



M.I. Eligiusz Skrzynecki

GUÍA SOBRE LA NORMA

EN 62305

MEDIDORES DE LA RESISTENCIA EFECTIVA DE PUESTAS A TIERRA

MEDICIONES CON EL USO DE LOS MEDIDORES DE LA RESISTENCIA EFECTIVA DE PUESTAS A TIERRA MRU-200, MRU-120, MRU-30, MRU-21, MRU-20



Índice:

1.	Introducción.....	3
2.	Mediciones de puesta a tierra.....	3
2.1	Tipos de puesta a tierra.....	3
2.2	Factores que influyen sobre la calidad de una toma de tierra.....	4
2.3	Factores que influyen sobre la precisión de mediciones.....	5
2.3.1	Influencia de corrientes de fuga.....	5
2.3.2	Influencia de electrodos auxiliares.....	5
2.3.3	Influencia de la humedad del suelo.....	6
2.4	Precisión de mediciones y el rango de medición de un medidor.....	6
3.	Realización de mediciones de la protección contra rayos en conformidad con la norma EN 62305.....	7
3.1	Fuentes y tipos de daños en una construcción y de pérdidas.....	7
3.2	Medidas de protección.....	7
3.3	Nivel de protección contra rayos (LPL).....	8
3.4	Zonas de protección contra rayos (LPZ).....	9
3.5	Protección de construcciones.....	10
3.5.1	Protección para reducir la posibilidad del daño físico y de la amenaza a la vida.....	10
3.5.2	Protección para reducir la posibilidad de averías de dispositivos internos.....	10
3.6	Impulsiones de rayo en varios puntos de una instalación.....	10
3.6.1	Impulsiones causadas por descargas en una construcción.....	10
3.6.2	Impulsiones a consecuencia de interacciones inductivas.....	11
3.7	Mantenimiento a consecuencia de interacciones inductivas.....	12
3.7.1	Revisiones de dispositivos de protección contra rayos LPS (lighting protection system).....	12
3.7.2	Orden de la revisiones.....	12
3.7.3	Período entre las revisiones LPS.....	12
3.8	Procedimiento de verificación de dispositivos de protección contra rayos (LPS).....	13
3.8.1	Verificación y ensayos de los LPS.....	14
3.9	Documentación de ensayos.....	14
4.	Métodos de medición usados en los medidores de la resistencia efectiva de puestas a tierra.....	15
4.1	Método 2p - medición de continuidad de las conexiones protectoras y compensadoras.....	16
4.2	Método 2p - medición de la resistencia efectiva de puestas a tierra.....	17
4.3	Método 3p (caída de potencial).....	17
4.4	Método de cuatro conductores (4p).....	20
4.5	Método 3p con tenazas.....	20
4.6	Método de dos tenazas.....	21
4.7	Mediciones de puestas a tierra pararrayos.....	23
4.8	Método de impulsión.....	24
5.	Mediciones de la resistividad del suelo.....	26
6.	Preparación de protocolos de mediciones.....	28
7.	Servicios de laboratorio.....	29

1. Introducción

Las mediciones de la resistencia efectiva de una puesta a tierra difieren esencialmente de otras mediciones realizadas para evaluar la protección contra electrochoques. Requieren un conocimiento profundo de la construcción de una toma a tierra, de los fenómenos que suceden a la hora de hacer mediciones y la competencia de arreglárselas bajo circunstancias impropicias en el área. Para emprender los ensayos de los sistemas de puestas a tierra, es preciso disponer de un conocimiento adecuado y de un equipo de medición que será altamente capaz de ayudar a realizar estos ensayos difíciles.

En 2008 se introdujeron las normas EN 62305-1 Protección contra rayos. Parte 1: Reglas generales y EN 62305-2 Protección contra rayos. Parte 2: Gestión del riesgo. Estas normas incluyen una descripción de los daños y pérdidas causadas por un rayo, una clasificación de los niveles de la protección contra rayos y los parámetros de un rayo. Se definió también la noción de la impedancia de una puesta a tierra.

En 2009 se introdujeron las páginas sucesivas de esta norma - EN 62305-3 Protección contra rayos. Parte 3: Daños físicos de las construcciones y la amenaza a la vida y EN 62305-4 Protección contra rayos. Parte 4: Dispositivos eléctricos y electrónicos en las construcciones. Estas normas incluyen las exigencias y las maneras para las realizaciones prácticas relacionadas a los sistemas de protección contra rayos diseñados y a los métodos del mantenimiento y de la verificación del montaje correcto.

Las exigencias descritas en las normas arriba mencionadas, las cuales indican la necesidad de las medidas de la impedancia de una puesta a tierra, corresponden a la funcionalidad del nuevo medidor de la empresa SONEL S.A. - MRU-200. Este dispositivo permite hacer las mediciones de la resistencia efectiva de una puesta a tierra no sólo por medio del método técnico (de frecuencias bajas), sino también por medio del método de impulsión, conforme con la definición en la norma EN 62305. La oferta de SONEL S.A. incluye toda la serie de dispositivos para medir puestas a tierra y la resistividad del suelo, a partir de los simples para los clientes menos exigentes hasta los modelos cada vez más avanzados para las aplicaciones plenamente profesionales y bajo todas condiciones técnicas.

El medidor más avanzado en su construcción es MRU-200, actualmente el único en el mundo que permite hacer las mediciones de la resistencia efectiva de puestas a tierra empleando básicamente todos los métodos conocidos, incluyendo el de impulsión, el cual permite al usador seleccionar uno de los tres tipos accesibles de la vertiente de impulso de medición. La oferta de la empresa incluye también los medidores MRU-120, MRU-105 (sucesor del bien conocido MRU-101) y MRU-21.

2. Mediciones de puesta a tierra

2.1 Tipos de puesta a tierra

Una puesta a tierra es una conexión hecha con intención entre una parte de un dispositivo o de una instalación eléctrica con un objeto metálico que está en el suelo y que se llama toma de tierra.

En función de la tarea realizada por una puesta a tierra, se diferencian puestas a tierra protectoras, de servicio y contra rayos (funcionales).

En función de los elementos usados para construir las tomas de tierra, éstas se dividen en naturales y artificiales.

Los elementos siguientes pueden usarse como las tomas de tierra naturales: tubos metálicos de agua, elementos metálicos colocados en los cimientos, armaduras del hormigón colocado en el suelo y otros elementos metálicos con un buen contacto con el suelo.

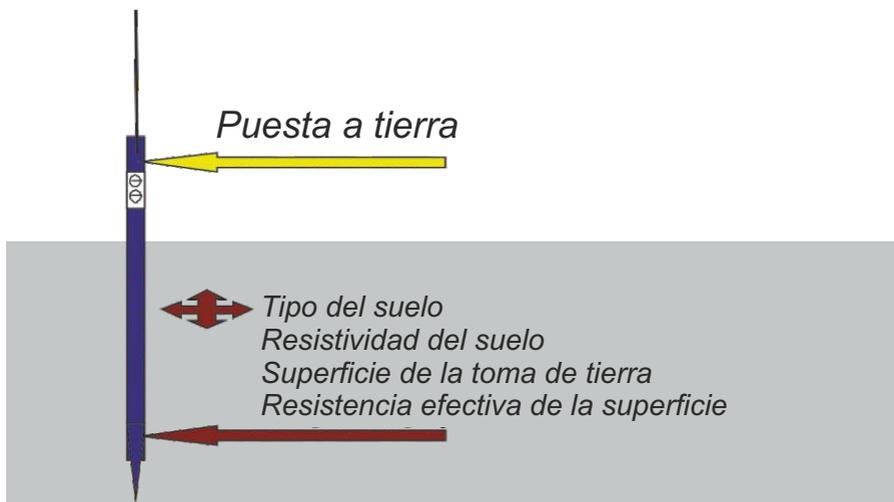
Los elementos siguientes pueden usarse como las tomas de tierra artificiales: perfiles, alambres, cables, placas o cintas de acero, cubiertas con capas conductoras protectoras (anticorrosivas), hundidas en el suelo horizontalmente (tomas de tierra horizontales) o verticalmente (tomas de tierra verticales).

Las tomas de tierra pueden realizarse en la forma de elementos horizontales o verticales separados (tomas de tierra concentradas) o en la forma de un sistema compuesto, conteniendo un sistema de las tomas a tierra de configuraciones variadas (tomas de tierra de reborde, de enrejado, radiales). Las tomas de tierra en la forma de un sistema complejo se hacen para asegurar una baja resistencia efectiva de la puesta a tierra.

A la hora de hacer las tomas de tierra hay que prestar atención a los potenciales electroquímicos de los elementos individuales de un sistema. Cuando el sistema será compuesto por una conexión de una toma de tierra de cimiento natural (acero en hormigón) con una toma de tierra artificial, localizada fuera del cimiento y hecha del acero cincado, la diferencia de los potenciales electroquímicos entre estos elementos será alrededor de IV. Como resultado de esta diferencia, la corriente que fluirá causará la corrosión del acero en el suelo. Las tomas de tierra con esta construcción no pueden emplearse y deben ser hechas del acero cubierto de cobre, de cobre o del acero inoxidable.

2.2 Factores que influyen sobre la calidad de una toma de tierra

La resistencia efectiva de puesta a tierra depende básicamente de la resistividad del suelo. Por eso es obvio que es difícil hacer una buena puesta a tierra en los terrenos con una resistividad alta (p.ej. terrenos arenosos, forestales) y la tarea definitivamente requiere unos costes más altos que para las áreas húmedas con una resistividad del suelo baja.



