

Instalaciones de puesta a tierra y protección de sistemas eléctricos

José Manuel de la Cruz Gómez

Profesor Titular de Escuela Universitaria
Politécnica de Almadén

Jacinto Gallego Calvo

Profesor Titular de Escuela Universitaria
Politécnica de Almadén

Tarsicio Trujillo del Campo

Profesor Titular de Escuela Universitaria
Politécnica de Almadén

ediciones  experiencia

© Ediciones Experiencia, S.L.

Edita: Ediciones Experiencia, S.L.
C/ Sant Eusebi, 53 - 1.º-2.ª
08006 Barcelona
Tel.: 93 200 23 09
Fax: 93 241 31 29
ediciones@edicionesexperiencia.com
www.edicionesexperiencia.com

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

La editorial no comparte obligatoriamente las opiniones expresadas en la obra. Ni el editor ni los autores aceptarán responsabilidades por las pérdidas ocasionadas a las personas naturales o jurídicas que actúen o dejen de actuar como resultado de ninguna información contenida en esta publicación.

Depósito legal: B. 11.125 - 2005

ISBN: 84-96283-19-4

Compone e imprime: Gràfiques 92, S.A., Avda. Can Sucarrats, 91
08191 - Rubí (Barcelona)

Impreso en España – Printed in Spain

Sumario

PRESENTACIÓN	9
1. SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	11
1.1. Código de letras.....	11
1.2. Esquemas de conexión.....	15
2. EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO	17
2.1. El cuerpo humano frente a la corriente eléctrica.	18
2.2. Efectos fisiopatológicos	21
2.3. Clasificación de los receptores eléctricos según protección contra contactos eléctricos	26
3. TOMA DE TIERRA	29
3.1. Generalidades	29
3.2. Toma de Tierra: definición.....	29
3.3. Tensión de defecto	30

3.4.	Tensión de contacto	31
3.5.	Intensidad de defecto	31
3.6.	Intensidad de contacto	31
3.7.	Cálculo de las tensiones e intensidades de defecto y contacto	32
3.8.	Embudo de tensiones	37
3.9.	Tensión de paso	38
3.10.	Justificación del empleo de las tomas de tierra..	39
4.	INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	41
4.1.	Partes que componen una instalación de tierra	41
4.1.1.	<i>Terreno</i>	41
4.1.2.	<i>Electrodo de puesta a tierra</i>	47
4.1.3.	<i>Conductor de tierra</i>	56
4.1.4.	<i>Borne o punto de puesta a tierra</i>	58
4.1.5.	<i>Conductor de protección (Línea principal de tierra)</i>	59
4.1.6.	<i>Conductor de unión equipotencial principal</i>	63
4.1.7.	<i>Conductor de unión equipotencial suplementaria</i>	63
4.1.8.	<i>Masas metálicas</i>	64
4.1.9.	<i>Elementos conductores</i>	64
4.2.	Consideraciones prácticas para mejorar la resistencia de la toma de tierra.....	65
4.3.	Revisiones de la toma de tierra	66
4.4.	Medida de la resistencia de la toma de tierra ..	67

5. MÉTODOS EMPLEADOS EN LA MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LA TOMA DE TIERRA.....	71
5.1. Método de los 4 terminales	71
5.2. Método de medida de la impedancia de bucle	72
6. ELEMENTOS A CONECTAR A LA TOMA DE TIERRA	75
6.1. Instalaciones domésticas.....	75
6.2. Instalaciones industriales	77
6.3. Pararrayos	78
6.3.1. Red conductora	78
6.4. Antenas de T.V y F.M.	79
6.5. Locales que contienen una bañera o ducha ..	80
6.6. Tomas de tierra en instalaciones provisionales de obra	82
6.6.1. Instalación	83
6.6.2. Elementos a conectar	83
7. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS A UTILIZAR	85
8. CONSEJOS Y MEDIDAS A TOMAR PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA BUENA TOMA DE TIERRA	89
8.1. Ubicación de los electrodos	89
9. SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA	91

9.1. Fundamentos	91
9.2. Molde	92
9.3. Mango	93
9.4. Cartucho.....	93
9.5. Pistola de ignición	94
9.6. Procedimiento	94
9.7. Tipos de soldadura	95
10. PROTECCIÓN DIFERENCIAL	97
10.1. Principio de funcionamiento	97
10.2. Interruptor automático diferencial.....	99
10.3. Tipos de interruptores diferenciales.....	102
10.4. Relé diferencial.....	103
10.5. Utilización de diferenciales.....	105
11. GUIA DE VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO ..	113
11.1. Verificación antes de la instalación.....	113
11.2. Verificación durante la instalación.....	113
11.3. Criterios de rechazo	114
11.3.1. Punto de puesta a tierra	114
11.3.2. Líneas de enlace	114
11.3.3. Líneas de tierra y conductores de protección	114
11.3.4. Electrodos	115
11.4. Mantenimiento de la puesta a tierra	116
11.5. Programa de mantenimiento.....	117
11.6. Algunos defectos en instalaciones de puesta a tierra	119

ANEXO I: INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS Y PUNTOS DE LAS I.T.C. DEL R.E.B.T. RELACIONADAS CON LA TOMA DE TIERRA....	121
ANEXO II: GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN	128
12. BIBLIOGRAFÍA	131
TERMINOLOGÍA	133

Presentación

El presente libro no pretende ser un estudio exhaustivo del tema de las tomas de tierra, sino dar una visión de conjunto, aclarar conceptos y sobre todo contribuir a darle la importancia que tiene este eficaz medio de protección.

Desde estas líneas queremos resaltar la importancia que tiene para la seguridad de las protecciones eléctricas alcanzar bajos valores de la resistencia de la toma de tierra y, aunque no es objeto de este estudio, combinarla con la protección diferencial, en los sistemas TT que son los más utilizados.

Hemos incluido un pequeño diccionario sacado del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión al final del libro, con objeto de que puedan consultarse los principales vocablos relacionados con la obra y se puedan tener a mano.

Hemos empezado describiendo los distintos regímenes de neutro, para posteriormente describir el sistema de toma de tierra, sus partes, su medida, ejecución, mantenimiento, etc.

Queremos insistir en la importancia de una eficaz toma de tierra y concienciar tanto a los profesionales como a cualquier otra persona que pueda leer esta obra, en la necesidad de ser rigurosos con el diseño, ejecución y mantenimiento de esta parte de la instalación que no por ser una parte pasiva ha de

tener menor importancia, un defecto en la misma es posiblemente un defecto que pase inadvertido durante mucho tiempo, pero cuando haya de producir los efectos para los que fue concebida esta protección, pueden pasar una factura demasiado elevada en lo que a la seguridad de personas, animales o bienes se refiere.

Esperamos por tanto contribuir a la mejor comprensión del tema tratado y como consecuencia de ello a la mejora de las instalaciones de toma de tierra.

1. SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

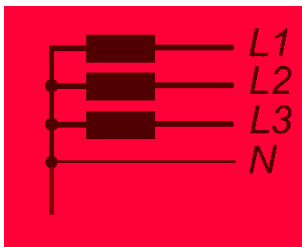
Se establecen tres esquemas de distribución en función de la conexión a tierra de la red de distribución o de alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora por otro.

1.1. Código de letras

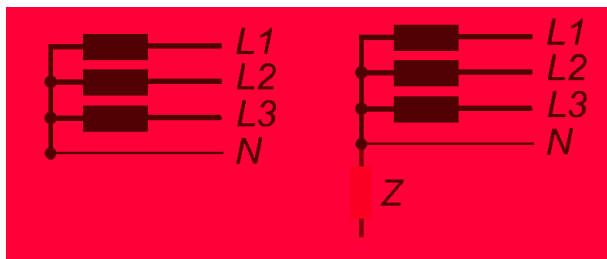
La denominación se realiza con un código de letras con el siguiente significado:

La primera letra se refiere a la situación del neutro de la alimentación con respecto a tierra y puede ser:

T = Conexión del neutro de la alimentación directamente a tierra.

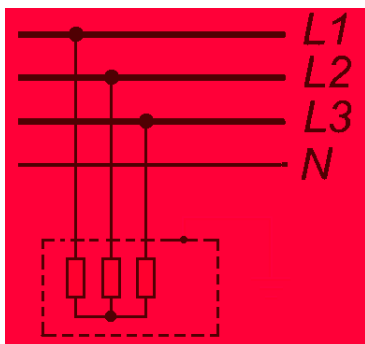


I = Neutro de la alimentación aislado de tierra o conectado a través de una impedancia.

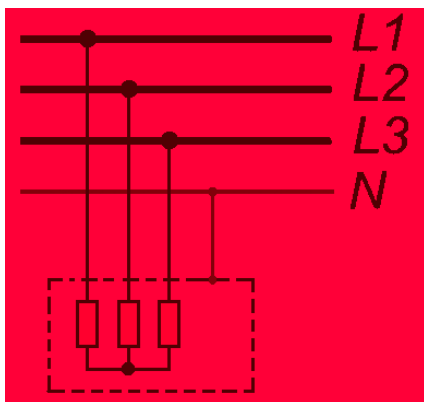


La segunda letra se refiere a la situación de las masas de la instalación receptora con relación a tierra y puede ser:

T = Masas conectadas directamente a tierra.

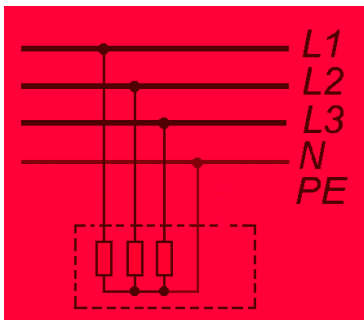


N = Masas conectadas directamente al neutro de la alimentación.

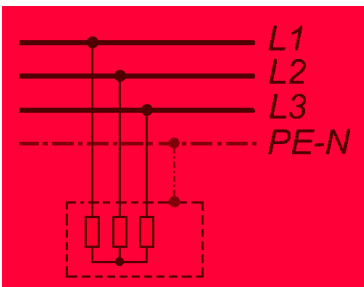


Puede haber una tercera letra referida a la conexión de neutro con las masas:

S = Cuando las masas se conectan a neutro y se toma un conductor independiente para el neutro de servicio y otro conductor distinto para esta conexión a las masas.



C = Cuando se utiliza un solo conductor tanto para el neutro de servicio como para las masas conectadas a neutro.

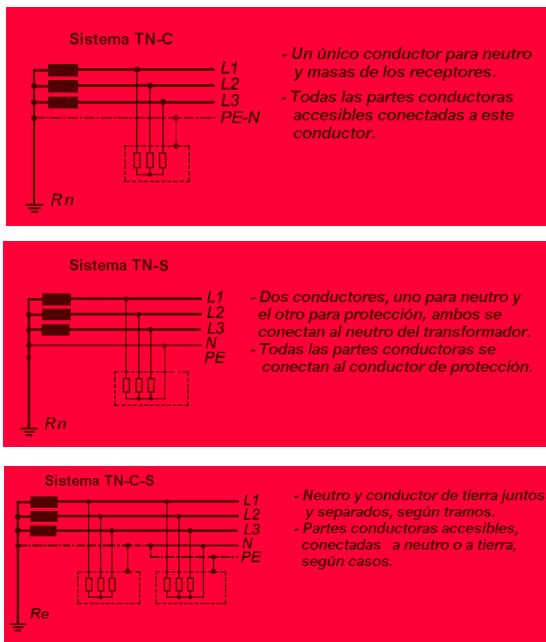


1.2. Esquemas de conexión

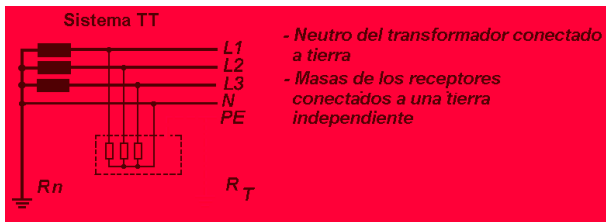
Esquema TN.

Neutro a tierra y masas a neutro.

Tres posibles sistemas:



Esquema TT



Esquema IT

Los sistemas más utilizados son el TT y en menor medida y solo para instalaciones especiales, el IT.



2. EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO

La corriente eléctrica al pasar por el cuerpo puede ocasionar diversas lesiones físicas, además de accidentes tales como golpes, caídas, etc., e incluso la muerte por fibrilación ventricular.

Los principales efectos son:

- Fibrilación ventricular
- Tetanización de los músculos
- Asfixia
- Quemaduras
- Otros efectos fisiopatológicos

Fibrilación ventricular: las fibras de los músculos del corazón se coordinan para producir el correcto funcionamiento del mismo, permitiendo el bombeo de la sangre por todo el cuerpo, pero si una intensidad de corriente atraviesa este músculo, en unas determinadas condiciones, lo suficientemente elevada y durante un tiempo determinado, esta coordinación de las fibras desaparece y el bombeo de sangre deja de producirse lo que ocasiona la muerte del sujeto en unos 4 minutos por falta de oxígeno en el cerebro.

Tetanización muscular: es la contracción involuntaria de los músculos, lo que puede provocar que el individuo quede afechado al elemento que le produce el contacto eléctrico, o bien salga despedido por la acción de una violenta contracción muscular.

Asfixia: se produce cuando la corriente eléctrica afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio.

Quemaduras: dependen de la densidad de corriente y del tiempo de exposición, y pasará desde un leve enrojecimiento de la piel, hasta su carbonización.

2.1. El cuerpo humano frente a la corriente eléctrica

Al circular la corriente por el cuerpo humano las lesiones generadas pueden revestir mayor o menor gravedad dependiendo de los siguientes factores.

Intensidad de corriente: el organismo actúa, al paso de la corriente, como un conductor cualquiera, según la ley de ohm.

$$\text{Intensidad} = \frac{\text{Tensión}}{\text{Resistencia}}$$

Valores entre 25 y 30 mA, en corriente alterna y la frecuencia de 50Hz, ya pueden provocar la muerte por asfixia. Mientras que, en corriente continua, se precisan intensidades superiores a 200 mA

Tiempo de contacto: la duración del paso de la corriente por el organismo tiene influencia en la gravedad de las lesiones

producidas por la corriente eléctrica. Si la corriente es de una gran intensidad, solo unas milésimas de segundo son suficientes para provocar la muerte.

