchufe).

Si en el sistema IT existen capacidades de derivación a tierra C_e superiores, la reacción del aparato de vigilancia de aislamiento se puede retrasar. El tiempo de reacción puede calcularse aproximadamente mediante la fórmula $t_5 = R_i \times C_e$ siendo R_i la resistencia interna del aparato de vigilancia de aislamiento. Sin embargo, dependiendo del procedimiento de medida del IMD este tiempo podría ser claramente inferior. Al seleccionar la resistencia de ensayo es necesario comprobar si es adecuada para el uso previsto (resistencia a la tensión, etc.).



▶▶▶ BIBLIOGRAFÍA:

Wolfgang Hofheinz:

VDE-Schriftenreihe Band 114, 3. Auflage 2011 – Schutztechnik mit Isolationsüberwachung

Faber, Grapetin, Wettingfeld:

VDE-Schriftenreihe Band 124 3. Auflage 2012 – Prüfen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel
– Grundlagen und Methoden

UNE 60364-1

Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 1: Principios fundamentales, determinación de las características generales, definiciones.

UNE-HD 60364-4-442

Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 4-442: Protección para garantizar la seguridad. Protección de instalaciones de baja tensión contra sobretensiones temporales debido a defectos a tierra en el sistema de alta tensión y debido a defectos en el sistema de baja tensión

EN 61557-2 (VDE 0413-2):2008-02

Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1000 V AC y 1500 V DC - Equipos para ensayo, medida o vigilancia de medidas de protección; Parte 2: Resistencia de aislamiento

EN 61557-8 (VDE 0413-8):2007-12

Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1000 V AC y 1500 V DC - Equipos para ensayo, medida o vigilancia de medidas de protección; Parte 8: Dispositivos de vigilancia de aislamiento para sistemas IT

EN 61557-9 (VDE 0413-9):2009-11

Seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión de hasta 1000 V AC y 1500 V DC - Equipos para ensayo, medida o vigilancia de medidas de protección; Parte 9: Dispositivos para la detección de fallos de aislamiento en sistemas IT

UNE-EN 50110-1:2014

Explotación de instalaciones eléctricas.
Parte 1: Requisitos generales.

UNE-HD 60364-6

Montaje de instalaciones de baja tensión
Parte 6: Verificaciones

FUENTES: www.vde-verlag.de; www.beuth.de

Créditos de las fotos:

Archivo Bender