Dibujo 1. Factores que influyen sobre el valor de la resistencia efectiva de puesta a tierra

Las mediciones de la resistividad del suelo, en la fase de diseñar una puesta a tierra, son imprescindibles para escoger mejor los elementos de un sistema de puesta a tierra y para definir la profundidad de su hundimiento para obtener la resistividad del suelo requerida. Esto permite

reducir considerablemente el tiempo para llevar a cabo el proyecto y optimizar sus costes. En la mayoría de casos la profundidad del hundimiento de los elementos de una toma de tierra influye sobre la reducción de su resistencia efectiva. Al mismo tiempo, mientras más profundo es el hundimiento de una toma de tierra, más alta es la estabilidad de la resistencia efectiva de puesta a tierra durante su explotación debido a una influencia limitada de los factores externos (cambios de las estaciones del año, lluvias).

Una puesta a tierra hecha correctamente debe asegurar:

- un bajo valor requerido de su resistencia efectiva (impedancia),
- la menor variabilidad posible de la resistencia efectiva (impedancia) en el tiempo,
- la máxima resistencia anticorrosiva de los elementos de la toma a tierra.

2.3 Factores que influyen sobre la precisión de mediciones

A la hora de hacer mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra se realiza una medición de la corriente que fluye a través de la puesta a tierra medida y de la caída de tensión en esta puesta a tierra. A base de la ley de Ohm se calcula el valor de la resistencia efectiva de la puesta a tierra. La resistencia efectiva de una toma a tierra se mide empleando la corriente alternativa, debido a un carácter electrofórico de la resistividad del suelo.

2.3.1 Influencia de corrientes de fuga

La precisión de mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra depende de muchos factores. Los que causan errores en las mediciones son las corrientes de fuga (con la frecuencia de la red y sus armónicas). Para las mediciones de puesta a tierra de servicio se recomienda emplear la frecuencia de la corriente de medición con una frecuencia de la red más cercana posible, pero diferente de una frecuencia de 50 Hz y sus armónicas. El cumplimiento de esta condición es muy difícil en práctica y resulta en unas exigencias muy altas para la construcción de un medidor. Solamente los mejores fabricantes son capaces de satisfacer este requisito y, claramente, esta exigencia está cumplida en todos los medidores de la empresa SONEL S.A. Los sistemas de medición en estos dispositivos se las arreglan perfectamente con las corrientes perturbadoras en el suelo, con la frecuencia de la red y las frecuencias armónicas. El medidor MRU-200 tiene una función para analizar las tensiones perturbadoras y la selección automática de una frecuencia de medición adecuada para las corrientes perturbadoras medidas. La corriente de medición generada en los medidores SONEL S.A. tiene un valor que supera a los 200mA (salvo MRU-21), lo cual, en conexión con un sistema de filtraje de perturbaciones aumentado, ofrece una resistencia máxima a las tensiones perturbadoras con una amplitud hasta 24VAC (es decir $68V_{pp}$).

2.3.2 Influencia de electrodos auxiliares

La resistencia efectiva de los electrodos auxiliares influye sobre el error adicional de una medición. Mientras más grande es la resistencia efectiva, más grande es la influencia sobre el resultado de una medición. La persona que hace las mediciones, conociendo el valor de las resistencias efectivas de los electrodos auxiliares, puede intervenir cuando la resistencia efectiva mencionada es demasiado alta e intentar reducirla a través de hundir unos electrodos más largos, humedecer el suelo o hundir los electrodos en otro lugar. Pueden usarse también las puestas a tierra que ya existen, si las hay, p.ej. los palos metálicos de farolas, etc. El hecho de que los dispositivos ofrecidos por SONEL S.A. indiquen el valor de la resistencia efectiva de las sondas auxiliares, calculen automáticamente su influencia sobre el error adicional y permitan efectuar las mediciones incluso con unas resistencias efectivas considerables, es decisivo para su carácter

único entre todos los medidores de la resistencia efectiva de puesta a tierra.

2.3.3 Influencia de la humedad del suelo

Una influencia muy grande sobre un resultado de la medición de resistencia efectiva la tiene el grado de humedad del suelo. Las mediciones hechas después de la lluvia indicarán un valor considerablemente más bajo de la resistencia efectiva de puesta a tierra. Si no es posible hacer mediciones en el período de humedades normales, hay que emplear los coeficientes de corrección.

En función de la humedad del suelo actual y de la manera de hacer una toma de tierra, los resultados de una medición tienen que multiplicarse por el coeficiente indicado en la Tabla 1, el coeficiente $K_p = 1,1$ a 3. Los coeficientes indicados en la tabla permiten corregir los cambios estacionales de la resistencia efectiva de puesta a tierra.

Tabla 1. Valores del coeficiente de corrección K_p

Tipo de toma de tierra	El coeficiente de corrección K_p en función de la humedad del suelo		
	seco	húmedo	muy húmedo
Toma de tierra profunda vertical más de 5m por debajo de la superficie del suelo	1,1	1,2	1,3
Como arriba, pero 2,5 - 5m por debajo de la superficie del suelo	1,2	1,6	2,0
Toma de tierra horizontal situada aproximadamente 1m por debajo de la superficie del suelo	1,4	2,2	3,0

Se puede adoptar el principio siguiente:

- para las mediciones hechas dentro de 2 ó 3 días después de las lluvias,
- para las mediciones hechas entre los meses de septiembre y octubre en el clima polaco (las tomas de tierra muestran las resistencias efectivas más altas durante el año), no hace falta emplear los coeficientes de corrección.

2.4 Precisión de mediciones y el rango de medición de un medidor

Los dispositivos, en función de las instalaciones de puesta a tierra medidas, de su carácter y propiedades, deben elegirse de tal manera que posibiliten hacer las mediciones conforme a las partes de la norma IEC 61557 que correspondan:

- IEC 61557- parte 4 "Resistencia efectiva de los cables de puesta a tierra y los hilos de compensación"
- IEC 61557- parte 5 "Resistencia efectiva de puesta a tierra"

Es requerido que no se deslice en las mediciones un error total que supere el 30%. El error cometido más a menudo por los usuarios es emplear un dispositivo fuera de su rango de medición. Esto lleva a la práctica inaceptable de incluir unos resultados fuera del rango para evaluar la utilidad de explotación de una construcción. El rango de medición de un medidor indica una escala de medición dentro de la cual un error de medición es menor que el aceptable.

Los usuarios de los dispositivos muy a menudo no hacen caso al rango de medición, usualmente prestando atención a los rangos proyectados y a la resolución de un medidor. Frecuentemente no saben calcular el error de medición a base de los datos indicados por el fabricante. Puede ocurrir que las mediciones hechas incluyan un error más grave que el aceptable. El rango de medición de un medidor determina las posibilidades de su empleo. Actualmente los fabricantes de los instrumentos de medición están obligados a declarar sobre los medidores sus rangos de medición, teniendo en consideración los valores aceptables de error indicados en la norma IEC 61557. Gracias a ellos es posible comparar los medidores rápidamente y evaluar su utilidad para varias aplicaciones.

Por ejemplo, para una medición de la continuidad de las conexiones protectoras y compensadoras por el medidor MRU-200, el valor se proyecta con una resolución de $0,001\Omega$ y con una precisión para el rango de $0,000 \dots 3,9999\Omega \pm (2\%+4 \text{ dígitos})$, lo que da un rango de medición, según EN 61557-4, de: $0,045\Omega \dots 19,9k\Omega$. Para una medición de la resistencia efectiva de puestas a tierra según el método de 3 y 4 conductores, el rango de medición según EN 61557-5 es $0,100\Omega \dots 19,9k\Omega$. Esto significa que los resultados de las mediciones que caen dentro de estos rangos tienen una precisión mejor que el 30% y pueden apuntarse en el protocolo. Las posibilidades de medición de los medidores SONEL S.A pertenecen a los mejores en el mundo.

3. Realización de mediciones de la protección contra rayos en conformidad con la norma EN 62305

3.1 Fuentes y tipos de daños en una construcción y de pérdidas

La corriente de un rayo es fuente de daños. En función del lugar donde partió un rayo, se consideran las situaciones siguientes:

- S1: descargas en una construcción,
- S2: descargas cerca de una construcción,
- S3: descargas en los dispositivos de servicio conectados a una construcción,
- S4: descargas cerca de los dispositivos industriales conectados a una construcción.

Se distinguen los tres tipos de daños básicos siguientes sufridos a consecuencia de un impacto directo de rayo:

- D1: choque sufrido por seres vivos debido a tensiones escalonadas y de contacto,
- D2: daño físico causado por la corriente de rayo, incluyendo el chisporroteo (incendio, explosión, daño mecánico, liberación de los productos químicos),
- D3: avería de los dispositivos internos debido a un impulso electromagnético.

La norma toma en consideración los tipos siguientes de las pérdidas:

- L1: pérdida de una vida humana,
- L2: pérdida de servicios públicos,
- L3: pérdida del patrimonio cultural,
- L4: pérdidas materiales (de una construcción y su contenido, de un dispositivo de servicio y su actividad).

3.2 Medidas de protección

Para disminuir el riesgo de choques sufridos por seres vivos a consecuencia de tensiones escalonadas y de contacto se emplean los siguientes:

- aislamiento apropiado para las partes conductoras accesibles,
- equipotencialización por medio de una toma de tierra de enrejado,

- restricciones físicas e inscripciones preceptivas.

La equipotencialización no es eficaz en caso de tensiones de contacto. Un aumento de la resistividad de la capa superficial del suelo dentro y fuera de una construcción puede reducir el riesgo de perder la vida.