Tensión: en condiciones normales la tensión de 50 voltios pueden considerarse inocuas para el organismo. En condiciones desfavorables, ambientes húmedos y/o conductores, esta tensión de seguridad se ve reducida a valores de 24 voltios.

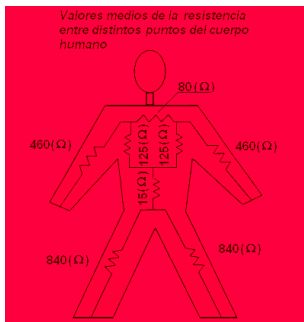
Resistencia corporal al paso de la corriente: la resistencia corporal es una variable importante a la hora de determinar cual es la peligrosidad de la corriente que circula por el organismo durante un contacto eléctrico. Una misma persona esta sujeta a grandes variaciones, tanto ambientales como personales:

- Trayectoria de la corriente.
- Superficie de contacto.
- Grado de humedad ambiental y de la piel (sudoración).
- Espesor y dureza de la piel.
- Presión de contacto.
- Edad.
- Sexo.
- Raza.
- Peso.
- Estado físico-patológico.
- Estado psíquico.

Frecuencia de la corriente: una corriente alterna de uso domestico, de 230 voltios 50 Hz, puede resultar cuatro o

cinco veces más peligrosa que la corriente continua de igual tensión.

Trayectoria de la corriente por el cuerpo: los accidentes resultarán de mayor gravedad si en el trayecto de la corriente se encuentran órganos vitales: pulmones, corazón, cerebro,...; que si el contacto, por el contrario, se produce entre los dedos de la mano.



Las descargas eléctricas que atraviesan el organismo en sentido transversal, de brazo a brazo, resultan menos peligrosas sobre el corazón que las que lo hacen en sentido longitudinal, sobre todo las de tipo ascendente.

Condiciones físico-patológicas del accidentado: de forma general, puede indicarse que en circunstancias normales, todas las personas no soportan igual una descarga eléctrica, y que, mientras están dormidas resisten mejor la corriente eléctrica que si se encuentran despiertas.

La edad, el sexo, la fatiga, el alcohol y el miedo –entre otros muchos factores– afectan la sensibilidad del cuerpo humano ante una descarga eléctrica.

2.2. Efectos fisiopatológicos

Efectos físicos: entre ellos destacan los efectos térmicos de la energía, así como los correspondientes a la fuerza y campos electromagnéticos.

La corriente eléctrica, al circular a través de cualquier objeto produce un aumento de temperatura que crece cuadráticamente con su magnitud, es decir, que cada vez que se duplica la corriente, se cuadruplica la energía producida, y esta corriente, dependiendo del material por el cual circule, puede causar desde un insignificante aumento en la temperatura de un alambre conductor hasta graves quemaduras en el cuerpo humano o un incendio en un bosque o en una edificación.

Por lo general, la cantidad de calor desprendido se encuentra relacionada con los parámetros físicos de la ley de Joule:

$$Q = 0{'}24 RI^2t$$

Calorías = $0{'}24 \times \text{Resistencia} \times \text{Intensidad}^2 \times \text{Tiempo}$.

El calor desprendido irá acompañado de quemaduras que pueden variar de una simple marca a extensas zonas carbonizadas, sobre todo en los accidentes provocados por arco voltaico, al producirse en ellos la destrucción en profundidad de músculos, nervios y huesos.

Los efectos fisiopatológicos de la corriente eléctrica en las personas, tetanización, quemaduras externas e internas,

fibrilación ventricular y paro cardiaco, dependen de diferentes factores como las características fisiológicas del ser humano afectado, el entorno húmedo o seco, y también las características de la corriente que atraviesa el cuerpo humano.

A continuación se muestran algunas definiciones y se presentan los efectos de la corriente en el cuerpo según la norma IEC 79-1 de 1984. (4):

Los efectos de la corriente son los siguientes:

a. Umbral de percepción: Es el valor mínimo de la corriente que causa alguna sensación para la persona atravesada por ella. Este depende de varios parámetros tales como: área del cuerpo en contacto, condiciones del contacto (seco - mojado - temperatura) y también de las características fisiológicas de las personas, en general se toma 0,5 mA.

También dependiendo del tipo de piel, por ejemplo en las orejas su valor es de 0,02 mA. y en la lengua de 0,045 mA.

Por debajo del umbral de percepción no se siente ninguna sensación.

b. Límite de control muscular (de no soltar): Es el valor máximo de corriente a la cual alguna persona agarrada a electrodos (parte energizada) puede desprenderse de ellos. Al igual que en a) dependen de los mismos parámetros.

El valor medio convencional de límite de control muscular adoptado es de 10 mA.

c. *Umbral de tetanización de los músculos respiratorios:* La contracción de los músculos respiratorios se va a producir a partir de los 25 mA. aproximadamente y desaparece inmediatamente que cesa el paso de la corriente.

d. *Umbral de fibrilación ventricular:* El período vulnerable abarca una parte comparativamente reducida del ciclo cardíaco (10 al 20%), durante el cual las fibras del corazón están en estado no homogéneo de excitabilidad y la fibrilación ventricular ocurre si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de suficiente valor. La relación entre la corriente que pasa por el corazón y el tiempo máximo de duración, para que el choque eléctrico no produzca fibrilación ventricular (probabilidad menor del 5%), viene dada por la fórmula

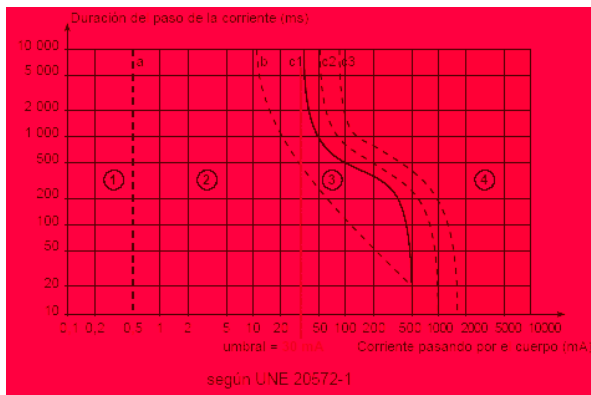
$$I = \frac{80}{\sqrt{t}}$$

I = Corriente eficaz en mA.

t = Tiempo de contacto en segundos.

La fibrilación ventricular es la causa principal de muerte por shock eléctrico, pero esta también se produce por asfixia o paros cardiacos.

La corriente eléctrica tiene efectos sobre el cuerpo humano, posteriores al momento de su descarga. Se han observado efectos pasados 6 meses en hombros y riñones por descargas recibidas a través de la mano.



Curva de Tiempo / Corriente, de efectos de la corriente sobre las personas (15 a 100 Hz.).

En la figura 1, se ha dividido por zonas los efectos de la corriente ante diferentes duraciones de paso por el cuerpo humano.

Estas zonas de efectos fisiológicos comprenden:

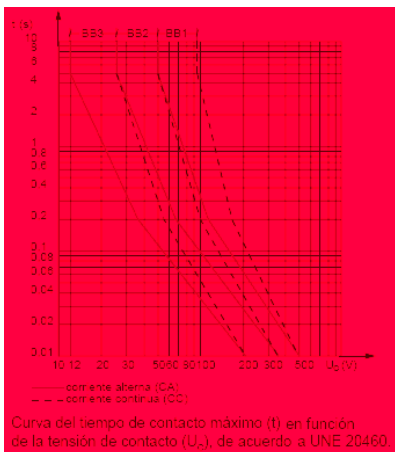
Zona 1: Normalmente sin reacción.

Zona 2: Usualmente sin efectos fisiológicos.

Zona 3: Usualmente no se esperan daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultad en la respiración, disturbios reversibles de impulsos en el corazón. Paros cardiacos transitorios sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.

Zona 4: En adición a los efectos de la Zona 3, la probabilidad de fibrilación ventricular se incrementa hasta un 5% sobre (curva C2), y hasta un 50% (curva C3), y arriba de un 50% por encima de la curva C3. Los efectos de paros cardiacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de la corriente y el tiempo.

Por otra parte el estado de humedad condiciona, también, el tiempo máximo de exposición a la corriente eléctrica como puede verse en la gráfica, siendo BR1 locales secos, BR2 locales húmedos y BR3 locales mojados. La asíntota de cada una de las curvas, es la máxima tensión de seguridad en cada uno de los ambientes citados o sea 12 V. para BR3, 25 V. para BR2 y 50 V. para BR1.



Efectos químicos: de todos ellos, los más destacables son los cambios electrolíticos que puede desencadenar el paso de la corriente continua durante una duración bastante prolongada, provocando incluso la muerte por embolia gaseosa.

Efectos biológicos: se caracterizan fundamentalmente por modificaciones en estructuras excitables:

- Contracturas musculares.
- Trastornos neurológicos y renales.
- Alteraciones cardiovasculares.
- Trastornos sensoriales, oculares y auditivos.

2.3. Clasificación de los receptores eléctricos según su protección contra contactos eléctricos

En el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión se especifican las condiciones de utilización de los receptores, en función de su «Clase» y de las características de los locales donde sean instalados.

CLASIFICACIÓN DE LOS RECEPTORES SEGÚN SU PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ELÉCTRICOS

	Características principales de los aparatos	Precauciones de seguridad
Clase 0	Sin medios de protección por puesta a tierra (la protección se basa solamente en el aislamiento funcional).	Se necesita un entorno aislado de tierra
Clase I	Previstos medios de conexión a tierra (mediante un conductor de protección).	Conectar a la toma de tierra de protección
Clase II	Aislamiento de protección suplementario pero sin medios de protección por puesta a tierra.	No es necesaria ninguna otra protección
Clase III	Previstos para ser alimentados con muy bajas tensiones de seguridad (MBTS).	Conexión a muy baja tensión de seguridad

Esta clasificación no implica que se pueda utilizar cualquiera de dichos tipos de receptor. Las condiciones de seguridad pueden imponer restricciones al uso de alguna de estas clases

A modo de ejemplo:

- Las herramientas eléctricas portátiles manuales utilizadas en obras o emplazamientos muy conductores, deben ser de Clase III. (ITC-BT-47 del REBT).
- En emplazamientos donde puedan formarse atmósferas explosivas, la instalación y los equipos eléctricos utilizados deben cumplir los requisitos de la ITC-BT 29 del REBT así como el RD 400/1996, de 1 de marzo, sobre aparatos y sistemas de protección para uso en las atmósferas potencialmente explosivas.

Después de todo lo visto en relación con la peligrosidad de la corriente eléctrica, es obligado tomar unas ciertas medidas para procurar que estos efectos negativos no se produzcan.

Entre las medidas adoptadas para mitigar estos efectos perniciosos, se encuentra la toma de tierra.

3. TOMA DE TIERRA

3.1. Generalidades

En electricidad, al planeta Tierra en su conjunto se le considera como que tiene un potencial igual a cero (0 V), por lo que a la Tierra en sí misma, o a cualquier conductor conectado a ella se le llama “TIERRA” (earth, ground). El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) define la “TIERRA”, como: *“Masa conductora de la tierra en la que el potencial eléctrico en cada punto se toma, convencionalmente igual a cero”*. Comúnmente se representa por la sigla GND o en algunos instrumentos por las letras E ó G.

3.2. Toma de tierra

Definición

La toma de tierra es una conexión eléctrica de las partes metálicas de un receptor o elementos pasivos de una instalación (por ejemplo un poste eléctrico), a un electrodo en forma de pica, placa o conductor enterrado a una determinada profundidad, con objeto de igualar el potencial eléctrico de estos elementos con el terreno, que es el medio por el que una fuga de corriente, consecuencia de un fallo del aislamiento, se transmite. Si conectamos estas masas a tierra mediante un conductor de baja resistencia eléctrica, una fuga de corriente pasará preferentemente por este conductor y no a través de

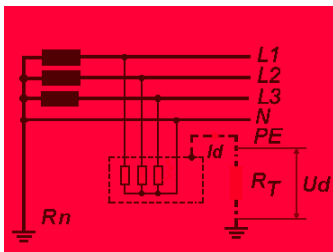
una persona o animal, que en contacto con el suelo y con mayor resistencia eléctrica, pudiera tocar esta parte metálica puesta en tensión accidentalmente y estando estos en contacto con el terreno.

Se conectarán a tierra todas las partes metálicas accesibles susceptibles de ponerse a potencial eléctrico ante un fallo del aislamiento.

Para comprender los efectos que en un sistema eléctrico tiene la conexión a tierra, veremos los siguientes conceptos:

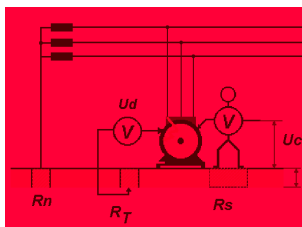
3.3. Tensión de defecto

Es la tensión que aparece (U_d), entre la parte metálica del receptor y la toma de tierra a través de sus electrodos, cuando ocurre un defecto de aislamiento. La intensidad de defecto (I_d) sólo viene limitada por el valor de la resistencia de tierra (R_T) y la resistencia del propio defecto, que generalmente se supone despreciable (defecto franco).



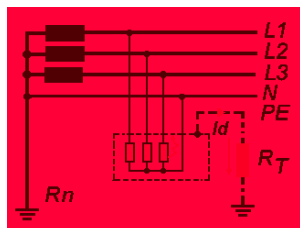
3.4. Tensión de contacto

Es la tensión a la que se vería sometida una persona que tocase simultáneamente dos partes en las que por un fallo de aislamiento se ha establecido una tensión de defecto.



3.5. Intensidad de defecto

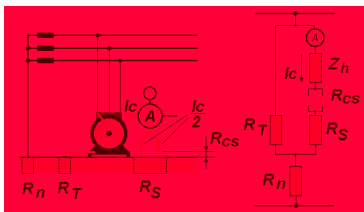
Valor que alcanza la intensidad de corriente que circula por un circuito de defecto como consecuencia de un fallo de aislamiento.