Para reducir los daños físicos se emplean los siguientes:

- en lo que respecta a las construcciones
 - un dispositivo de protección contra rayos LPS (lightning protection system), cuando se instalan los dispositivos para limitar sobretensiones (SPD - surge protective device), una medida muy importante para reducir el riesgo de incendio, de explosión y para la vida es equipotencialización.
- en lo que respecta a los dispositivos de servicio
 - conductor protegido (una protección muy eficaz para cables metidos en el suelo son los canales metálicos).

Para reducir la posibilidad de una avería de los dispositivos eléctricos y electrónicos se emplean:

- en lo que respecta a las construcciones
 - sistema de medidas protectoras contra un pulso electromagnético producido por un rayo, que consta de lo siguiente para el uso individual o común:
 - medios por puesta a tierra y compensadores,
 - apantallado magnético,
 - trazado de la línea,
 - protección con el uso de los dispositivos para limitar sobretensiones,
- en lo que respecta a los dispositivos de servicio
 - dispositivos para limitar sobretensiones, usados en varios puntos a lo largo de la línea y en su extremo,
 - apantallados magnéticos de cables.

3.3 Nivel de protección contra rayos (LPL)

La norma EN 62305-1 introduce cuatro niveles (I a IV) de la protección contra rayos. Para cada nivel (LPL, lightning protection level) se especifican los conjuntos de parámetros máximos y mínimos de un rayo, los cuales vienen presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores máximos de los parámetros del rayo relacionados con el LPL

Primera impulsión breve			LPL			
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Valor de cresta	I	kA	200	150	100	
Carga de la impulsión corta	Q_{short}	C	100	75	50	
Energía específica	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Parámetros del tiempo	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	10/350			

Tabla 2. Valores máximos de los parámetros del rayo relacionados con el LPL

Impulsión breve siguiente			LPL			
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Valor de cresta	I	kA	50	37,5	25	
Brusquedad media	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Parámetros del tiempo	T ₁ /T ₂	μs/μs	0,25/100			
Impulsión larga			LPL			
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Carga de la impulsión larga	Q _{long}	C	200	150	100	
Parámetros del tiempo	T _{long}	s	0,5			
Wyładowanie piorunowe			LPL			
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Carga de la descarga	Q _{flash}	C	300	225	150	

Tabla 3. Valores mínimos de los parámetros del rayo y el radio correspondiente de una esfera que rueda, relacionados con el LPL

Criterios de la interceptación			LPL			
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente de pico mínimo	I	kA	3	5	10	16
Rayo de la esfera que rueda	r	m	20	30	45	60

3.4 Zonas de protección contra rayos (LPZ)

Las medidas empleadas, en la forma del LPS, conductores protegidos, apantallados magnéticos y los dispositivos SPD determinan las zonas de la protección contra rayos (LPZ, lightning protection zone).

Las LPZ vienen hacia dentro desde un medio de protección y se caracterizan por una reducción considerable del pulso electromagnético de rayo (LEMP) en comparación con un LEMP fuera de la LPZ.

Considerando el riesgo de rayos, se han definido las LPZ siguientes:

- LPZ OA – zona donde el riesgo está causado por una descarga directa de rayo y por su campo electromagnético entero. El interior del dispositivo puede estar impactado por las corrientes impulsivas del rayo enteras o parciales,
- LPZ OB – zona protegida contra las descargas directas de rayo pero amenazada por la influencia de un campo electromagnético entero. El interior del dispositivo puede ser impactado por las corrientes impulsivas parciales,
- LPZ 1 – zona donde una corriente impulsiva queda reducida por su distribución y por un SPD en su límite. Un apantallamiento espacial puede debilitar un campo electromagnético de rayo,
- LPZ 2,...,n – zona donde una corriente impulsiva puede resultar aún más reducida por su distribución y por unos SPD adicionales en el límite de la zona. Un apantallamiento espacial adicional puede emplearse para debilitar más un campo electromagnético de rayo.

Por lo general, mientras más alto es el número de la zona, más reducidos resultan los parámetros de un ambiente electromagnético. La norma provee reglas detalladas para diseñar los sistemas de protección contra rayos en las zonas individuales.

3.5 Protección de construcciones

3.5.1 Protección para reducir la posibilidad del daño físico y de la amenaza a la vida

Una construcción protegida debería estar localizada en una zona LPZ OB o más avanzada. Se realiza esto empleando un dispositivo de protección contra rayos (LPS).

Un LPS se compone de un dispositivo externo y un interno.

Un dispositivo externo LPS tiene como objetivo:

- captar una descarga de rayo dirigida hacia la construcción (por medio de un sistema de terminales aéreas),
- dirigir la corriente del rayo sin peligro al suelo (por medio de los conductores de salida),
- dispersarla en el suelo (por medio del sistema de toma a tierra).

Un dispositivo interno LPS imposibilita chisporroteos peligrosos en una construcción, con el empleo de conexiones compensadoras o espacios aisladores entre los elementos LPS y otros elementos conductores dentro de la construcción.

Para los niveles de la protección contra rayos (LPL) se han definido cuatro clases correspondientes de LPS (I, II, III, IV).

Si la resistividad superficial de la tierra fuera de una construcción y del suelo dentro de ella no es suficientemente alta, la amenaza a la vida causada por las tensiones escalonada y de contacto se reduce a través de:

- el aislamiento de las partes conductoras accesibles fuera de una construcción, la ecualización de potencial del suelo por medio de una toma de tierra de enrejado, el uso de inscripciones preceptivas y restricciones físicas,
- dentro de una construcción, por medio de las conexiones compensadoras de los dispositivos de servicio en la entrada a la construcción.

3.5.2 Protección para reducir la posibilidad de averías de dispositivos internos

El pulso electromagnético de rayo puede causar averías en los dispositivos internos. La protección debe asegurar que lo siguiente resulte limitado:

- las sobretensiones causadas por las descargas de rayo en una instalación, en consecuencia a los acoplamientos de resistencias e inductivos,
- las sobretensiones causadas por las descargas de rayo cerca de una construcción, en consecuencia a los acoplamientos inductivos,
- las sobretensiones transmitidas por las líneas conectadas a la construcción,
- los acoplamientos directos del campo electromagnético con los dispositivos internos.

3.6 Impulsiones de rayo en varios puntos de una instalación

3.6.1 Impulsiones causadas por descargas en una construcción

La determinación del riesgo de impulsión en varios puntos de una construcción permite seleccionar los conductores y los aparatos para reducir las sobretensiones. Las impulsiones de tensión pueden ser causadas tanto por el flujo de las corrientes de rayo como por la inducción en

los bucles de la instalación. Los dispositivos empleados deben seleccionarse en función del riesgo.

La corriente de rayo que fluye a la tierra se distribuye entre una toma de tierra, partes conductoras externas y líneas conectadas directamente o por unos dispositivos para reducir las sobretensiones.

La distribución de la corriente de rayo depende del número de vías paralelas para esta corriente, de la impedancia de puesta a tierra para las partes subterráneas o de la resistencia efectiva de puesta a tierra cuando las partes aéreas están conectadas con las subterráneas y de la impedancia del sistema de terminales aéreas.

La impedancia de puesta a tierra está definida en la norma como la relación entre los valores de cresta de la tensión de la toma de tierra y de la corriente de la toma de tierra, los cuales por lo general no se observan al mismo tiempo.

La impedancia de puesta a tierra corresponde a la resistencia a impulsión de puesta a tierra, medida con el medidor MRU-200.

La Tabla 4 presenta los valores Z y Z1 de la resistencia a impulsión de puesta a tierra, en función de la clase LPS, donde:

Z – impedancia convencional de puesta a tierra de un sistema de tomas de tierra,

Z1 – impedancia convencional de puesta a tierra de una parte externa o de unas líneas subterráneas.

Tabla 4. Valores Z y Z1 de las impedancias convencionales de puesta a tierra en función de la resistividad del suelo

ρ Ωm	Z1 Ω	Impedancia convencional de puesta a tierra relacionada con una clase LPS Z Ω		
		I	II	III - IV
≤ 100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	38	10	15	60

¡NOTA! Los valores indicados en la tabla corresponden a la impedancia convencional de puesta a tierra de un conductor enterrado y en las condiciones de impulsión (10/350 μ s).

3.6.2 Impulsiones a consecuencia de interacciones inductivas

Las impulsiones causadas por los efectos inductivos de los campos magnéticos, generados por la corriente de rayo que fluye en un LPS externo o por una descarga de rayo cercana, tienen la forma típica de 8/20 μ .

3.7 Mantenimiento a consecuencia de interacciones inductivas

3.7.1 Revisiones de dispositivos de protección contra rayos LPS (lightning protection system)

El objetivo de una revisión es asegurar que:

- un dispositivo de protección contra rayos conforme con el diseño basado en la norma EN 62305,
- todos los elementos LPS estén en un buen estado, sean capaces de realizar las tareas definidas en el diseño y no estén corroídos,
- todos los dispositivos de servicio o las estructuras añadidas posteriormente estén incluidas en el LPS.

3.7.2 Orden de las revisiones

Las revisiones deben realizarse en conformidad con el punto 7.1 de la norma EN 62305-3:

- durante la edificación de una construcción, para revisar las partes incorporadas,
- después de instalar un LPS,
- periódicamente, teniendo en consideración el índole de la construcción protegida, es decir el riesgo de corrosión y la clase del LPS,
- después de llevar a cabo modificaciones o reparaciones, o cuando se sabe que un rayo partió la construcción.

Durante una revisión periódica, es de mucha importancia controlar lo siguiente:

- el deterioro del estado de los elementos: terminales aéreas, conductores y conexiones, la corrosión de estos elementos,
- la corrosión de las tomas de tierra,
- el valor de la resistencia efectiva de puesta a tierra del sistema de tomas de tierra,
- el estado de las conexiones, incluyendo las compensadoras, y de las fijaciones.

3.7.3 Período entre las revisiones LPS

Las revisiones LPS deben tener lugar por lo menos una vez al año. En caso de las áreas donde el tiempo cambia considerablemente y donde sus condiciones con excepcionales, se recomienda realizar las revisiones mucho más frecuentemente que indica la Tabla 5.

Tabla 5. Intervalo máximo entre las revisiones LPS

Nivel de protección	Revisiones (años)	Inspección exhaustiva (años)	Inspección exhaustiva de los dispositivos críticos (años)
I i II	1	2	1
III i IV	2	4	1

iNOTA! Los LPS usados en un lugar donde se incluyen unas construcciones amenazadas por una explosión deben verificarse cada 6 meses. Los ensayos eléctricos de una construcción deben efectuarse una vez al año.

Una desviación aceptable del plan anual de inspecciones sería realizarlas en un ciclo de 14-15 meses, en los lugares donde se considera conveniente hacer los ensayos de la resistencia efectiva de puesta a tierra en diferentes períodos del año, para captar los cambios estacionales.

El período entre las inspecciones sucesivas de los LPS debe definirse en función de los factores siguientes:

- clasificación de la construcción protegida, teniendo en cuenta en particular los resultados de daños,
- clases de los LPS,
- ambiente local, p.ej. en un ambiente con una atmósfera corrosiva los períodos entre las inspecciones deben ser cortos,
- materiales de los elementos individuales de un dispositivo de protección contra rayos,
- tipo de la superficie a la cual los elementos LPS están sujetos,
- propiedades del suelo y el ritmo de corrosión relacionado con ellas.
- riesgos o peligros mecánicos.

En caso de las condiciones ambientales críticas y tensiones mecánicas, las inspecciones exhaustivas deben realizarse cada año.

En caso de cambios en la resistencia efectiva que superan los especificados en el diseño, cuando la resistencia efectiva aumenta entre las inspecciones, hay que considerar una mejora del sistema de puesta a tierra.

3.8 Procedimiento de verificación de dispositivos de protección contra rayos (LPS)

El objetivo de la verificación es asegurarse de que un LPS cumpla en todo respecto con las exigencias de la norma EN 62305.

La verificación comprende:

- un control de la documentación técnica,
- una inspección,
- una verificación y ensayos del LPS,
- un protocolo de ensayos.

La verificación de la documentación técnica consiste en controlar su exhaustividad, compatibilidad con la norma y la conformidad de la ejecución.

La verificación se realiza para comprobar si:

- diseño conforma con la norma EN 62305,
- el LPS está en un buen estado,
- no hay conexiones aflojadas ni interrupciones accidentales en los conductores y juntas de los LPS,
- ninguna de las partes está debilitada por la corrosión, ante todo cerca del suelo,
- todas las conexiones con la toma de tierra están intactas,
- todos los conductores visibles y los elementos LPS están sujetos a las superficies de montaje,
- no hay cambios en la construcción protegida que requieran protección adicional,
- no hay ningunos signos de deterioración en los LPS y los SPD (limitadores de sobretensiones)
- las conexiones compensadoras están bien hechas y si se ha llevado a cabo una prueba de continuidad,
- los espacios aisladores requeridos están preservados.

3.8.1 Verificación y ensayos de los LPS

La verificación y las pruebas de los LPS comprenden una inspección y deben completarse con las acciones siguientes:

- verificación de la continuidad, especialmente en los puntos donde ella no era visible durante la instalación y donde ahora no es accesible para inspeccionarla,
- medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra tanto para el sistema de tomas de tierra como para las tomas de tierra escogidas, incluyendo la preparación del protocolo de ensayos.

Mediciones con una frecuencia grande (resistencia de impulsión) son posibles tanto durante la instalación como durante una reparación del sistema de puesta a tierra con el fin de comparar el sistema de tomas de tierra diseñado con las exigencias.

Es preciso medir la resistencia efectiva de puesta a tierra de cada toma de tierra local y, donde convenga o sea justificado, medir la resistencia efectiva de puesta a tierra de un sistema entero de tomas de tierra. Cada toma de tierra local debe estar sometida a las mediciones por separado, con el punto de ensayo entre el conductor de salida y cada toma de tierra desconectada. La resistencia efectiva, respecto a la tierra, de un sistema de tomas de tierra como un todo no debe superar 10Ω . Si se observa un aumento significado de la resistencia efectiva de puesta a tierra, hay que identificar la causa de este aumento y tomar acciones para mejorar la situación.

En caso de hacer tomas de tierra en suelo rocoso, una toma de tierra de cimientos debe estar situada en un fundamento de hormigón; a pesar de su eficacia reducida, funciona entonces como un conductor compensador. A los conductores de salida y a las tomas de tierra de cimientos deben conectarse, por medio de bornes de pruebas, tomas de tierra adicionales. Si no se ha hecho una toma de tierra de cimientos, hay que hacer en su vez una toma de tierra de reborde. Si esta toma de tierra no puede instalarse en el suelo, pero tiene que estar colocada sobre su superficie, debe ser protegida contra daños mecánicos. Las tomas de tierra radiales, situadas sobre o cerca de la superficie del suelo, deben ser – para su protección mecánica – cubiertas con piedras o asentadas en hormigón. La exigencia de 10Ω , válida para suelos rocosos, no se aplica en este caso.

Es preciso inspeccionar todos los conductores, conexiones y juntas o medir su continuidad galvánica. Si un sistema de tomas de tierra no cumple las exigencias o el control no es posible debido a la falta de información, el sistema de tomas de tierra debe ser corregido por medio de la instalación de unas tomas de tierra adicionales o de un nuevo sistema de tomas de tierra.

3.9 Documentación de ensayos

Conforme a las exigencias de la norma EN 62305, los ensayos de los LPS deben protocolarse. El protocolo debe guardarse junto con el protocolo de diseño de los LPS y con los protocolos anteriores de mantenimiento y ensayos de los LPS.

Un protocolo de ensayos de los LPS debe contener la información sobre:

- el estado general de las terminales aéreas en la forma de conductores y de otros elementos,
- el estado general de corrosión y sobre el estado de protección contra ella,
- la seguridad de sujeción de los conductores y los elementos de los LPS,
- las mediciones de la resistencia efectiva del sistema de tomas de tierra,
- cualquier desviación de la norma EN 62305,
- la documentación sobre todos los cambios y el desarrollo de los LPS, así como sobre todos los cambios en la construcción. Además, hay que verificar los dibujos de construcción

- de los LPS y la descripción de su diseño,
- los resultados de los ensayos realizados.

4. Métodos de medición usados en los medidores de la resistencia efectiva de puestas a tierra

Las mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra se hacen empleando los métodos siguientes:

- el método técnico,
- el método técnico con tenazas para medir puesta a tierra múltiple,
- el método de dos tenazas para mediciones sin electrodos auxiliares,
- metoda udarowa.

En función del carácter de puesta a tierra medida, se realizan mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra o medición de resistencia de impulsión que corresponda a la impedancia de puesta a tierra según la norma EN 62305.

Las mediciones de resistencia efectiva de puesta a tierra se hacen con una corriente de medición con una frecuencia parecida a la de la red (p.ej. para puestas a tierra de servicio). Las mediciones de resistencia de impulsión se hacen con una corriente con una forma que corresponda a la de un rayo (para puestas a tierra pararrayos).

SONELSA. ofrece medidores que permiten hacer mediciones por medio de varios métodos.

En la oferta de SONEL S.A. relacionada a mediciones de puesta a tierra sobresalen los medidores MRU-200 y MRU-120, que permiten hacer mediciones empleando la mayoría de los métodos conocidos:

- método de dos conductores (2p) – medición de continuidad de conexiones protectoras y compensadoras,
- método de 3 conductores (3p) – medición de resistencia efectiva de puesta a tierra empleando el método técnico,
- método de 4 conductores (4p) – permite eliminar una influencia sobre el resultado de una medición de resistencia efectiva del conductor que conecta el medidor con puesta a tierra,
- método 3p con tenazas – permite medir resistencia efectiva de puesta múltiple sin desconectar la junta de control,
- método de dos tenazas – permite medir resistencia efectiva de puesta a tierra sin electrodos auxiliares.

Los medidores tienen una función para medir resistividad del suelo. Además, el medidor MRU-200 permite también hacer mediciones usando el método de impulsión – las mediciones de impedancia de puesta a tierra según las exigencias de la norma EN 62305, para mediciones de puesta a tierra pararrayos. El dispositivo mide también corrientes de escape (de defecto) usando tenazas.

Los medidores MRU-200 y MRU-120 permiten hacer mediciones en redes con frecuencias nominales de 50 Hz o 60Hz. Además, el MRU-200 permite hacer mediciones para frecuencias de 16 2/3Hz y 400Hz. Es posible seleccionar la frecuencia de la señal de medición (125Hz o 150Hz) manualmente, por la persona que hace mediciones (los medidores MRU-200 y MRU-120), o automáticamente, por el medidor, a base del análisis de tensiones perturbadoras (MRU-200). El medidor MRU-200 tiene los mejores parámetros metrológicos (el rango de medición a partir de 0,100 Ω , la resolución de medición a partir de 0,001 Ω).

El medidor MRU-105 permite hacer mediciones empleando los métodos siguientes:

- el método 2p,
- el método 3p,
- el método 4p,
- el método 3p con tenazas,

Adicionalmente, es posible medir resistividad del suelo. El medidor permite hacer mediciones en redes con una frecuencia de 50Hz.