3.6. Intensidad de contacto

Valor alcanzado por la intensidad de corriente que circula a través de una persona que toca simultáneamente dos partes

sometidas a una tensión de contacto por fallo de aislamiento. Depende, además de la tensión de contacto U_c , de la impedancia corporal de la persona Z_h que toca estas partes, de la resistencia de contacto con el suelo R_{cs} y de la propia resistencia del suelo R_s .

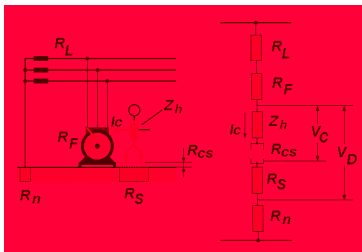


3.7. Cálculo de las tensiones e intensidades de defecto y contacto

a) Contacto con una masa puesta accidentalmente en tensión y que no está conectada a tierra:

El peor de los casos es que la masa esté aislada de tierra, en cuyo caso la persona que toque la masa en tensión se encuentra sometida a la tensión de defecto y por su cuerpo circulará la intensidad de contacto I_c . Trataremos de aclararlo con un ejemplo:

Supongamos un defecto franco a una masa ($R_F=0$), que está alimentada a una ten-



sión de 230 V. y que los valores de las resistencias que intervienen en el circuito de defecto tienen los siguientes valores:

$$R_L = 0,30 \, \Omega.$$

$$R_F = 0 \, \Omega.$$

$$Z_h = 2.500 \, \Omega.$$

$$R_{cs} = 0 \, \Omega.$$

$$R_S = \text{Dos supuestos } 1.000 \, \Omega. \text{ para suelo conductor y } 50.000 \, \Omega. \text{ para suelo no conductor.}$$

$$R_n = 5 \, \Omega.$$

Primer supuesto suelo conductor: La intensidad de defecto valdrá

$$I_D = \frac{V}{R} = \frac{230}{0,3 + 0 + 2.500 + 0 + 1.000 + 5} = 0,0657 \, \text{A.} = 65,7 \, \text{mA.}$$

La intensidad de contacto I_C será igual que la de defecto I_D (no hay otro camino para derivar la intensidad ya que el receptor está aislado de tierra).

La tensión de defecto será:

$$V_D = I_D \cdot (Z_h + R_{cs} + R_S) = 0,0657(2.500 + 0 + 1.000) = 229,9 \, \text{V.}$$

La tensión de contacto será:

$$V_C = I_C \cdot (Z_h) = 0,0657 \cdot 2.500 = 164,25 \, \text{V.}$$

Esto quiere decir que la persona que toque accidentalmente este elemento, está sometida a una tensión de 164,25 V. y a través de ella pasará una corriente de 65,7 mA.

Segundo supuesto suelo aislante: La intensidad de defecto valdrá

$$I_d = \frac{V}{R} = \frac{230}{0,3 + 0 + 2.500 + 0 + 50.000 + 5} = 0,00438 \text{ A.} = 4,38 \text{ mA.}$$

La intensidad de contacto y la intensidad de defecto serán iguales por el mismo motivo que en el caso anterior.

La tensión de defecto V_d será:

$$V_d = I_d (Z_h + R_{cs} + R_s) = 0,00438 (2.500 + 0 + 50.000) = 219 \text{ V.}$$

La tensión de contacto V_c será:

$$V_c = I_c \cdot (Z_h) = 0,00438 \cdot 2.500 = 10,95 \text{ V.}$$

En esta nueva situación, la persona está sometida a una tensión de 10,95 V. y pasará por ella una intensidad de 4,38 mA.

En el primer caso el contacto podría ser muy peligroso, sin embargo en el segundo caso no sería nada peligroso.

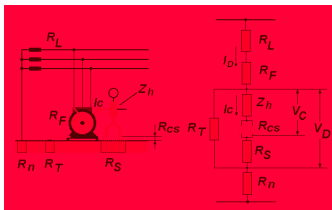
Este mismo razonamiento sirve para suelo conductor pero la persona aislada del mismo por calzado de seguridad, banqueta aislante o cualquier otro procedimiento que interponga un elevado aislamiento.

b) Contacto con una masa puesta accidentalmente en tensión que sí está conectada a tierra:

La diferencia con el caso anterior es que la corriente tendrá

una doble trayectoria, la puesta a tierra del receptor y la persona.

Con los mismos valores que en el ejemplo anterior y el nuevo de la resistencia de la toma de tierra:



$$R_L = 0,30 \, \Omega.$$

$$R_F = 0 \, \Omega.$$

$$Z_h = 2.500 \, \Omega.$$

$$R_{CS} = 0 \, \Omega.$$

R_S = Dos supuestos $1.000 \, \Omega$. para suelo conductor y $50.000 \, \Omega$.
Para suelo no conductor.

$$R_n = 5 \, \Omega.$$

$$R_T = 20 \, \Omega.$$

Primer supuesto suelo conductor: La intensidad de defecto valdrá

$$I_D = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_L + R_F + \frac{1}{\frac{1}{R_T + (Z_h + R_{CS} + R_S)}} + R_n} = \frac{V}{R_L + R_F + \frac{R_T \cdot (Z_h + R_{CS} + R_S)}{R_T + (Z_h + R_{CS} + R_S)} + R_n}$$

$$= \frac{230}{0,30 + 0 + \frac{20 \cdot (2.500 + 0 + 1.000)}{20 + 2.500 + 0 + 1.000} + 20} = \frac{230}{0,30 + \frac{70.000}{3.520} + 20} = 5,72 \, \text{A.}$$

Ahora la intensidad de contacto será la que deriva por la rama formada por la persona:

Calculemos primero V_D :

$$V_D = I_D \cdot \frac{R_T \cdot (Z_h + R_{CS} + R_s)}{R_T + (Z_h + R_{CS} + R_s)} = 5,72 \cdot \frac{20 \cdot (2.500 + 0 + 1.000)}{20 + 2.500 + 0 + 1.000} = 5,72 \cdot \frac{70.000}{3.520} = 113,75 \text{ V.}$$

De aquí deducimos la intensidad de contacto, I_C

$$I_C = \frac{V_D}{(Z_h + R_{CS} + R_s)} = \frac{113,75}{3.500} = 0,0325 \text{ A.} = 32,5 \text{ mA.}$$

Y la tensión de contacto V_C

$$V_C = I_C \cdot (Z_h + R_{CS}) = 0,0325 \cdot 2.500 = 81,25 \text{ V.}$$

Segundo supuesto, suelo aislante: La intensidad de defecto I_D valdrá:

$$\begin{aligned} I_D = \frac{V}{R} &= \frac{V}{R_L + R_F + \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{1}{(Z_h + R_{CS} + R_s)}} + R_n} = \frac{V}{R_L + R_F + \frac{R_T \cdot (Z_h + R_{CS} + R_s)}{R_T + (Z_h + R_{CS} + R_s)} + R_n} = \\ &= \frac{230}{0,30 + 0 + \frac{20 \cdot (2.500 + 0 + 50.000)}{20 + 2.500 + 0 + 50.000} + 20} = \frac{230}{0,30 + \frac{1.050.000}{52.520} + 20} = 5,71 \text{ A.} \end{aligned}$$

Calculemos V_D :

$$V_D = I_D \cdot \frac{R_T \cdot (Z_h + R_{CS} + R_s)}{R_T + (Z_h + R_{CS} + R_s)} = 5,71 \cdot \frac{20 \cdot (2.500 + 0 + 50.000)}{20 + 2.500 + 0 + 50.000} = 5,71 \cdot \frac{1.050.000}{52.520} = 114,16 \text{ V.}$$

La intensidad de contacto I_c :

$$I_c = \frac{V_D}{(Z_h + R_{CS} + R_s)} = \frac{114,16}{52.500} = 0,00217 \text{ A.} = 2,17 \text{ mA.}$$

Y la tensión de contacto V_C :

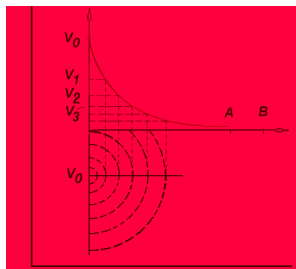
$$V_C = I_c \cdot (Z_h + R_{CS}) = 0,00217 \cdot 2.500 = 5,42 \text{ V.}$$

El hecho de disponer de una aceptable toma de tierra disminuye la tensión y la intensidad de contacto.

Con este mismo procedimiento se pueden calcular otras trayectorias como si además la persona con la otra mano tocara un elemento conductor puesto a tierra, por ejemplo una viga una tubería etc., sin más que componer el circuito correspondiente añadiendo las nuevas trayectorias.

3.8. Embudo de tensiones

Cuando por un electrodo deriva una intensidad de defecto, en sus proximidades se establece una densidad de corriente mayor que en puntos más alejados. Esto ocurre porque la sección es mucho más pequeña a medida que nos acercamos al electrodo (con igual intensidad de



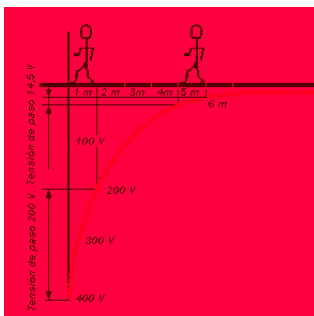
Embudo de tensión alrededor de un electrodo.
A y B puntos de potencial 0

corriente a menor sección, mayor densidad de corriente) y a la inversa, lo que da origen a una curva de tensión como la representada en la figura. El potencial va disminuyendo a medida que nos alejamos del electrodo y a una distancia de unos 20 m., podemos decir que ya no se manifiestan los efectos de la fuga, osea que el potencial en esos puntos ya es cero.

3.9. Tensión de paso

En las proximidades del electrodo, y siempre que se esté disipando un defecto a tierra, existirá por tanto un potencial elevado, por lo que una persona insuficientemente aislada (calzado conductor o descalza) o un animal que caminen cerca de él, pueden verse sometidas a una diferencia de potencial elevado entre ambos pies y en el caso de

los animales, entre extremidades delanteras y traseras, lo que hará circular una corriente que puede ser peligrosa, más en los animales al encontrarse el corazón en el circuito por el que circulará esta corriente.



3.10. Justificación del empleo de las tomas de tierra

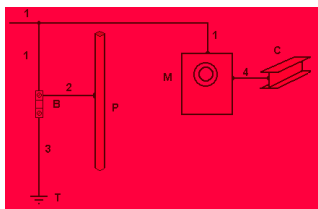
La toma de tierra pretende igualar el potencial de todo elemento conductor pasivo, susceptible de ponerse en tensión accidentalmente, con el potencial de otras partes accesibles simultáneamente que está a potencial cero y lo van a seguir estando a pesar del defecto, para evitar que pueda circular por una persona o animal una corriente de defecto, o que si circula, sea lo suficientemente baja como para que no produzca consecuencias graves.

4. INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

4.1. Partes que componen una instalación de tierra

Se consideran nueve partes diferenciadas:

- Terreno
- Electrodo de puesta a tierra
- Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra (3)
- Borne principal de tierra (B)
- Conductor de protección (1)
- Conductor de unión equipotencial principal (2)
- Conductor de unión equipotencial suplementaria (4)
- Masas metálicas (M)
- Elementos conductores (C)



4.1.1. Terreno

El terreno es el encargado de absorber y conducir la corriente de defecto o de fuga.

Debe estar en íntimo contacto con los electrodos para disminuir lo más posible la resistencia eléctrica de este contacto, lo que facilitará el paso de esta corriente y disminuirá la tensión de contacto.

En el circuito de la toma de tierra, es el elemento de más alta resistencia eléctrica.

Dependiendo del tipo de terreno, se tendrán distintas resistencias.

4.1.1.1. Resistividad del terreno

Resistividad; característica de cada material, que nos dará una idea de la dificultad que ofrece ese material al paso de la corriente eléctrica.

Un terreno queda definido por su resistividad aparente.

4.1.1.2. Factores que modifican el valor de la resistividad

El valor de la resistividad, varía con diferentes factores, de los cuales los más importantes son:

- Naturaleza del terreno.
- Contenido en sales.
- Humedad.
- Temperatura.

El más determinante y sobre el que no se puede actuar es el primero.

4.1.1.3 Naturaleza del terreno

La resistividad de un terreno se define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de esa tierra de 1 m de arista; esta resistividad depende de la composición de la misma.

ρ = Resistividad ohm.m

R= Resistencia ohm

S = Sección mm²

L = Longitud en m.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Las tablas siguientes, publicadas en el REBT, instrucción ITC-BT-18 dan a modo de orientación, valores de la resistividad de algunos terrenos.

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohm.m
Terrenos pantanosos Limo Humus Turba húmeda	De algunas unidades a 30 20 a 100 10 a 150 5 a 100
Arcilla plástica Margas y arcillas compactas Margas del Jurásico	50 100 a 200 30 a 40
Arenas arcillosas Arena silícea Suelo pedregoso cubierto de césped Suelo pedregoso desnudo	50 a 500 200 a 3000 300 a 500 1.500 a 3.000
Calizas blandas Calizas compactas Calizas agrietadas Pizarras Rocas de mica y cuarzo	100 a 300 1.000 a 5.000 500 a 1.000 50 a 300 800
Granitos y gres procedente de alteración Granito y gres muy alterado	1.500 a 10.000 100 a 600

Valores orientativos de la resistividad en función del terreno

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno.

Electrodo	Reistencia de Tierra en ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/P$
Conductor enterrado horizontal	$R = 2 \rho/P$
ρ, resistividad del terreno en ohm.m P, perímetro de la placa en m. L, longitud de la pica o del conductor en m.	

Fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo.

4.1.1.4. Contenido en sales

La corriente se establece a través de los electrolitos formados por las sales y el agua contenida en el terreno; cuanto mayor es el contenido en sales de un terreno, menor es su resistividad.

4.1.1.5. Humedad

La resistividad de un terreno, varía considerablemente con la humedad del mismo; a mayor humedad, menor resistividad, variando mucho hasta el 15% de humedad y más lentamente a partir de este valor.

El agua facilita la disociación de las sales en iones positivos y negativos que son los portadores de corriente eléctrica.

4.1.1.6. Temperatura del terreno

Cuando la temperatura baja por debajo de 0°C , el agua se congela y la disociación de las sales no es posible, por lo que aumenta la resistividad del terreno.