El medidor MRU-21 permite hacer mediciones de resistencia efectiva de puestas a tierra empleando:

- el método 2p,
- el método 3p, con una resistencia efectiva de electrodos auxiliares de hasta 50 k Ω .

Además, se puede medir la continuidad de conexiones protectoras y compensadoras con una corriente de 200mA, con la posibilidad de activar el autozero de la resistencia efectiva de conductores de medición.

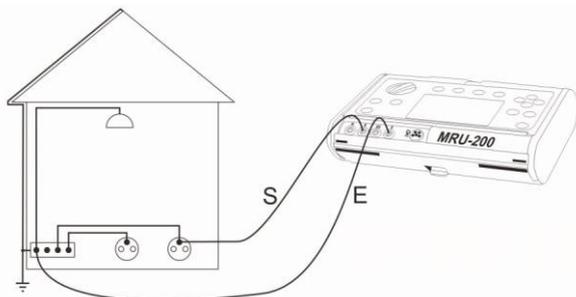
Durante una medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra, todos los medidores miden también las resistencias efectivas de electrodos auxiliares y analizan su influencia sobre el valor de error adicional. También se mide la tensión perturbadora. Los medidores permiten medir la resistencia efectiva de una puesta a tierra para tensiones perturbadoras de hasta 24V.

4.1 Método 2p – medición de continuidad de conexiones protectoras y compensadoras

La norma EN 62305 requiere verificar las conexiones de conductores de salida con puesta a tierra. Estas verificaciones son de una importancia particular cuando los conductores de puesta a tierra no son visibles. Estas verificaciones se efectúan en conformidad a la norma EN 61557- Parte 4 "Resistencia efectiva de conductores de puesta a tierra y compensadores". Según la norma, la corriente de medición mínima no es inferior a 200mA y la tensión en tenazas abiertas debe caer dentro del rango de 4...24V. Estos requisitos quedan cumplidos para mediciones hechas con los medidores MRU-200, MRU-120, MRU-105 y MRU-21.

La manera de medir la continuidad de conexiones protectoras y compensadoras está mostrada en el Dibujo 2.

Un medidor permite emplear conductores de largos diferentes. Para que su resistencia efectiva no afecte el resultado de una medición, uno puede autocalibrarlos. Durante una autocalibración se mide la resistencia efectiva de conductores de medición, a consecuencia de lo cual ella no se suma con la resistencia efectiva medida y en el resultado no se desliza un error adicional.



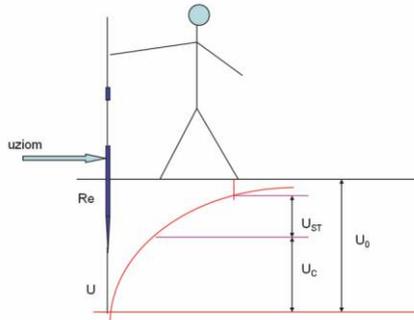
Dibujo 2. Medición de la continuidad de conexiones protectoras y compensadoras – método 2p

4.2 Método 2p – medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra

El método 2p puede emplearse también para medir la resistencia efectiva de puesta a tierra. Cuando se conoce un sistema de tomas de tierra y cuando puesta a tierra con un valor conocido de la resistencia efectiva está accesible, el resultado de la medición será una suma de las resistencias efectivas de puesta a tierra: la resistencia de puesta a tierra medida y la resistencia de puesta a tierra cuyo valor se conoce.

4.3 Método 3p (caída de potencial)

Para mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra se emplea más frecuentemente el método técnico, a menudo denominado el método de la caída de potencial. Durante una medición se mide la caída de potencial en puesta a tierra y la corriente que fluye a través de ella y, según la ley de Ohm, se calcula la resistencia.

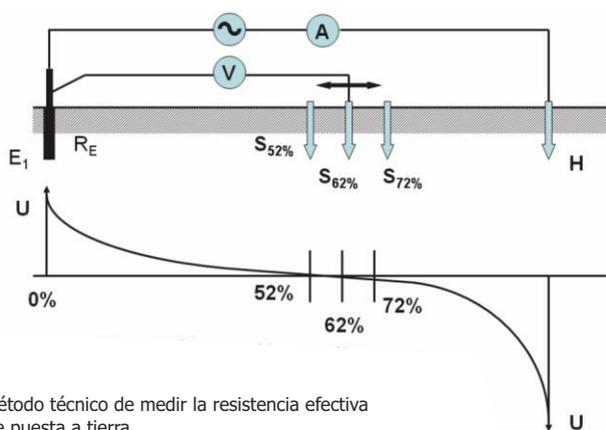


Dibujó 3. Distribución de la tensión alrededor de puesta de tierra
(U_c – tensión de contacto, U_{ST} –tensión escalonada)

En el Dibujo 3 se ha presentado la distribución de potencial alrededor de puesta a tierra en caso de flujo del corriente de defecto.

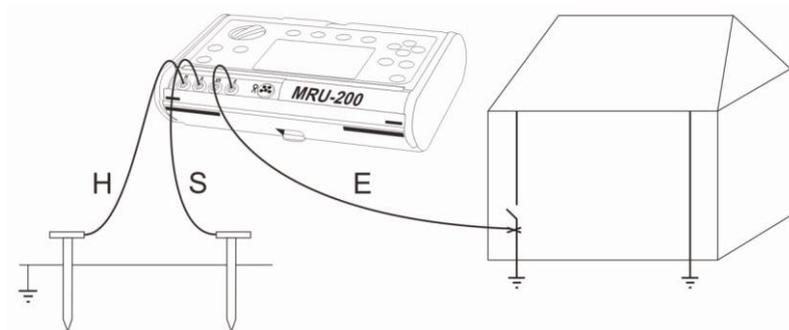
En el Dibujo 4 se ha presentado el principio de medir la resistencia efectiva de puesta a tierra empleando el método técnico. Se mide la resistencia efectiva de puesta a tierra R_e . Para efectuar la medición, es necesario colocar dos electrodos auxiliares adicionales:

- un electrodo H, para posibilitar el forzamiento del flujo de corriente por el circuito:
 - toma de tierra medida R_e → medidor → electrodo de corriente H → suelo,
- un electrodo S, para medir la caída de tensión, en consecuencia de la corriente que fluye, en la resistencia efectiva de puesta a tierra medida.



Dibujo 4. Método técnico de medir la resistencia efectiva de puesta a tierra

Los electrodos se colocan en una línea. El electrodo de tensión se coloca en la mitad de la distancia entre los electrodos. Para este método es importante situar los electrodos auxiliares de tal manera que un punto a potencial cero esté presente – entonces la caída de tensión se medirá correctamente en puesta a tierra. Mientras más grande es la distancia entre puesta a tierra medida y el electrodo de corriente H, más ancho es el área para el punto a potencial cero. Para verificar si el lugar de hundir el electrodo de tensión se ha elegido correctamente, es preciso hacer dos mediciones adicionales. Si después de recolocar el electrodo de tensión en la dirección de puesta a tierra medida y en la dirección del electrodo de corriente (lo que más a menudo significa un desplazamiento de un par de metros) la diferencia entre los resultados es modesta, se puede confirmar que los lugares para los electrodos han sido bien escogidos. La media aritmética de los tres resultados es el valor medido de la resistencia efectiva de la puesta a tierra dada.



Dibujo 5. Medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método 3p

Si después del traslado de los electrodos los resultados se difieren considerablemente entre sí, es preciso cambiar de lugar para los electrodos (usualmente trasladarlos hacia el electrodo de corriente H) o aumentar la distancia entre ellos. Si esto no ayuda, hay que trasladar los electrodos en otra dirección. La causa de problemas con mediciones de puesta a tierra pueden ser, por ejemplo, conductos de agua en el suelo (flujo de la corriente a través de conexiones metálicas).

Lo que se observa más a menudo en práctica es usar todo el largo de conductores de medición (en caso del medidor MRU-200 esto será 50m para un electrodo de corriente y 25m para un electrodo de tensión). El modo de medir la resistencia efectiva de una puesta a tierra según el método 3p está mostrado en el Dibujo 5.

Para medir puesta a tierra espaciosa se requieren longitudes notables de conductores de medición. En estos casos se une los conductores de medición en bobinas (las bobinas están ajustadas para conectar).

En caso de mediciones de puesta a tierra múltiple hay que desconectar la junta de control. Si no, la medición será la resistencia efectiva resultante de todo el sistema.

A la hora hacer mediciones los medidores MRU-200, MRU-120, MRU-105 y MRU-21 miden también el valor de tensiones perturbadoras. Además, el medidor MRU-200 tiene la función de selección automática de la frecuencia de medición en función de la frecuencia de corrientes de fuga.

Los parámetros más altos de este medidor permiten hacer mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra empleando el MRU-200 en las condiciones más exigentes, para valores de puesta a tierra muy pequeña.

Las distancias que se recomienda mantener entre electrodos auxiliares durante mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra están indicadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Distancias recomendadas entre electrodos adicionales

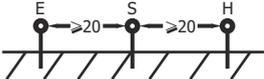
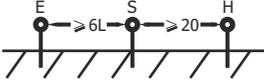
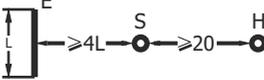
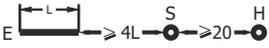
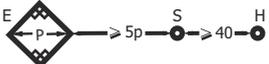
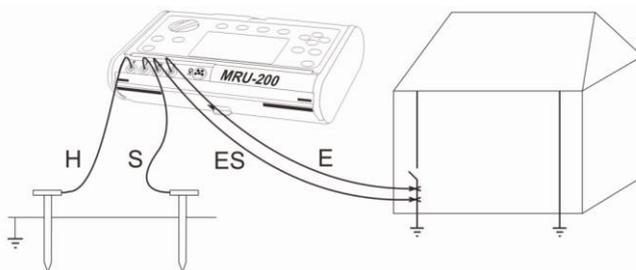
Estructura de la toma de tierra auxiliar ensayada	Las distancias menores en m o las distancias relativas para la colocación de la sonda en una línea con la toma de tierra ensayada E
Toma de tierra ensayada E singular vertical con un largo de $L < 3$	
Toma de tierra ensayada E vertical con un largo de $L > 3$	
Toma de tierra ensayada E horizontal con un largo de $L < 3m$	

Tabla 5. Distancias recomendadas entre electrodos adicionales

Estructura de la toma de tierra auxiliar ensayada	Las distancias menores en m o las distancias relativas para la colocación de la sonda en una línea con la toma de tierra ensayada E
Toma de tierra ensayada E horizontal con un largo de $L > 10\text{m}$	
Toma de tierra ensayada E múltiple horizontal y en la forma un cuadrado con la diagonal p	

4.4 Método de cuatro conductores (4p)

El método de cuatro conductores (4p) se utiliza para medir puesta a tierra cuando se requiere una precisión alta de mediciones. En el método 3p el valor proyectado es la suma de la resistencia efectiva medida de puesta a tierra y del conductor de medición, entre el borne E del medidor y la toma de tierra medida. En el método 4p el uso de otro, el cuarto conductor, conectado entre el borne ES del medidor y la toma de tierra medida, elimina la influencia de la resistencia efectiva del conductor de medición. De la misma manera que en el método 3p, es necesario desconectar la junta de control (en caso contrario se medirá la resistencia efectiva de puesta a tierra de un sistema entero de puesta a tierra). El método de hacer mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método de cuatro conductores (4p) está presentado en el Dibujo 6.

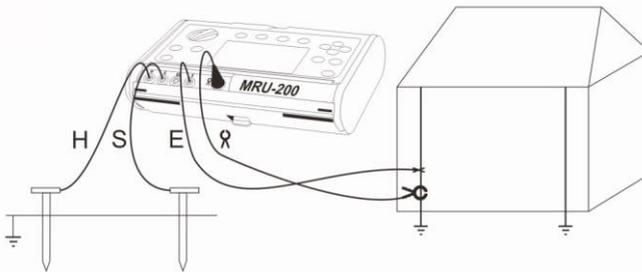


Dibujo 6. Medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método de 4 conductores.

4.5 Método 3p con tenazas

En la práctica de mediciones, es frecuente tener que medir la resistencia efectiva de puesta a tierra múltiples, cuando no es posible desconectar la junta de control. La única posibilidad de hacer la medición es emplear la técnica 3p con tenazas. Según este método, se usan dos electrodos auxiliares, idénticamente como ocurre en el método 3p. Puesto que la junta de control no está

abierta, la corriente de medición del borne E del medidor fluye tanto a través de puesta a tierra medida como a través de las demás puesta a tierra. Para determinar la corriente que fluye a través de puesta a tierra medida, se utilizan tenazas de medición. A base de la caída de tensión medida en la toma de tierra medida y del valor de la corriente medida, se calcula el valor de la resistencia efectiva de puesta a tierra. A la hora de hacer la medición hay que prestar atención al lugar de conectar las tenazas. Ellas deben estar instaladas por debajo de la conexión del conductor E. Durante la medición, sólo una parte de la corriente generada fluye a través de la toma de tierra medida. La otra parte de la corriente de medición fluye a través del resto del sistema de tomas de tierra. Para asegurar la más alta precisión de medición posible, las tenazas usadas deben ser de la mejor clase. El rango de medición obtenido para el medidor MRU-200 es $0,120\Omega \dots 1,99k\Omega$. La manera de hacer mediciones según el método 3p, usando las tenazas, está mostrada en el Dibujo 7.

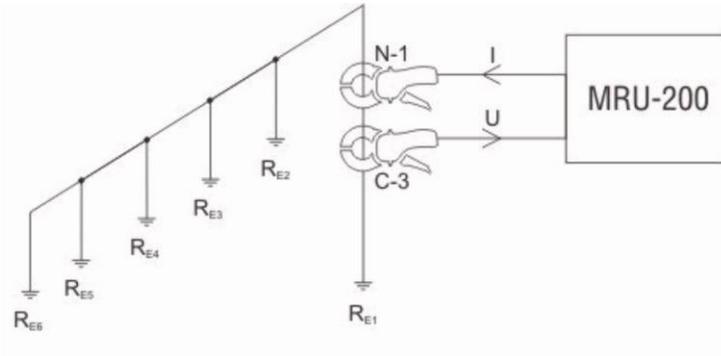


Dibujo 7. Medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método 3p con tenazas.

4.6 Método de dos tenazas

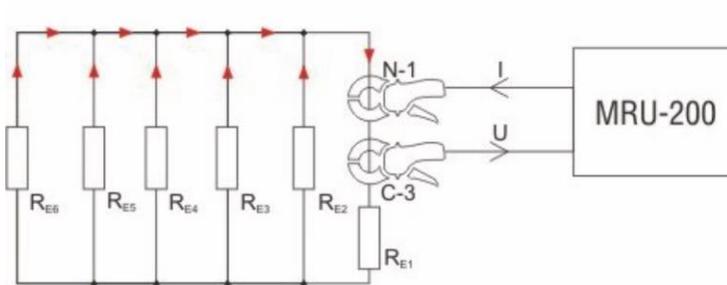
Desde hace mucho tiempo las mediciones de la resistencia efectiva de puesta a tierra causan problemas enormes en áreas urbanizadas. Para hacer una medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra se debe generar corriente y después, a base de la caída de tensión, calcular el valor de la resistencia efectiva. En el centro de una ciudad, donde la edificación es muy compacta, a menudo no existe ninguna posibilidad de hundir electrodos auxiliares. En estas condiciones se puede emplear el método de dos tenazas. El principio de hacer mediciones según este método lo muestra el Dibujo 8.

El objetivo de una medición es medir la resistencia efectiva de puesta de tierra R_{E1} . A esta puesta a tierra están conectadas otras puestas a tierra con las resistencias efectivas $R_{E2}, R_{E3}, \dots, R_{E6}$. En este método se usan tenazas de transmisión (N-1) y tenazas de recepción (C-3). Las tenazas de transmisión sirven para generar la tensión en el circuito. La corriente que fluye en el circuito depende del valor de la resistencia efectiva del circuito – a medida que el valor de la resistencia efectiva disminuye, la corriente aumenta. Las tenazas de recepción miden la corriente que fluye en el circuito. A base de esto se calcula el valor de la resistencia efectiva de puesta a tierra. Para que una medición según el método de dos tenazas sea posible, el circuito debe estar cerrado al flujo de corriente. Esto significa que la medición de puesta a tierra singular – un circuito abierto – no es posible. Para efectuar una medición, se debe conectar puesta a tierra singular a otra.



Dibujó 8. El principio de medir la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método de dos tenazas.

El sistema de las tomas de tierra del Dibujó 8 ha sido sustituido por un circuito equivalente, mostrado en el Dibujó 9.



Dibujó 9. Método de dos tenazas – el circuito equivalente a éste del Dibujó 8.

El circuito equivalente muestra proyectado el valor de la resistencia efectiva de puesta a tierra R_E . Como resulta de la fórmula de abajo, el valor proyectado se compone de la resistencia efectiva medida R_{E1} y de la resultante de la conexión paralela de las demás puestas a tierra.

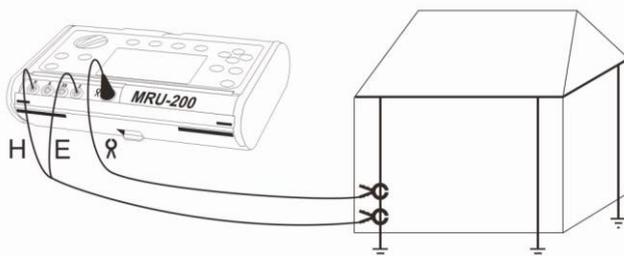
$$R_E = R_{E1} + \frac{1}{\frac{1}{R_{E2}} + \frac{1}{R_{E3}} + \frac{1}{R_{E4}} + \frac{1}{R_{E5}} + \frac{1}{R_{E6}}}$$

Esto significa que el valor obtenido de la resistencia efectiva de puesta a tierra estará sobrevalorado (error positivo en la medición). Esto es el error del método puesto que la resistencia efectiva resultante para la conexión paralela de las demás tomas de tierra (es decir, el error de

medición) será menor cuanto más habrá tomas de tierra adicionales. Por ello se recomienda hacer mediciones según este método para sistemas de muchas puestas a tierra.

Ejemplo

A la hora de medir la resistencia efectiva de una toma a tierra como mostrado en el Dibujo 9, con el valor $R_{E1}=10\Omega$, con las tomas de tierra $R_{E2}=R_{E3}=R_{E4}=R_{E5}=R_{E6}=10\Omega$, el valor proyectado por el medidor será $R_e=10\Omega + 2\Omega= 12\Omega$. Lo que resulta de esto es que la medición contiene el error positivo del método que equivale a 2Ω .