Cuando la temperatura es elevada, el agua se evapora y por tanto se pierde humedad, aumentando también la resistividad.

Por lo tanto, los electrodos, deben estar a la profundidad necesaria para que los cambios de temperatura de la superficie, les afecten lo menos posible.

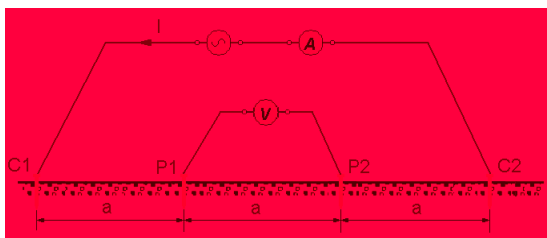
4.1.1.7. Medida de la resistividad del terreno

Si queremos efectuar un cálculo correcto de la toma de tierra se hará previamente un estudio del terreno, consistente en medir su resistividad o resistencia específica.

La medida de la resistividad se efectúa con cuatro electrodos, inyectando corriente alterna en lugar de corriente continua, para evitar los efectos de electrolisis que pueden afectar considerablemente los resultados. En el par de picas que se utilizan para inyectar la corriente alterna, C1 y C2, llamadas también picas de corriente, se coloca un amperímetro. Otro par de picas, P1 y P2, llamadas de tensión, se colocan en medio de las picas de corriente a la separación adecuada para medir la caída de tensión que produce la corriente que se ha inyectado en el terreno. La relación de ambas medidas, tensión e intensidad, nos dará el valor de la resistencia del terreno, por tanto directamente proporcional a la resistividad.

Su valor viene expresado en $\Omega \cdot m$.

El esquema de principio se representa en la figura



a = máximo 20 veces la longitud de los electrodos

La resistividad valdrá:

$$\rho = 2 \pi a \frac{U}{I}$$

U = Tensión entre los electrodos P1 y P2

I = Corriente inyectada por el generador de corriente alterna y medida por el amperímetro.

ρ = Resistividad del terreno.

Para más exactitud en los resultados es conveniente repetir las medidas en varias direcciones y a ser posible con ángulos de 90° y 180°. Posteriormente se hace la media de todas las medidas obtenidas.

4.1.2. Electrodo de puesta a tierra

Es el elemento que une la instalación de protección con el terreno.

Se efectúa por medio de elementos conductores enterrados, llamados electrodos.

4.1.2.1. Electrodos

Elementos conductores en contacto íntimo con el terreno, encargados de difundir a tierra las corrientes de fuga, formados por:

- Barras (picas), tubos.
- Pletinas, conductores desnudos.
- Placas.
- Anillos o mallas metálicas constituidas por los elementos anteriores o sus combinaciones.
- Armaduras de hormigón enterradas con excepción de las armaduras pretensadas.
- Otras estructuras enterradas que se demuestre son apropiadas.

Los mas empleados son:

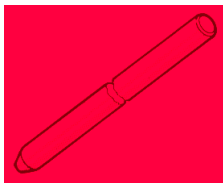
- Pica
- Placa
- Cables enterrados

Picas

Electrodos en forma de barra con punta, para facilitar el ser hincada al terreno en posición vertical.

Se fabrican en:

- acero galvanizado de 25 mm de diámetro.
- perfiles de acero galvanizado de 60 mm de lado como mínimo.
- barras de cobre o acero recubierto de cobre de 14 mm como mínimo.



La longitud en todos los casos es al menos de 2 metros.

El valor de la resistencia de paso a tierra será:

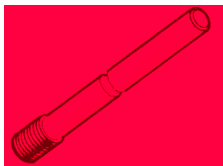
$$R = \frac{\rho_a}{L}$$

Donde ρ_a es la resistividad aparente del terreno.

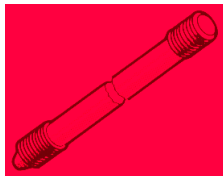
De todos ellos, el más utilizado es el de pica de acero cobreado de 14 mm de diámetro.

Se emplean dos formas de instalación de las picas, picas en profundidad y picas en paralelo.

La primera, emplea picas especiales, con punta de acero y cabeza roscada para que con un manguito se pueda ir empalmando con otra que son roscadas en sus dos puntas.



Pica roscada en uno de sus extremos



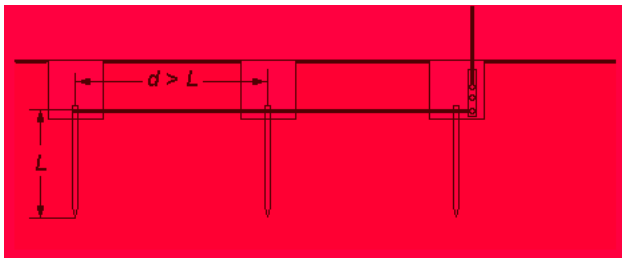
Pica roscada en sus dos extremos para más profundidad

Estas picas sólo se pueden emplear en terrenos exentos de roca y además se necesitan máquinas apropiadas para clavarlas a partir de la segunda.

Instalaciones de puesta a tierra y protección de sistemas eléctricos

El segundo sistema, es el más utilizado, mucho más simple y consiste en instalar tantas picas en paralelo como sean necesarias hasta conseguir la resistencia deseada. Se tendrá en cuenta que la separación entre ellas sea mayor que su longitud ($d_{\text{mínima}} \geq 1,5 \cdot L$) y se unirán entre sí con cable de cobre desnudo enterrado de 35 mm^2 .

Conductor desnudo en cobre de 35 mm^2



Placas

Es un electrodo en forma rectangular o cuadrada que se entierra en forma vertical.

Tiene un mínimo de 2 mm de espesor si son de cobre y 2,5 mínimo, si son de hierro galvanizado.

La superficie mínima será de $0,5 \text{ m}^2$. Se suele utilizar de $0,5 \times 1 \text{ m}$ o de $1 \times 1 \text{ m}$.

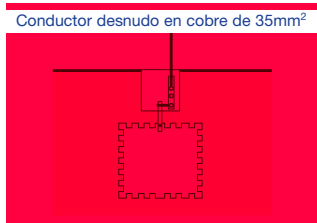
El valor de la resistencia de paso a tierra será:

$$R = 0,8 \frac{\rho_a}{P}$$

Siendo ρ_a = resistividad aparente del terreno.

P = perímetro de la placa.

Para aumentar el perímetro, en ocasiones se recorta la placa en forma de almenas o se le dan cortes próximos, doblando ligeramente la placa entre los cortes alternativamente contrarios.



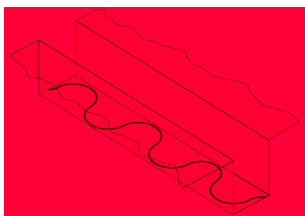
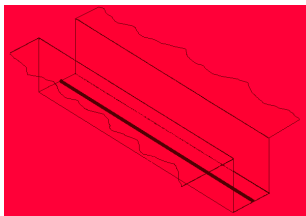
Su instalación requiere practicar un hoyo en el terreno, lo suficientemente profundo para que la arista superior de la misma quede como mínimo a 0,5 m de profundidad; deberá quedar vertical y se rellena el hoyo con arcilla fina que permita un contacto, mas perfecto entre terreno y placa, lo que mejorará la resistencia de paso a tierra.

La separación entre placas de una misma toma de tierra, será al menos de 3 m.

Se conectará con la línea de enlace con tierra mediante soldadura aluminotérmica.

Cable enterrado

Es un electrodo formado por cables, pletinas, flejes, etc, desnudos y enterrados horizontalmente, debajo de las cimentaciones de los edificios.



Los materiales más utilizados son:

- cobre macizo o en cable, de 35 mm² mínimo.
- pletina de cobre la misma sección y 2 mm de espesor o de acero galvanizado de 95 mm² de sección.
- alambre de acero cobreado, de 20 mm² de sección y si es de cobre, 6 mm² de sección.

El valor de la resistencia de paso a tierra será:

$$R = 2 \frac{\rho_a}{L}$$

por lo tanto la resistencia disminuye con la longitud.

Se instala en zanjas practicadas en el terreno, debiendo quedar a una profundidad mínima de 0,5 m, tomando las precauciones necesarias para que labores de arado, etc, no puedan dañarlas, así como las heladas que aumentan considerablemente la resistividad del terreno.

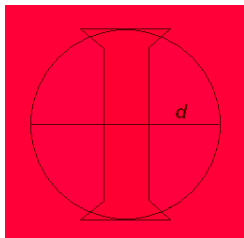
La separación mínima entre dos zanjas contiguas de una misma toma de tierra será de 5 m.

Este sistema se utiliza mucho, debajo de los cimientos de una edificación.

Vigas metálicas

Si están introducidas en el terreno verticalmente, se comportan como una pica de diámetro igual al del círculo cuyo diámetro es igual al peralte de la viga.

El valor de la resistencia de paso a tierra será:



$$R = 0,366 \frac{\rho_a}{H} \log \frac{3h}{d}$$

Como en los casos anteriores:

ρ_a = resistividad aparente del terreno.

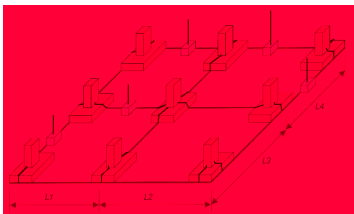
d = diámetro del cilindro que contiene a la viga.

h = profundidad de la parte enterrada de la viga.

Cimentaciones de hormigón

Se emplean en edificios con cimentaciones de hormigón armado, realizado en obra.

Se deben soldar entre sí los redondos y todos los pilares con cable desnudo de cobre de 35 mm^2 con soldadura aluminotérmica formándose así, una red equipotencial.



El valor de la resistencia de paso a tierra será:

$$R = 0,2 \frac{\rho_a}{V}$$

V = volumen de la cimentación enterrada.

La resistividad del hormigón varía mucho con la profundidad, por eso es preferible, a efectos de la resistividad, colocar esta cimentación a una profundidad tal que no se vea afectada por estos cambios de humedad, con lo que conseguiremos variaciones aceptables.

4.1.2.2. Resistencia de la toma de tierra

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella, en cada caso.

Este valor de resistencia será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V. en locales o emplazamientos conductores.
- 50 V. en los demás casos.

4.1.2.3. Elementos que intervienen en el valor de la resistencia de tierra

El circuito de protección o circuito de toma de tierra, en su mayor parte está constituida por conductores de cobre, por lo tanto de baja resistencia eléctrica y los propios electrodos, que si no son de cobre, también se consideran de baja resistencia, por lo que el valor de la resistencia eléctrica de una toma de tierra, viene dado fundamentalmente por el contacto entre electrodo y terreno y en menor grado, pero también importante, por la naturaleza del terreno. Este último, aunque sea poco conductor tiene a su favor para disminuir la resistencia eléctrica el hecho de que es de sección prácticamente infinita.

Si se consigue una perfecta conexión entre electrodo y tierra, se habrá conseguido disminuir considerablemente la resistencia de la toma de tierra; esto se logra por varios procedimientos, entre ellos, podemos citar:

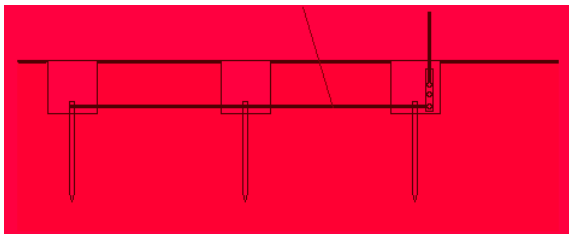
Usando electrodos en forma de picas, se practica un sondeo previo de mayor diámetro que el electrodo, rellenándolo de una tierra finísima, como por ejemplo bentonita y colocando después el electrodo con lo que se aprovecha toda la superficie del electrodo. Si el contacto es con polvo, habrá millones de partículas en contacto con el electrodo, si fuesen piedras o grava, solo algunas aristas tocarán al electrodo, aumentando enormemente la resistencia eléctrica. De esta manera podemos decir que un electrodo rígido y de una sección determinada, le hemos transformado en otro de mayor superficie de contacto (por tener más diámetro) y que se adapta perfectamente a la superficie del taladro practicado en el terreno, la densidad de corriente en la superficie de contacto disminuye, la caída de tensión también será menor facilitándose por tanto la difusión de la corriente de fuga a tierra.

Otro procedimiento de instalar las picas y disminuir su resistencia de contacto es el de clavar ésta en el terreno por medio de martillos percutores, utilizando la pica como barrera, lo que evita el abocardamiento del taladro que se produce al golpear el electrodo con mazas donde es inevitable la vibración y por lo tanto la dilatación del orificio, disminuyendo la superficie de contacto con el terreno. El martillo percutor por el contrario proporciona una penetración progresiva y uniforme.

4.1.3. Conductor de tierra

También llamado de línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra. Es el cable que une entre sí todos los electrodos, y éstos con el punto de puesta a tierra.

Conductor de tierra

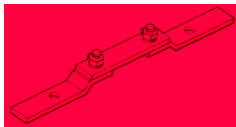


- Será de cobre u otro metal de alto punto de fusión.
- Deberá soportar sin fundirse, la temperatura alcanzada al circular por él, la máxima corriente de defecto de la instalación, así como todos sus empalmes o conexiones.
- Según la ITC-BT-18 las secciones mínimas convencionales de los conductores de tierra o líneas de enlace con el electrodo de puesta a tierra son:
 - Si están protegidos contra la corrosión y sin protección mecánica la sección será 16 mm^2 . tanto en Cobre como en Acero Galvanizado.
 - Si están protegidos contra la corrosión y con protección mecánica (por ejemplo mediante una envolvente) serán:
 - Igual a la sección de los conductores de fase, si estos conductores son $\leq 16 \text{ mm}^2$.
 - 16 mm^2 , si la sección de fase está entre 16 y 35 mm^2 inclusive.
 - La mitad de la sección de los conductores de fase si la sección de éstos conductores es $>35 \text{ mm}^2$.