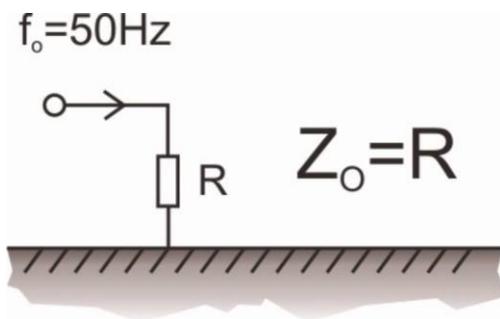
Dibujo 10. Medición de la resistencia efectiva de puesta a tierra según el método de dos tenazas

Como las puestas a tierra de servicio funcionan con una frecuencia de la red de 50Hz, es recomendado hacer mediciones con una señal cuya frecuencia sea lo más cercana posible a 50Hz. Ésta es la manera en la cual se realiza esto en los medidores de SONEL S.A. (MRU-200, MRU-120) – para una frecuencia de la red de 50Hz se hace una medición con una corriente cuya frecuencia es 125Hz. Esto se relaciona con un sistema electrónico desarrollado del medidor, pero estas mediciones corresponden mejor a los resultados para una frecuencia de 50Hz. Además, el diámetro interno de las tenazas es de importancia también, para que sea posible hacer mediciones de la resistencia efectiva de puestas a tierra, p.ej. en un fleje de acero. Para las tenazas N-1 y C-3, el diámetro interno es 52mm (2 pulgadas). La manera de hacer mediciones según el método de dos tenazas está mostrada en el Dibujo 10. A la hora de hacer mediciones empleando el método de dos tenazas no es importante si las tenazas de transmisión están arriba o abajo. En cambio, lo importante es la distancia entre las tenazas, para que las tenazas de transmisión no impacten en las tenazas de recepción. La distancia recomendada mínima es 30cm.

4.7 Mediciones de puestas a tierra pararrayos

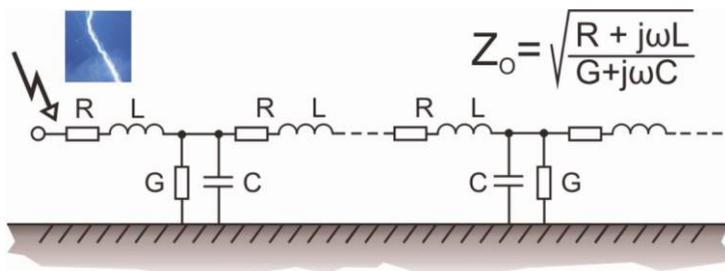
El diseño y la realización de puesta a tierra para la protección contra rayos son diferentes del diseño y la realización de puesta a tierra de servicio, empleadas p.ej. en la protección antichoque. Las informaciones detalladas se incluyen en la norma EN 62305, concerniente a la protección contra rayos. Esta norma introduce la noción de la impedancia de puesta a tierra. La impedancia de puesta a tierra se define como la relación entre el valor de cresta de la tensión en una toma de tierra y el valor de cresta de la corriente que fluye en esta toma de tierra, los cuales normalmente no se observan simultáneamente. La impedancia definida así por la norma, medida por el medidor MRU-200, se llama la resistencia de impulsión R_d .

Una puesta a tierra (p.ej. un fleje de acero enterrado) puede modelarse como resistencia efectiva para una frecuencia de la red (50Hz). La impedancia en este caso equivale a la resistencia efectiva (Dibujo 11).



Dibujó 11. Modelo eléctrico de un conductor enterrado para la frecuencia de la red

Completamente diferente es el modelo del mismo conductor en el suelo en caso de una impulsión de rayo. Para frecuencias altas, que corresponden a una descarga de rayo, el conductor debe considerarse como una línea larga. En tal caso las inductancias del conductor y las capacidades a tierra empiezan a jugar un papel importante. Considerar el conductor como una resistencia efectiva pura es en este caso un error. Un sistema así se caracteriza por la impedancia que depende no sólo de la resistencia efectiva del conductor, sino también de su disposición en el suelo. El modelo eléctrico para una impulsión de rayo está mostrado en el Dibujó 12.



Dibujó 12. Modelo eléctrico de un conductor enterrado para una descarga de rayo

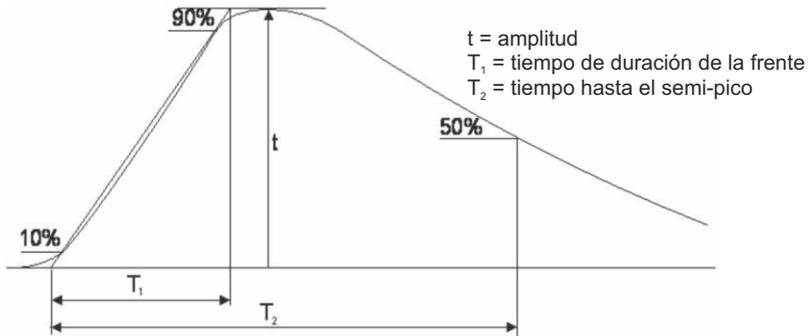
Según resulta del modelo, la mayor contribución a la evacuación de la corriente de rayo la tiene la parte inicial de una toma de tierra. La reactancia inductiva del conductor hace que las partes más alejadas de una puesta a tierra tienen menor influencia en evacuar la corriente de un rayo.

El modo de colocar terminales aéreas, conductores de salida y de hacer una toma de tierra es muy importante para una protección eficaz contra rayos y por esto lo mencionado antes debe realizarse en conformidad con las exigencias de la norma EN 62305.

4.8 Método de impulsión

Las mediciones de puestas a tierra pararrayos deberían efectuarse de un modo más parecido posible a las condiciones observadas al momento de partir un rayo. Para cumplir con esta

exigencia, la corriente de medición debería tener tal forma como se crea a consecuencia de una descarga atmosférica. La forma de un impulso de medición está mostrada en el Dibujo 13.



Dibujo 13. Determinación de los parámetros de una impulsión corta (la forma del impulso de medición para el método de impulsión usando el medidor MRU-200)

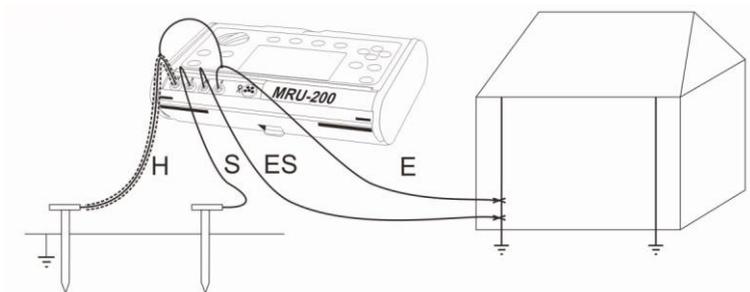
Durante una medición, el medidor genera una serie de impulsos con una forma indicada, una amplitud de 1,5kV y una corriente de hasta 1A. El dispositivo permite hacer mediciones con una de las tres formas de impulso:

- 4 μ s/10 μ s,
- 8 μ s/20 μ s,
- 10 μ s/350 μ s.

El impulso 10 μ s/350 μ s corresponde a la primera impulsión corta según la norma EN 62305 (según la Tabla 2). El impulso con la forma 8 μ s/20 μ s corresponde a una impulsión causada por efectos inductivos de los campos magnéticos generados la corriente de un rayo en un LPS externo o por una descarga cercana de rayo. Mientras más corto es el impulso seleccionado para una medición, mayor es la influencia de la reactancia.

La técnica de hacer mediciones de puestas a tierra pararrayos por medio del método de impulsión es diferente de mediciones hechas según el método técnico 4p, el cual emplea las frecuencias de medición parecidas a las de las redes energéticas.

El uso del método de cuatro conductores elimina la influencia de la impedancia del conductor de medición, el cual conecta la puesta a tierra medida con el medidor. Para hacer una medición se usa un conductor apantallado que elimina la influencia de perturbaciones que afectan los resultados de mediciones. Es importante conectar el apantallado de este conductor al borne E. Durante una medición los conductores de medición deben estar desenrollados por completo y no embobinados, para que no causen una inductividad adicional. Los electrodos auxiliares tienen que estar colocados de un modo totalmente contrario a este de hacerlo en el método 4p. Para evitar la posibilidad de inducirse la tensión en el conductor S, lo que ocurre debido al flujo de corriente en el conductor H, el conductor S debe estar distanciado del conductor H. Se recomienda colocar los conductores en un ángulo superior a 60°.

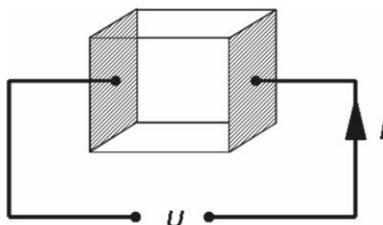


Dibujo 14. Conexión de conductores a la hora de hacer mediciones según el método de impulsión.

5. Mediciones de la resistividad del suelo

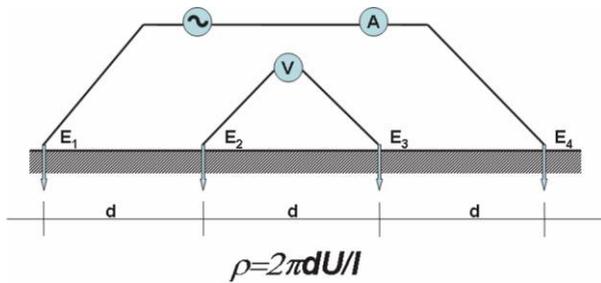
El diseño de nuevos sistemas de puestas a tierra debe tomar en cuenta las condiciones locales, relacionadas al tipo de suelo. Su parámetro más importante es la resistividad del suelo. Una resistividad del suelo menor significa una manera más fácil de hacer una puesta a tierra que cumpla las exigencias propuestas. Los suelos rocosos o arenosos requieren unos sistemas de puestas a tierra desarrollados y conllevan unos gastos mucho más grandes para obtener un valor adecuado de la resistencia efectiva.