- Si no están protegidos contra la corrosión, la sección será 25 mm^2 para cobre y 50 mm^2 para hierro.
- Debe extremarse el cuidado en la realización de las uniones entre conductores de tierra y electrodos de tierra para que resulten eléctricamente correctas y que las conexiones no dañen ni a los conductores ni a los electrodos de tierra.

4.1.4. Borne o punto de puesta a tierra

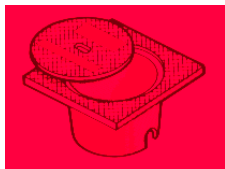
A él se unen: el conductor de tierra que viene de la toma de tierra (electrodos); los conductores de protección que unen eléctricamente las masas de una instalación; los conductores de unión equipotencial principal que unen eléctricamente la canalización metálica principal de agua y los de puesta a tierra funcional que aseguran el funcionamiento correcto de los equipos.



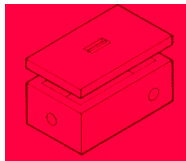
Se encuentra fuera del terreno, accesible y protegido.

Es recomendable alojarlo en una arqueta de dimensiones adecuadas, fabricada con ladrillo macizo de 12 cm de espesor con una resistencia mecánica de 100 kg/cm^2 y con tapa de hormigón con una resistencia mecánica de 175 kg/cm^2 que impide su descubrimiento accidental.

También hay en el mercado arquetas prefabricadas



Arqueta de fundición



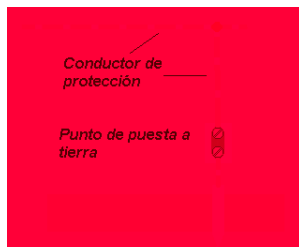
Arqueta de hormigón armado

El punto de puesta a tierra será de cobre cadmiado de 33 cm de largo, 2,5 cm de ancho y 4 mm de espesor, apoyado sobre materiales aislantes para evitar difusiones locales a tierras que puedan ser peligrosas.

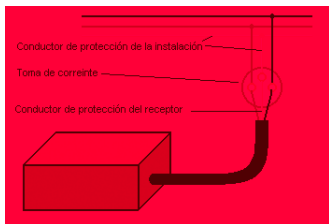
Puede cumplir también la misión de ser el punto de seccionamiento de la instalación de tierra (condición indispensable que este seccionamiento se tenga que hacer con un útil) y así permitir efectuar las medidas de la resistencia de tierra.

4.1.5. Conductor de protección (Línea principal de tierra)

Sirve para unir eléctricamente las masas o partes metálicas de una instalación a tierra y ponerlas, por lo tanto, a potencial cero. Es el equivalente a una fase o hilo activo de una instalación eléctrica pero perteneciente al circuito de protección.



Una toma de corriente fija llevará el cable de protección de la instalación y la clavija que ha de conectarse a esta toma de corriente llevará el cable de protección del receptor, conectado a la masa metálica de este, de manera que haya continuidad desde esta masa hasta la misma toma de tierra.



Se pueden utilizar como conductores de protección:

- Conductores en los cables multiconductores.
- Conductores aislados o desnudos con una envolvente común con los conductores activos.
- Conductores separados desnudos o aislados.
- Revestimientos metálicos como envolturas, pantallas, armaduras, etc., de ciertos cables.
- Conductos metálicos u otras envolventes metálicas para los conductores.
- Ciertos elementos conductores.

La sección de los conductores de protección la podemos elegir de la tabla siguiente en función de la sección que tenga el conductor de fase, siempre que los conductores de protección sean del mismo material que los de fase, o de no ser así la determinaremos de forma que presenten una conductividad equivalente a la que resulta aplicando la tabla:

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Cuando un conductor de protección sea común a varios circuitos, su sección debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase, y si no forman parte de la canalización de alimentación deberán ser de cobre con una sección mínima de 2,5 mm² si disponen de protección mecánica y de 4 mm² si no disponen de ella.

Si los cables de la instalación van alojados dentro de envolventes montadas en fábrica o en canalizaciones prefabricadas con envoltorio metálica, se pueden utilizar estas envolventes como conductores de protección si cumplen simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- Que su conductividad eléctrica no resulte alterada como consecuencia de deterioros mecánicos, químicos o electroquímicos.
- Que su conductividad sea como mínimo igual a la de la sección deducida de la tabla anterior.
- Deben permitir la conexión de otros conductores de protección en toda derivación predeterminada.

También se puede utilizar como conductor de protección la cubierta exterior de los cables con aislamiento mineral, si satisfacen simultáneamente las dos primeras condiciones anteriores.

No pueden utilizarse sin embargo como conductores de protección conductos gas. Las canalizaciones de agua tampoco deben utilizarse porque normalmente no satisfacen las condiciones citadas anteriormente.

Para la correcta conservación y continuidad de los conductores de protección deben cumplirse una serie de condiciones:

- Deben estar convenientemente protegidos contra deterioros mecánicos, químicos y electroquímicos y contra los esfuerzos electrodinámicos.
- Las conexiones deben ser accesibles para la verificación y ensayos, excepto en el caso de las efectuadas en cajas selladas con material de relleno o en cajas no desmontables con juntas estancas.
- No puede ser intercalado ningún aparato en el conductor de protección, aunque para los ensayos podrán utilizarse conexiones desmontables mediante útiles adecuados.
- No deben conectarse en serie las masas de los equipos a unir con los conductores de protección, con excepción de las envolventes montadas en fábrica o canalizaciones prefabricadas mencionadas anteriormente.

4.1.6. Conductor de unión equipotencial principal

Une eléctricamente el borne principal de tierra con la canalización principal de agua, si es metálica, con objeto de poner ésta última al potencial de tierra.

Su sección no será inferior a la mitad del conductor de protección de sección mayor de la instalación, con un mínimo de 6 mm^2 , aunque si es de cobre puede ser reducida a $2,5 \text{ mm}^2$.

4.1.7. Conductor de unión equipotencial suplementaria

Une eléctricamente las masas, o envolventes metálicas de los receptores con elementos conductores de la instalación tales como tuberías vigas etc.

La sección estará en función de que conecte dos masas o una masa y un elemento conductor. Como las masas estarán conectadas a tierra mediante un conductor de protección de una sección determinada, si se unen entre sí dos masas mediante este conductor de equipotencialidad, la sección de este conductor será como mínimo igual a la sección del conductor protección menor de estas masas y si une una masa a un elemento conductor, será como mínimo igual a la sección del conductor de protección de la masa.

Caso de no formar parte de la canalización su sección debe ser al menos de: $2,5 \text{ mm}^2$ si disponen de una protección mecánica y 4 mm^2 si no disponen de protección mecánica.

La unión equipotencial suplementaria puede estar asegurada, bien por elementos conductores no desmontables, como armazones metálicas, bien por conductores suplementarios, o por combinación de los dos.

4.1.8. Masas metálicas

Se consideran las envolventes metálicas de los receptores eléctricos, las cuales pueden ponerse en tensión accidentalmente, por un fallo en el aislamiento.

Son las principales destinatarias de las tomas de tierra ya que son las que más riesgo de ponerse en tensión tienen de todo el circuito y consecuentemente poner en peligro a los usuarios de las mismas.

4.1.9. Elementos conductores

Se consideran todos los elementos que pueden derivar a tierra una corriente eléctrica que les llegue y además que no formen parte del circuito, por ejemplo las estructuras metálicas de los edificios.

Las conexiones equipotenciales pondrán en comunicación eléctrica estos dos últimos elementos.

4.2. Consideraciones prácticas para mejorar la resistencia de la toma de tierra

- Los electrodos se colocarán en el terreno que reúna las mejores condiciones de conductividad, alejándose de obstáculos, caminos, terraplenes, etc.
- La tierra de menos resistividad es la vegetal y después la arcilla, a ser posible con elevado grado de humedad (y mejor que esta humedad proceda de aguas sucias).
- Alejarse de arena, grava y rocas.
- El agua pura es mala conductora, mejora su conductividad con la disolución de sales.
- Evitar poner los electrodos en pozos y patios estrechos que puedan producir potenciales peligrosos.
- Colocar tubos que permitan regar el terreno en época de sequía.
- La congelación del terreno aumenta mucho la resistencia, por lo que se instalará los electrodos lo suficientemente profundos para evitarla.
- Agregar periódicamente al terreno, sal común, sulfato de cobre, sulfato de magnesio etc.
- Poner los electrodos en contacto con carbón vegetal o grafito en polvo.
- Existen geles que mejoran la conductividad.
- En algunos terrenos, las capas profundas son más resistentes que las superficiales, por lo que se emplearán varios electrodos cortos o a menor profundidad. Si la resistencia disminuye con la profundidad, se instalarán electrodos largos.
- La resistencia disminuye cuando el contacto del elec-

trodo con el terreno es muy íntimo; un electrodo en contacto con grava, será malo, pues sólo algunos puntos de las piedras, tocarán el electrodo, mientras que si se hace con arcilla muy fina, la superficie de contacto es muchísimo mayor y la resistencia disminuirá considerablemente.

- Si se emplean picas, la forma de clavarlas, influye muchísimo; si se clava a golpes de mazo, el orificio se abocarda por culpa de las vibraciones del electrodo al ser golpeado; si se clava con máquina de percusión, el orificio que se va haciendo, no se abocarda y la superficie de contacto del electrodo con el terreno es mucho mayor y uniforme en toda su longitud.
- Evitar el contacto directo de las sales que se añadan con los electrodos ya que pueden corroerlos.

4.3. Revisiones de la toma de tierra

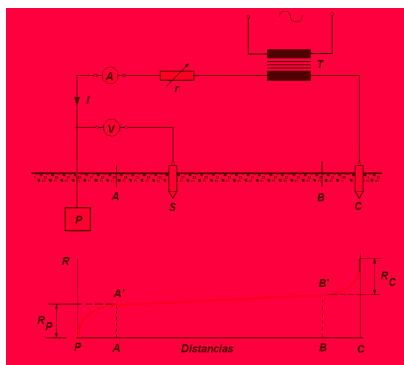
Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por el *Director de la Obra* o *Instalador Autorizado* en el momento de dar de alta la instalación para su puesta en marcha o en funcionamiento.

Una vez al año y en la época en la que el terreno esté más seco, se hará una comprobación del estado de la toma de tierra por personal técnicamente competente, midiendo además la resistencia eléctrica de la toma de tierra y efectuando las reparaciones con carácter de urgencia, todos los defectos que pudieran encontrarse. Si el terreno es agresivo con los

electrodos, éstos y los cables de conexión con ellos, habrán de descubrirse cada 5 años, para su revisión o sustitución en el caso de que se encuentren deteriorados.

4.4. Medida de la resistencia de la toma de tierra

El circuito representado en la figura sería un método elemental para la medida de resistencias de tierra y nos permite sacar una serie de conclusiones que veremos seguidamente:



P sería el electrodo a medir.

C el electrodo auxiliar, separado de P unos 20 m.

S el electrodo sonda que podremos ir variando de posición.

T es un transformador de, por ejemplo, 110 V. y 400 VA.

r es una resistencia variable de 20 Ω . 5 A.

El transformador suministra una intensidad **I** que circula de **P** a **C** a través del terreno, intensidad que será medida por el amperímetro. Si vamos colocando la sonda **S** en distintos puntos entre **P** y **C**, el voltímetro marcará la diferencia de potencial entre **P** y **S**. Para cada punto obtenemos el valor $R = \frac{V}{I}$ que se refleja en el gráfico de la figura, en función de la distancia entre **P** y **S**.

De esto deducimos que:

- Manteniendo constante la intensidad **I**, la resistencia variará de la misma manera que lo haga la tensión **V** porque

$$R = \frac{V}{I}.$$

- Si tocamos el electrodo **P** (pica) con el **S** (medida de tensión), el voltímetro marcará 0 V. Lógicamente no habrá diferencia de potencial, pero la tensión irá aumentando (de la manera que indica la gráfica de la figura) a medida que nos alejamos del electrodo hasta un punto **A**, a partir del cual, la relación

$$R = \frac{V}{I} \text{ se mantiene prácticamente constante.}$$

- Llegando al punto **B** con el electrodo **S**, entramos en la zona de influencia del electrodo **C** aproximándonos al valor final de la tensión aplicada que será la que suministra el transformador. La tensión en esta parte, junto al electrodo **C**, vuelve a comportarse como en el primer tramo, según puede verse en la figura.

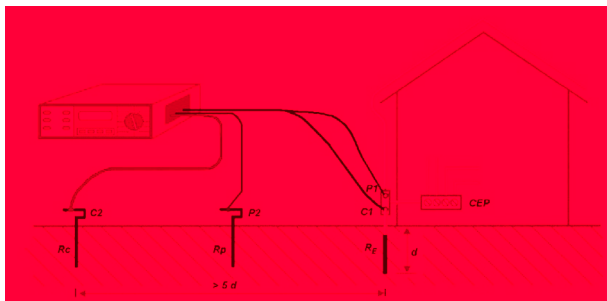
- Si alargamos la distancia **P - C**, sólo conseguimos alargar el tramo **A' - B'** del gráfico y a la inversa, si lo acortamos, haríamos coincidir **A'** con **B'**, por tanto el electrodo **S** deberá estar colocado siempre en el tramo **A - B** y de esta manera estaremos midiendo muy aproximadamente **R_p**. Habitualmente se coloca en la mitad, equidistante de ambos electrodos.

Los tramos **P - A** y **B - C**, son las zonas de influencia de los electrodos, en los que el potencial decrece a medida que nos alejamos de ellos.

R_p en el dibujo será por tanto, el valor de la resistencia de la toma de tierra **P**, porque **R_c** corresponderá a la resistencia del otro electrodo **C**.

5. MÉTODOS EMPLEADOS EN LA MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LA TOMA DE TIERRA

5.1. Método de los 4 terminales

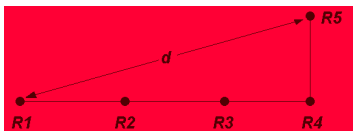


Se realiza la medida de la tensión entre **P1** electrodo de la instalación y **P2** electrodo auxiliar de tensión del aparato y de la intensidad inyectada entre **C1** que es el electrodo de la instalación y **C2** o electrodo auxiliar del aparato, dando el resultado $R_E = U/I$.