El modelo de la resistividad se muestra como un cubo con las dimensiones $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$, llenado con el suelo, con electrodos en sus lados opuestos. Se conecta la tensión a este cubo. La relación entre la tensión y la corriente que fluye determina la resistividad.



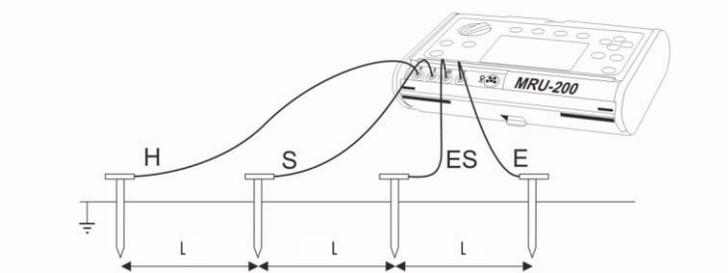
Dibujo 15. Modelo de la resistividad del suelo (cubo con las dimensiones $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$)

Una medición de la resistividad del suelo con los medidores MRU-200, MRU-120 y MRU-105 se realiza según el método de Wenner (Dibujo 16).



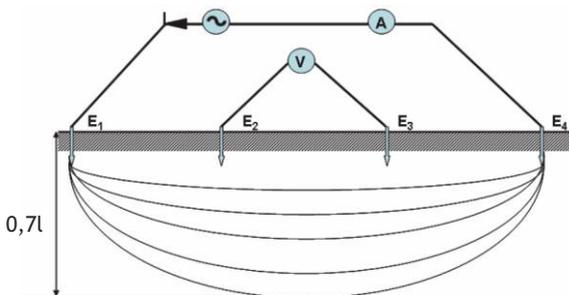
Dibujo 16. Método de medir la resistividad del suelo (el método de Wenner).

Según este método, se colocan cuatro sondas en una línea y a distancias idénticas (Dibujo 17).



Dibujo 17. Método de medir la resistividad del suelo

El rasgo característico del método de Wenner en una relación de proporción entre el distanciamiento de las sondas y la profundidad de penetración de la corriente que fluye. Esta relación permite determinar el rango de profundidad dentro del cual cae la resistividad medida y el resultado es alrededor de 0,7 de la distancia entre las sondas. Haciendo una serie de mediciones de la resistividad, al mismo tiempo cambiando la distancia entre las sondas, se puede determinar aproximadamente a qué profundidad se observa la menor resistividad. Saber esto tiene una importancia vital para ahorros de materiales a la hora de construir puestas a tierra.



Dibujo 18. Relaciones entre el distanciamiento entre electrodos y la profundidad de medir la resistividad del suelo.

Ejemplo:

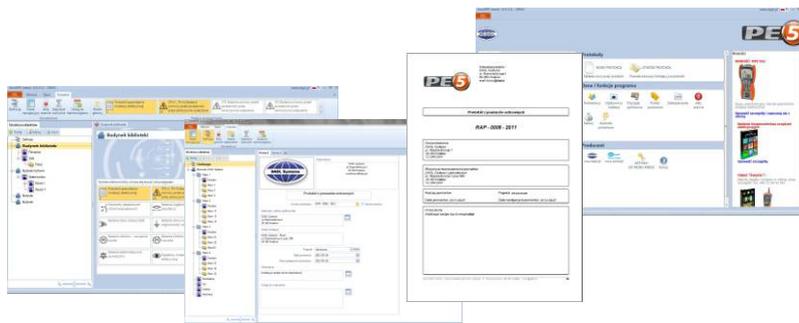
Con el fin de determinar la resistividad del suelo alrededor de su zona penetrada por las heladas, aproximadamente 0,7m, hay que guardar una distancia de 1m entre los electrodos. Después de hacer una medición, se puede darles a los electrodos un giro de 90° en relación a la primera medición. Los resultados parecidos de las mediciones significarán que el suelo es homogéneo y que el ensayo ha sido llevado a cabo correctamente. Los tubos de agua u otros elementos metálicos enterrados pueden dificultar unas mediciones esmeradas de la resistividad del suelo. Esto se manifestará en divergencias considerables al hacer una serie de mediciones de la resistividad en función de las direcciones diferentes de colocar las sondas auxiliares. En tal caso es preciso cambiar de lugar de los ensayos instalando las sondas a unos cuantos metros de del sitio donde las mediciones son difíciles.

Las mediciones de la resistividad del suelo permiten la óptima determinación de la profundidad a la cual se debe hundir los elementos verticales de una toma de tierra. Esto permite ahorrar tanto tiempo como los materiales de los que los sistemas de puesta a tierra son hechos.

6. Preparación de protocolos de mediciones

Un proceso que exige tanto esfuerzo como el de llevar a cabo los ensayos de una instalación es preparar la documentación que confirme que estos ensayos han tenido lugar y que incluya sus evaluaciones. SONEL S.A ofrece el software PE5 que permite crear protocolos de lo siguiente:

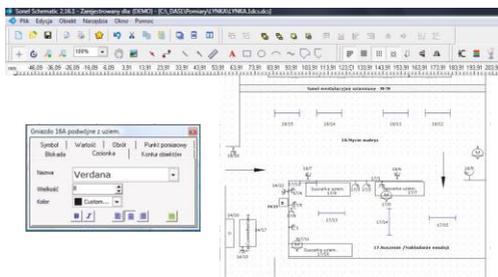
- realización de la inspección,
- ensayo de eficacia de la auto-desconexión (TN-C-S, TT, IT),
- ensayo de parámetros de los interruptores RCD,
- ensayo de aislamiento de los conductores (TN-C, TN-S),
- ensayo del estado de aislamiento de los cables,
- ensayo del estado de la instalación de pararrayo y de las tomas de tierra,
- ensayo de continuidad de los conductores,
- ensayos de las electroherramientas,
- ensayos de resistencia efectiva del aislamiento de los motores,
- ensayos de resistencia efectiva de los contactores,
- ensayos de resistencia efectiva de los interruptores,
- ensayos de los dispositivos de transformadores.



Dibujo 19. Vista de una pantalla del programa Sonel PE5

Sonel PE5 hace cálculos automáticamente, evalúa los resultados obtenidos, prepara informes y guarda los datos amontonados. Tiene una serie de funciones cuyo uso considerablemente facilita y acelera la preparación de los informes, lo cual definitivamente reduce los gastos relacionados con la preparación de la documentación y minimiza el riesgo de cometer errores.

Sonel Schematic es un programa para hacer bosquejos, planos y esquemas de instalaciones eléctricas.



Dibujo 20. Vista de una pantalla del programa Sonel Schematic

7. Servicios de laboratorio

El laboratorio de mediciones de la empresa SONEL S.A. ofrece los servicios siguientes relacionados con la medición de las magnitudes eléctricas:

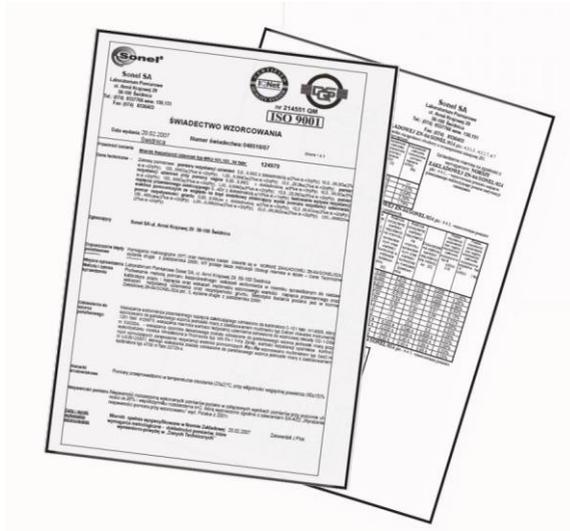
- certificado de calibración para medidores de la resistencia efectiva del aislamiento,
- certificado de calibración para medidores de la resistencia efectiva de puesta a tierra,
- certificado de calibración para medidores del bucle de cortocircuito,
- certificado de calibración para medidores de los parámetros de los interruptores diferenciales,
- certificado de calibración para medidores de pequeñas resistencias efectivas,
- certificado de calibración para medidores multifuncionales de los dispositivos citados,
- certificado de calibración para medidores de iluminación,
- certificado de calibración para pirómetros (medición de temperatura sin contacto),
- certificado de calibración para analizadores de cualidad de la energía eléctrica,
- certificado de calibración para cámaras de infrarrojos,
- certificado de calibración para voltímetros y amperímetros, etc.

El certificado de calibración es un documento que confirma la conformidad de los parámetros declarados por el fabricante del dispositivo estudiado con el estándar nacional, definiendo la incertidumbre de la medición.

Según la norma ISO 10012-1. Adjunto A – "Exigencias para garantizar la calidad del equipamiento de medición. Sistema de confirmación metrológica del equipamiento de mediciones" – la empresa SONEL S.A. recomienda aplicar para los dispositivos fabricados por ella un periódico control metrológico efectuado cada 13 meses.

Nota:

En caso de dispositivos empleados para ensayos relacionados con la protección antichoque, la persona que hace mediciones debe estar totalmente segura de la infalibilidad del medidor empleado. Las mediciones hechas con el medidor falible pueden influir en valoración errónea de la eficacia para la protección de salud e incluso la vida humana.



SONEL S.A.

Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Poland

Sección comercial:

Tlfn.: +48 74 85 83 862
fax +48 74 85 83 809
e-mail: k.lukaszczyk@sonel.pl

www.sonel.pl/es