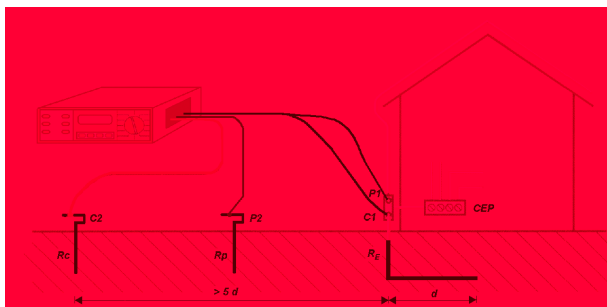
En algunos instrumentos se puede efectuar la medida sin desconectar la instalación del electrodo de tierra, lo que facilita mucho la operación.

Los electrodos de medida del aparato se colocan en línea recta con una separación total, mayor de 5 veces la longitud del electrodo a medir.

Si el electrodo a medir estuviese compuesto por varios electrodos, la distancia d , sería la mayor entre ellos.



Si fuese un cable enterrado, el montaje sería el mismo, pero en este caso d sería la longitud del cable enterrado horizontalmente.



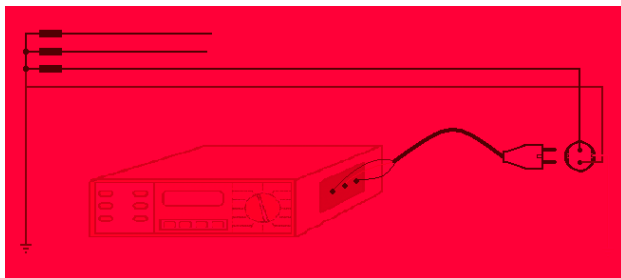
5.2. Método de medida de la impedancia de bucle

Algunos instrumentos de medida permiten medir la impedancia de bucle o circuito formado por el conductor de fase, el conductor de protección, la toma de tierra, el terreno, la toma

Métodos empleados en la medida de la resistencia de la toma de tierra

de tierra del neutro y el conductor que une ésta con el transformador o neutro del mismo.

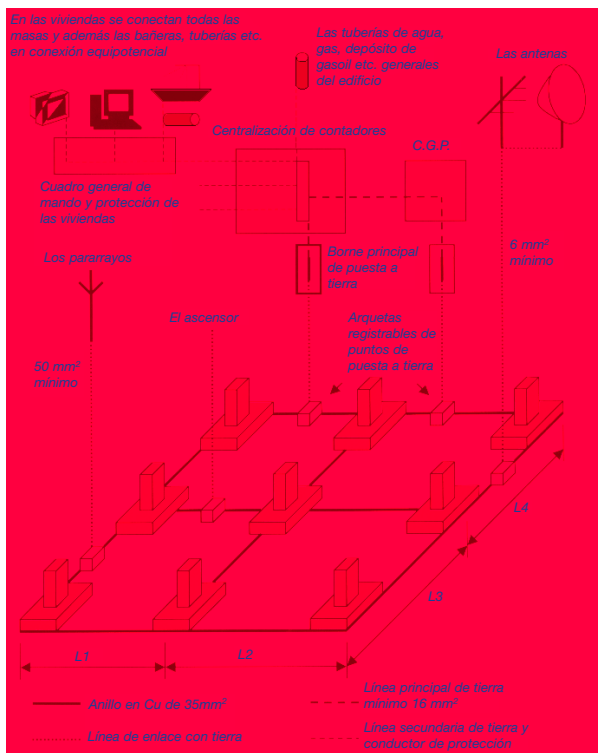
Con este procedimiento, el instrumento mide la resistencia de todo el circuito mencionado, en el que los mayores valores corresponden a las dos tomas de tierra, la del neutro y la de la instalación. Se suele considerar este valor igual o inferior a $37 \, \Omega$, ya que con este criterio conseguimos que un defecto a tierra limitado a una intensidad de 650 mA., no ocasionará en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a , $V = R \cdot I = 37 \cdot 0,650 = 24 \, V.$, que es la tensión máxima de defecto que se admite en locales especialmente problemáticos en cuanto al riesgo de electrocución como por ejemplo los mojados.



6. ELEMENTOS A CONECTAR A LA TOMA DE TIERRA

6.1. Instalaciones domésticas

A la toma de tierra, se conectará todo elemento metálico importante, existente en la zona de la instalación, y las masas metálicas accesibles de los aparatos receptores, cuando su clase de aislamiento o condiciones de instalación, así lo exijan.



Elementos a conectar a la toma de tierra

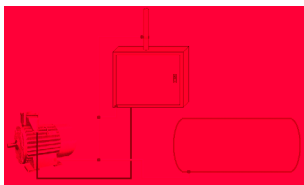
- Las instalaciones de fontanería, calefacción, gas canalizado, depósitos metálicos, calderas, etc.
- Guionaje metálico de los ascensores.
- Instalaciones de pararrayos.
- Instalaciones de antenas colectivas de TV y FM.
- Redes equipotenciales de cuartos de baño.
- Toda masa o elemento metálico de importancia.
- Estructuras metálicas y armaduras de muros y soportes de hormigón.
- Todos los circuitos de las instalaciones domésticas, deberán llevar el cable de protección, incluidos los de alumbrado.

El REBT, en su ITC-BT-18, determina el circuito de toma de tierra.

6.2. Instalaciones industriales

Se seguirá el mismo criterio que en las domésticas y además se conectarán

- Partes metálicas de las máquinas.
- Cuadros metálicos de mando y protección.
- Canalizaciones eléctricas metálicas.



- Depósitos metálicos, calderas, etc.
- Postes metálicos y las armaduras de los de hormigón.
- En general, toda parte metálica que forme parte de una máquina o receptor, que pueda ser susceptible de ponerse accidentalmente en tensión.

6.3. Pararrayos

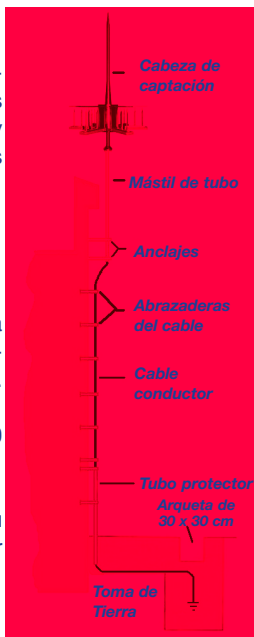
Entendemos por pararrayos, las instalaciones destinadas a captar las descargas eléctricas atmosféricas y derivarlas a tierra, minimizando los efectos destructivos de éstos.

6.3.1. Red conductora

Es el conductor que une la cabeza del pararrayos o cabeza de captación con el punto de puesta a tierra.

El cable será de cobre rígido de 50 mm² como mínimo.

La instalación será vista en todo su recorrido y fijada a fachada por medio de soportes aislados.



Se protegerá en la superficie del terreno a 2 m de altura mediante un tubo de acero galvanizado de 40 mm de diámetro.

Los empalmes se harán con soldadura aluminotérmica.

Las curvas tendrán un radio mínimo de 20 cm y una abertura angular no superior a 60 grados.

La resistencia eléctrica del cable, desde la cabeza hasta el punto de puesta a tierra, será como máximo de 2Ω .

6.4. Antenas de T.V y F.M.

Si la vivienda posee pararrayos, las antenas de TV y FM deben quedar instaladas dentro del volumen de protección del pararrayos en forma cónica y a una distancia mínima del mismo de 5 m.



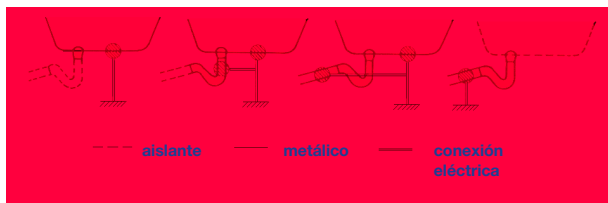
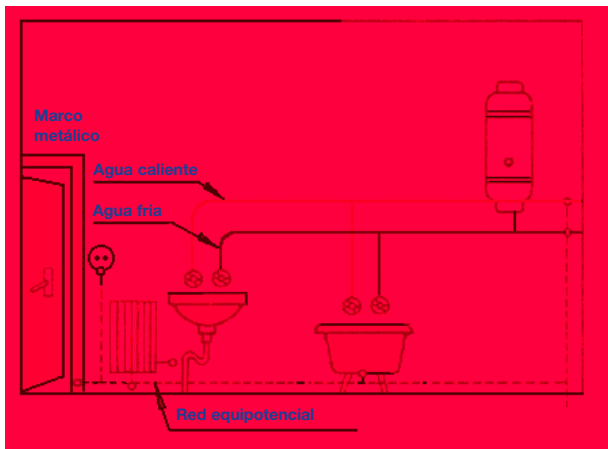
Los mástiles de las mismas se conectarán a tierra mediante soldadura de alto punto de fusión, mediante un conductor de 6 mm^2 de sección como mínimo.

Se deberá conectar, así mismo, el amplificador de la antena a tierra, utilizando el propio mástil.



6.5. Locales que contienen una bañera o ducha

En los locales que contienen bañera o ducha, se debe unir el conductor de protección con un conductor suplementario que una las partes metálicas accesibles de los distintos volúmenes 0, 1, 2 y 3 que considera el R.E.B.T a su I.T.C -BT-27.



Estas partes metálicas externas y accesibles pueden ser:

- Canalizaciones metálicas de los servicios de suministro y desagüe, de agua, gas,...

- Canalizaciones metálicas de calefacción centralizadas y sistemas de aire acondicionado.
- Partes metálicas accesibles de las estructuras del edificio; las masas metálicas de puertas, ventanas y similares, no se consideran partes externas accesibles a no ser que estén conectadas a la estructura metálica del edificio, en cuyo caso si se conectarán a tierra.
- Otras partes conductoras externas del edificio, susceptibles de transferir tensiones y que sean accesibles.

El conductor con el que se realice la red equipotencial, ha de ser de cobre y de sección igual a la de los cables de alimentación de la instalación eléctrica; la unión a las partes metálicas ha de hacerse por medio de soldadura aluminotérmica y en su defecto por medios de conexión seguros y apropiados.

6.6. Tomas de tierra en instalaciones provisionales de obra

Se considera la instalación eléctrica necesaria para realizar la obra y que una vez finalizada la misma, se pueda retirar e inclusive utilizar en otra obra.

Por su provisionalidad y condiciones adversas de instalación, supone un peligro potencialmente mayor que las definitivas.

Es fundamental su revisión con periodicidad de 3 días para detectar deficiencias que pueden producir accidentes mortales.

Las condiciones de humedad hacen aún más peligroso el posible accidente.

Los cables están muy propensos a sufrir desgarros en su aislamiento y manipulaciones, por personas no especializadas.

6.6.1. Instalación

Se instalará una toma de tierra que se procurará sea la definitiva del edificio, pero si no, se hará con el número de electrodos suficiente para que su resistencia de difusión a tierra no sea superior a 80Ω .

Generalmente, la instalación será tendida sobre el terreno, evitando los lugares con paso de maquinaria o dotando a éstas de protección mecánica adecuada.

En los sistemas TT, la tensión de contacto no será superior a 24V en c.a ó 60 en c.c.

Se complementa con interruptor diferencial de 30 mA de sensibilidad.

6.6.2. Elementos a conectar

Se conectará a tierra:

Todas las máquinas eléctricas que no posean doble aislamiento.

- Las grúas.
- Los grupos de soldadura.
- Hormigoneras.
- Cortadores.
- Pequeñas herramientas eléctricas que no posean doble aislamiento.
- Aparatos de alumbrado.

Si la instalación de tierra no es la misma que la definitiva, se deberán poner electrodos independientes en cada una de las máquinas fijas además del cable de protección que deberá ir integrado en el cable de alimentación con una sección igual que las de fase.

Se adoptará como sección de la línea principal de tierra, 35 mm² en cobre.

También se montará un electrodo independiente en el cuadro general de mando y protección.

7. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELECTRODOS A UTILIZAR

Queremos averiguar el número de picas a utilizar en una instalación de toma de tierra en anillo, con electrodos en forma de picas, de 2 m de longitud, para una instalación que además de los aparatos normales, lleva un pararrayos por lo que, según la NORMA TECNOLÓGICA DE LA EDIFICACIÓN, la resistencia de la toma de tierra ha de tener un valor de 15Ω . y 37Ω si no lo llevase.

Mediremos la resistividad del terreno preferentemente y en el caso de que no pueda efectuarse esta medida, se recurre a las tablas del reglamento si se conoce la naturaleza del terreno.

La medida la resistividad del terreno, nos da $700 \Omega \cdot m$.

La longitud del anillo formado por el conducto de tierra es de 40 m.

Utilizando las fórmulas de las tablas facilitadas anteriormente, se tiene que para conductores enterrados es:

$$R = 2 \frac{\rho}{L} = 2 \cdot \frac{700}{40} = 35 \Omega$$

El hecho de tener esa cantidad de conductor enterrado ya nos da 35Ω ., que podría ser suficiente si no tuviésemos pararrayos, pero en nuestro caso hemos de conseguir 15Ω .

Con relación a tierra, el anillo forma una resistencia y las picas otra, ambas resistencias están en paralelo respecto al conductor de tierra, porque aunque los conductores y las picas están conectados entre si y podría parecer que están en serie, la resistencia de los conductores y la de las picas es despreciable frente a la de tierra y estas si están en paralelo.

Al estar en paralelo resulta:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{anillo}}} + \frac{1}{R_{\text{picas}}}} \quad \text{como } R_T = 15 \text{ y } R_{\text{anillo}} = 35, \text{ sustituimos}$$

$$15 = \frac{1}{\frac{1}{35} + \frac{1}{R_{\text{picas}}}}; \quad 15 \left(\frac{1}{35} + \frac{1}{R_{\text{picas}}} \right) = 1; \quad \frac{15}{35} + \frac{15}{R_{\text{picas}}} = 1;$$
$$\frac{15}{R_{\text{picas}}} = 1 - \frac{15}{35}; \quad \frac{15}{R_{\text{picas}}} = 0,57; \quad R_{\text{picas}} = \frac{15}{0,57} = 26,32 \Omega.$$

De la fórmula de la resistencia de picas en paralelo

$$R = \frac{\rho}{L}, \text{ en nuestro caso al haber más de una pica } R = \frac{\rho}{NL},$$

N el número de picas

$$R_{\text{picas}} = \frac{\rho}{NL}; \quad 26,32 = \frac{700}{N \cdot 2}; \quad N = \frac{700}{2 \cdot 26,32} = 13,29 \approx 14 \text{ picas.}$$

Si dividimos los 40 m. del perímetro del anillo, por las 14 picas nos da una distancia entre picas de 2,86 m., que aun-

que sería suficiente, no llegaría al doble de la longitud de la pica, por lo que habría influencia entre ellas y podría, en caso de descargas, aumentar la resistencia y hacerse ineficaz, recomendándose que la distancia entre picas de 2 metros de longitud, sea al menos de 4 m., estimándose que a esta distancia, la influencia entre ellas es despreciable.

8. CONSEJOS Y MEDIDAS A TOMAR PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA BUENA TOMA DE TIERRA

Para obtener unos valores adecuados de la resistencia de la toma de tierra, es preciso seguir una serie de recomendaciones, tanto para su ubicación como para su conservación en estos valores.

8.1. Ubicación de los electrodos

1. Elegir una zona para la colocación lo más conductora posible.
2. Tener presente que los muros y las formaciones rocosas, son barreras para la difusión de la corrientes de fuga, por lo tanto hay que evitarlos.
3. Buscar espacios abiertos, evitando pozos, patios etc.
4. Evitar el contacto con el agua ya que generalmente ésta es mala conductora, solo conduce bien si lleva sales en disolución.
5. Evitar zonas que por la erosión puedan dejar al descubierto los electrodos.
6. En terrenos buenos conductores, la distancia mínima entre la toma de tierra de la instalación y la de un centro de

transformación será de 15 m., en terrenos malos conductores se deberá aumentar esta distancia.

7. Hay instalaciones que producen corrientes vagabundas al tener uno de los polos en contacto con tierra, tales como metro tranvías etc., por lo que deberán alejarse los electrodos de tierra de estas instalaciones.
8. Los empalmes deberán realizarse con soldadura aluminio-térmica o autógena.

9. SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA

La malla de tierra es una instalación de seguridad y protección, por lo tanto se tiene que ejecutar para que no tenga averías en su vida, y normalmente es inaccesible, no pudiendo por tanto recibir mantenimiento ni ser inspeccionada salvo en casos muy especiales que por ser realizadas en terrenos muy agresivos, se deben inspeccionar cada 8 años. Por lo tanto, los empalmes, las derivaciones y conexiones deben de ser soldadas. Estas soldaduras cumplirán varias condiciones:

- Tener un alto punto de fusión, ya que al producirse un defecto franco a tierra, podría dar lugar a que se fundiese la conexión, dejando la malla abierta y anulando su eficacia.
- Contar con una buena conductividad, ya que de lo contrario sería un aumento de su resistencia.
- La soldadura debe ser simple en su realización y fiable.

El reglamento de baja tensión contempla la posibilidad de que esta soldadura sea aluminotérmica o autógena. Siendo la autógena de difícil ejecución, ya que los cables están compuestos por varios conductores.

9.1. Fundamentos

La soldadura aluminotérmica, aprovecha la alta temperatura que se desarrolla en la reacción provocada por la reducción del óxido de cobre por el aluminio. La reacción tiene lugar en el interior de un molde-crisol de grafito, en el que previamente

te se han introducido las piezas a soldar; el metal resultante de la reacción aluminotérmica, en estado de fusión, fluye sobre ellas, fundiéndolas y formando una masa compacta y homogénea.

En la reacción química, se reduce óxido de cobre mediante aluminio en polvo:



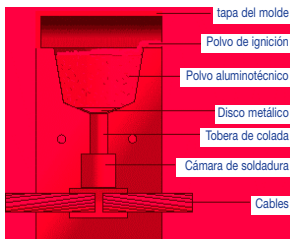
Esta es una reacción de tipo exotérmico, es decir, se produce con desprendimiento de calor.

El aluminio le roba el oxígeno al óxido de cobre, resultando cobre metálico y sesquióxido de aluminio. El calor desprendido en la reacción funde el cobre metálico, que constituirá el metal de aportación, como lo es el electrodo usado en la soldadura de arco eléctrico. El óxido de aluminio también funde y, por su menor densidad, sobrenadará sobre el cobre fundido.

9.2. Molde

Es una pieza paralelepípeda de grafito, dividida en tres partes:

- Crisol; donde se produce la reacción
- Tobera; por donde bajará el cobre fundido



- Cámara de soldadura; donde el cobre en estado líquido, envolverá los extremos de los elementos a soldar.

Su duración media, en condiciones normales de utilización es de 70-100 soldaduras. Una tapa metálica protege de las proyecciones en el momento de la ignición.

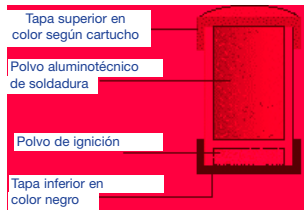
9.3. Mango

El mango o tenaza es una herramienta que nos servirá para abrir y cerrar el molde, a la vez que será el soporte de manejo, ya que tras la soldadura, la temperatura del molde es muy alta.



9.4. Cartucho

Llamamos cartucho tanto al material de aportación de soldadura, como a su envase. Este es una caja cilíndrica de plástico, en cuyo interior se encuentra la masa de aportación, compuesta principalmente por óxido de cobre, aluminio en polvo y feldespatos. En la tapa inferior se aloja la masa de igni-



ción, compuesta fundamentalmente por fósforo rojo, peróxido de bario y aluminio micronizado.

9.5. Pistola de ignición

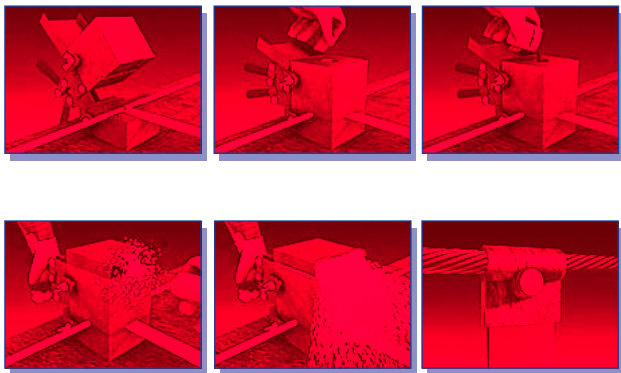
Con ella conseguimos, mediante la proyección de una chispa, incendiar la masa de ignición, lo cual provocará la reacción aluminotérmica una vez que se haya realizado el procedimiento de carga de la soldadura.

Para realizar la soldadura, la primera operación es fijar el molde al mango e introducir los cables o pletinas al molde, vertiendo sobre el crisol la masa de aportación y la de ignición.

9.6. Procedimiento

La ejecución física de la soldadura es muy sencilla.

- Se fija el molde al mango, se introducen los cables o pletinas por sus taladros correspondientes del molde.
- Se cierra el mango, que permanecerá en esta posición, gracias a su especial diseño.
- Se coloca el disco en le fondo del crisol, y sobre él, se vierte la masa de aportación contenida en el cartucho, dejando una pequeña cantidad en el borde del molde.
- Con la pistola de ignición proyectamos una chispa sobre esta porción de polvo que hemos colocado en el borde del molde.

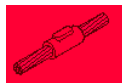


9.7. Tipos de soldadura

El número de soldaduras distintas que se pueden realizar es muy grande, pudiendo resolverse prácticamente cualquier conexión por complicada que sea.

Los tipos más usuales de los que se incluye un esquema son:

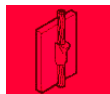
Conexión horizontal



Conexión horizontal en T



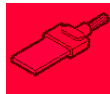
Cable pasante vertical a superficie vertical



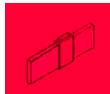
Cable hacia abajo 45° a superficie vertical



Cable horizontal a pletina horizontal



Pletina horizontal a pletina horizontal



Cable horizontal a piqueta vertical



Pica vertical a pica vertical



Cable pasante horizontal a redondo vertical



Cable vertical a viga horizontal



10. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

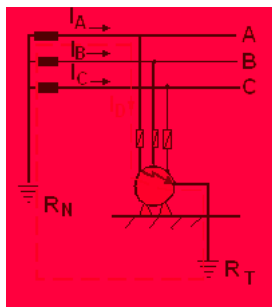
En los sistemas **TT**, la toma de tierra va asociada con la protección diferencial, siendo la combinación de ambos un eficaz medio de protección frente a los peligros de la corriente eléctrica.

El interruptor diferencial se instala, como medida de protección frente a los peligros que suponen los contactos indirectos y directos, si bien estos últimos, se deben evitar dotando de envolventes adecuadas a los circuitos eléctricos, tanto conductores como receptores.

El interruptor diferencial está diseñado para detectar corrientes de fuga y abrir el circuito en un tiempo muy breve si esta corriente de fuga supera el valor que tiene asignado como sensibilidad, siendo este el mínimo valor de la intensidad de defecto detectada por el interruptor diferencial que le hace disparar.

10.1. Principio de funcionamiento

En un circuito sin defecto, la intensidad resultante que pasaría por los contactos de un interruptor multipolar, sería 0, o sea en cada instante las intensidades de ida son iguales que las de vuelta por lo que la resultante sería 0.



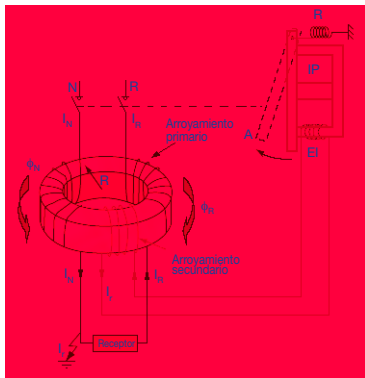
Si por falta de aislamiento, mala conexión o cualquier otra causa, hubiese una fuga de corriente, esta circularía a través del conductor de protección hacia la toma de tierra y de ésta por el terreno hasta el neutro del transformador, haciendo que las intensidades de ida y las de vuelta, no sean iguales.

El interruptor diferencial es un dispositivo capaz de medir este desequilibrio y desconectar el circuito cuando su valor sea igual o superior al de la sensibilidad del mismo.

Básicamente consta de un transformador toroidal un relé y un mecanismo de accionamiento de los contactos.

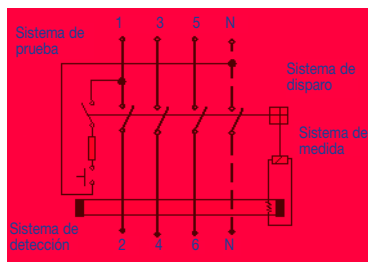
Cuando no hay corriente de fuga (I_f), la I_N crea un flujo Φ_N que es contrarrestado por el Φ_R creado por la I_R ya que son iguales, pero si hay una intensidad de defecto los flujos ya no se contrarrestan en su totalidad al no ser iguales, porque las intensidades que los producen tampoco lo son y si

esta diferencia es lo suficientemente elevada, se inducirá una fuerza electromotriz en el bobinado secundario capaz de excitar el relé diferencial y este abrirá los contactos del interruptor aislando de la red el circuito que presenta un problema de aislamiento o una derivación a tierra por cualquier otra causa.



10.2. Interruptor automático diferencial

Es un bloque compacto que provoca la apertura automática de la instalación cuando la suma vectorial de las intensidades que atraviesan los polos del aparato alcanza un valor predeterminado. Los elementos que le componen son:



Sistema de detección: Está formado por un núcleo magnético toroidal en el que se arrollan N_1 espiras de cada fase del circuito, de forma que el dispositivo está en serie con el circuito de alimentación del receptor.

Sistema de medida: Está formado por N_2 espiras arrolladas en el núcleo magnético toroidal a cuyos bornes se conecta un sistema de accionamiento o disparo, de forma que estas espiras y el sistema de disparo forman un circuito cerrado por el que circula una intensidad, cuando en dichas espiras se induce una f.e.m. Esta intensidad es la que hace actuar el sistema de disparo.

Sistema de disparo: Está formado por un dispositivo de accionamiento electromecánico que actúa sobre los contactos del interruptor del dispositivo diferencial interrumpiendo el

circuito, cuando el valor de la intensidad que circula por el sistema de medida alcanza un valor adecuado.

Sistema de prueba: Consta básicamente de un pulsador que cierra un circuito entre una fase y el neutro o entre dos fases, de forma que simula una corriente de defecto que provoca la desconexión del sistema.

Las características fundamentales de estos interruptores son:

Intensidad nominal del interruptor (I_n): Es el valor máximo que pueden soportar los contactos principales; los valores de 25, 40, 63, 80 y 100 A., son los más usuales, aunque puede haber otras intensidades nominales.

Número de polos: pueden ser bipolares (fase-neutro); tetrapolares (tres fases y neutro). Los tripolares apenas se emplean debido a que un tetrapolar sirve para un circuito tripolar.

Poder de corte o capacidad de ruptura: El poder de corte de los interruptores diferenciales es bastante reducido y es función de la intensidad nominal que puede pasar a su través.

Sensibilidad de disparo (ΔI_N): Es el valor de la intensidad diferencial nominal de disparo asignada por el fabricante, entendiendo como **intensidad diferencial de disparo** el valor mínimo de la corriente de defecto, a partir de la cual, el interruptor diferencial debe abrir automáticamente, en un tiempo conveniente, la instalación a proteger. Esta *intensidad diferencial de disparo* es menor que la *intensidad nominal de disparo* (I_N). Según UNE EN 61008, UNE EN 61009 y UNE EN

60947-2, las sensibilidades de los diferenciales son: 6 mA, **10 mA**, **30 mA**., 100 mA., **300 mA**., 500 mA., 1 A., 3 A., 10 A. y 30 A., siendo lo resaltados en negrita, los más usados.

La norma UNE 20-383-75 especifica una serie de ensayos obligatorios que deben ser superados por los interruptores automáticos diferenciales que salen al mercado, debiendo estos ensayos asegurar básicamente las siguientes condiciones:

- A. El dispositivo diferencial deberá provocar de forma segura y rápida el disparo del interruptor.
- B. El interruptor NO DEBE disparar para una intensidad diferencial de 0,5 veces la intensidad diferencial nominal del aparato.
- C. El interruptor DEBE DISPARAR:
 - 1. Cuando se haga crecer progresivamente en alrededor de 30 segundos la intensidad diferencial de $0,5 I_N$ a I_N .
 - 2. Cuando, con el interruptor previamente cerrado se hace pasar la intensidad diferencial nominal I_N , y debe disparar en un tiempo inferior a 0,2 segundos.
 - 3. Cuando, con el interruptor previamente cerrado se hace pasar el doble de la intensidad diferencial nominal ($2 \times I_N$), y debe disparar en un tiempo inferior a 0,1 segundos.

Asimismo el interruptor diferencial no detecta sobreintensidades (sobrecargas o cortocircuitos), sólo detecta corrientes diferenciales, por lo que deberemos proteger la instalación ante estos defectos con fusibles e interruptores automáticos.

Los tiempos normalizados de disparo y no disparo, según UNE EN 61008 son:

Tipo	In (A)	In (A)	Valores normalizados del tiempo (s) de funcionamiento y de no funcionamiento para una corriente residual con In igual a:				
			In	2 I	5In	500 A	
General	Cualquier valor	Cualquier valor	0,3	0,15	0,04	0,04	Tiempo de funcionamiento máximo
S	≥ 25	>0,030	0,5	0,2	0,15	0,15	Tiempo de funcionamiento máximo
			0,13	0,06	0,05	0,04	Tiempo de funcionamiento máximo

10.3. Tipos de interruptores diferenciales

Existen dos tipos de interruptores diferenciales:

Los de tipo **G** o generales y los **S** o selectivos, que llevan una temporización para que a igualdad de sensibilidad con otro instalado aguas abajo, dispare éste y no el tipo **S**, que normalmente suministra a más circuitos que no deben verse afectados por defectos ajenos a ello.

	Tipo	I_n (A)	$I_{\Delta n}$ (A)	Valor normalizado (en segundos) a:				
				$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500A	
Valores normalizados del tiempo máximo de funcionamiento y del tiempo de no funcionamiento de un diferencial según normas UNE EN 61008 y UNE EN 61009.	General o instantáneo (G)	Todos los valores	Todos los valores	0,3	0,15	0,04	0,04	Tiempo máximo de funcionamiento
	Selectivo (S)	> 25	> 0,030	0,5	0,2	0,15	0,15	Tiempo máximo de funcionamiento
				0,13	0,06	0,05	0,04	Tiempo máximo de no respuesta

Clase AC  esta es la clase normal o estándar, sólo detecta corriente de fuga alterna.

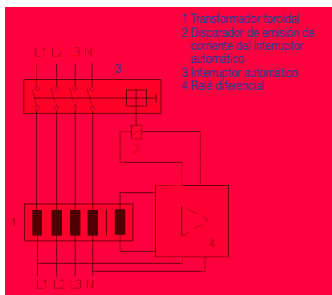
Clase A  esta clase permite detectar corrientes de fuga tanto alternas como pulsantes, con o sin componente continua.

En la elección de un interruptor diferencial, hay que tener en cuenta que las pequeñas corrientes de fuga que se dan en los receptores se van sumando y puede ocurrir que dispare el interruptor por la acumulación de estas pequeñas fugas siendo normales, esto se evita instalando más de un diferencial o sea repartiendo las cargas entre varios.

10.4. Relé diferencial

Ya hemos comentado en el apartado anterior que los interruptores diferenciales tienen bajo poder de corte (quedan limitados a $I_N \leq 100 \text{ A}$), por lo que para grandes intensidades,

se emplean los llamados relés diferenciales que se componen de un relé y transformador diferencial e interruptor automático, siendo este interruptor del poder de corte adecuado en el punto de su instalación. El principio de funcionamiento es el mismo del interruptor diferencial, pero está formado por bloques separados.



1. Transformador toroidal.
2. Disparador de emisión de corriente secundaria del interruptor automático.
3. Interruptor automático.
4. Relé diferencial.

Las ventajas de este tipo de dispositivo diferencial estriban en el hecho de que el poder de ruptura del circuito no es importante para el relé, ya que lo soporta el interruptor automático principal, que es el que está diseñado para este efecto, por lo que el relé diferencial actúa como circuito auxiliar.

Los tiempos de respuesta son equivalentes a los del interruptor automático diferencial, aunque aprovechando su carácter de circuito auxiliar, se puede introducir un retardo en el disparo a través de un circuito temporizador, aspecto par-

tualmente interesante para lograr una selectividad en el disparo cuando se trata de diseñar un sistema global de protección utilizando dispositivos diferenciales.

10.5. Utilización de diferenciales

En los sistemas TT:

La protección de circuitos mediante interruptor diferencial de alta sensibilidad se impone (junto a baja tensión de seguridad y separación de circuitos) entre otras en las siguientes instalaciones y circuitos:

- Alimentación de elementos de calefacción, elementos móviles y de luminarias en salas mojadas.
- Instalaciones en canteras en elementos portátiles y en cables accesibles.
- Instalaciones temporales.
- Alimentación de caravanas y barcos.
- Alimentación de conductores y elementos eléctricos calefactores, instalados en las paredes de los edificios.
- Establecimientos agrícolas y hortícolas.
- Tomas de corriente hasta 32 A cualquiera que sean las condiciones.
- Tomas de corriente en las instalaciones temporales para cualquier intensidad.
- Tomas de corriente instaladas en locales mojados para cualquier intensidad.
- Circuitos en zonas especiales: salas de agua, condiciones severas...

El diferencial no protege contra contactos entre fase y neutro, en consecuencia, si esto pudiese ocurrir, sería necesario disponer de una protección complementaria con imposibilidad de tocar la instalación, como por ejemplo, doble aislamiento, bajas tensiones de seguridad....

El diferencial actúa independientemente de que la carga esté equilibrada o no.

Un diferencial de 4 polos puede utilizarse en una línea de 3 o 4 polos, o incluso una línea de 2 polos, lo único que se ha de cuidar es que al borne del conductor neutro se conecte el neutro y no una fase.

Todos los conductores activos han de pasar por dentro del transformador toroidal y nunca el conductor de tierra o de protección.

El diferencial sólo protege aguas abajo del lugar en el que está instalado.

El diferencial se tiene que proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. La forma más usual, es acompañarlo de un fusible de igual calibre o un interruptor automático de un calibre inferior, que se colocarían aguas arriba del diferencial.

El diferencial disparará cuando la suma de intensidades en el transformador toroidal sea distinta de cero y se alcance la intensidad de disparo, pero pueden darse disparos intempestivos por sobretensiones producidas por rayos en la línea exterior, conexiones y desconexiones de aparatos muy

inductivos en la línea interior o por actuación de equipos que trabajan a alta frecuencia, en este caso se deberá poner un tipo de diferencial que soporte las corrientes transitorias mencionadas. También se pueden producir disparos intempestivos del diferencial si el mismo está montado dentro de un campo electromagnético que pueden formar los cables y conexiones de un cuadro o armario eléctrico.

Al montar un diferencial se ha de tener cuidado en seguir el esquema del fabricante para conectar bien el pulsador de prueba y evitar que pueda quemarse, por ejemplo si lo conectamos entre dos fases y no entre fase y neutro.

Un interruptor diferencial deberá montarse con una envolvente adecuada a las condiciones de entorno donde se ubique.

El diferencial no va a evitar choques muy dolorosos a las personas si su sensibilidad es elevada, aunque si evitará el riesgo de daño por causa eléctrica, por tanto, si el puesto de trabajo es peligroso (trabajo en altura, en zonas de hornos...) sería necesario completar el sistema de protección con otro sistema que no produzca reacciones violentas o proyecciones de la persona, por ejemplo bajas tensiones, aislamientos reforzados...

El diferencial tiene un tiempo de actuación mínimo y si las condiciones de contacto son extremas (persona en inmersión y contacto posible a 220 V) el tiempo de disparo podría no ser suficiente y sería necesario recurrir a otro sistema de protección adicional como baja tensión de seguridad etc.

Si la instalación que se va a proteger no puede interrumpirse, no se debe utilizar un diferencial o elemento de corte y se deberán tomar otras medidas de seguridad, como la separación de circuitos con un dispositivo medidor de aislamiento.

Si la zona puede estar sometida a sobretensiones transitorias de origen atmosférico, no debe instalarse un diferencial usual, sino que debería instalarse por ejemplo un diferencial antitormentas tipo G con un retardo de disparo de 10 ms, o un diferencial S con retardo de 40 ms. y que sean inmunes a los disparos intempestivos.

Si se requiere proteger directamente a las personas, se debería poner una sensibilidad de 30 mA, y si se quiere proteger la instalación de forma general y al fuego, sería suficiente con una sensibilidad de 300 mA. Si solo se quiere vigilar el estado de aislamiento de la instalación como protección de fugas, se debería poner un diferencial de varios amperios.

En zonas húmedas o mojadas o a la intemperie, se deben utilizar en lo posible diferenciales de 30 mA. Si se desea proteger un solo receptor en zona peligrosa se utilizará 10 mA. No es recomendable pasar de 400 metros con diferenciales de 30 mA, ni en iluminación no compensada poner más de 20 tubos. Si el arranque de los tubos es electrónico a alta frecuencia se deben poner diferenciales G ó S con resistencia a disparos intempestivos de 30 mA ó 300 mA.

UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DIFERENCIALES

Como idea general se pueden utilizar los diferenciales de forma preferente según los objetivos que se indican en la tabla

UTILIZACIÓN GENERAL DE LOS INTERRUPTORES DIFERENCIALES POR SUS CARACTERÍSTICAS GENERALES.

TIPO	SISTEMA TT
NORMAL	USO GENERAL
30 a 100 mA	30 mA para protección de personas o incendio
SELECTIVO	En cabeza de alimentación
100 a 300 mA	En origen de instalaciones muy largas
RETARDADOS G	En instalaciones con sobretensiones cortas
30 a 100 mA	En cabeza de instalaciones de longitud media
SENSIBILIDAD	Hasta 30 mA = Protección a contactos directos (complemento) e indirectos Hasta 300 mA = Protección a contactos indirectos e incendios (límite). Hasta 500 mA = Protección a contactos indirectos Para más de 1 A = Protección a corriente de fugas en máquinas y líneas

ACTIVIDAD	En vivienda. Diferencial normal de 30 mA. si hay tormentas puede ser AC- G En comercio. Diferencial normal de 30 mA. si hay disparos intempestivos AC-S En instalaciones con receptores utilizados directamente por personas 30 mA AC En instalaciones con máquinas eléctricas numerosas o extensas 300 mA y si es muy extensa puede llegar a 500 mA. clase A y tipo general y S. En instalaciones con muchos elementos electrónicos, diferencial clase A o B y tipo S. En instalaciones industriales, selectividad con diferencial S en cabeza y resto normales.
TIEMPO DE ACTUACIÓN	Para T_a de 30 ms = Disparo instantáneo, protección a personas. Para T_a con retardo de 10 ms o 40 ms = Protección de personas, selectividad y protección a disparos intempestivos. Para T_a mayor de aproximadamente 170 ms (220 V) = Protección de fugas.

SELECTIVIDAD	Sin retardo, para uso general en cualquier instalación. G - Retardo de 10 ms, utilización ante disparos intempestivos, de tormentas... S - Retardo 40 ms, utilización para selectividad en cabeza de línea, uso industrial.
TIPO DE CORRIENTE DIFERENCIAL	AC - uso general en todas las instalaciones usuales. A - uso en instalaciones con elementos electrónicos sin filtro, uso generalmente industrial. B - uso muy restringido a redes sin filtrado y con rectificadores de corriente continua, uso industrial.
TIPO DE RELÉ	Relé electromagnético, independiente de la alimentación = Uso general Relé electrónico dependiente de la alimentación = Uso industrial complementario.
REENGANCHE AUTOMÁTICO	Para vigilancia de redes.
TIPO DE EJECUCIÓN	Modular en un bloque, para pequeñas intensidades (menor de aprox. 225 A) Con elementos separados, toro, relé, corte para intensidades grandes.

11. GUÍA DE VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este apartado estudiamos las distintas verificaciones que debería realizar el instalador previa puesta en servicio de la instalación, así como el mantenimiento que se debe efectuar en la misma para su buen funcionamiento.

11.1. Verificación antes de la instalación

- Realización de pasatubos y aberturas parámetros y patinillos
- Ejecución de arquetas, pozos o zanjas de electrodo y de puesta a tierra.
- Ejecución de zanjas de cimentación e instalación de armaduras.

11.2. Verificación durante la instalación

- Ejecución de rozas e instalación de tubos y cajas de derivación evitando curvas tendidos demasiado largos.
- Fijación de las canalizaciones.
- Cubrición de rozas y fijación de cajas.
- Introducción y conexionado de conductores.
- Colocación de los electrodos
- Conexiones.
- Soldaduras.

11.3. Criterios de rechazo

11.3.1. Punto de puesta a tierra

- Dificil accesibilidad para medición.
- No exclusivo de pararrayos.

11.3.2. Líneas de enlace

- Menor sección que lo expresado en la tabla del punto 4.1.5.

11.3.3. Líneas de tierra y conductores de protección

- Color no reglamentado.
- Eléctricas menor de 2'5 mm.
- Pararrayos sección línea menor de 50 mm.
- TV y FM menor de 16 mm.
- Guías de ascensor menor de 4 mm.
- Instalación telefónica menor de 4 mm.
- Redes equipotenciales menor de 2'5 y 4 mm.
- Instalación de agua, gas, depósitos de fuel, calefacción, etc., menor de 4 mm.
- Carcasas de armarios metálicos, menor de 2'5.

11.3.4. Electrodos

11.3.4.1. Picas

- Diámetro menor de 14 ó 25 mm.
- Longitud menor de 2 metros.

11.3.4.2. Placas

- Sección menor de 0'5 m.
- Espesor menor de 2 ó 3 milímetros.



11.3.4.3. Conductor desnudo

- Sección menor de 35 ó 95 mm.

11.3.4.4. Conexiones

- Conexiones defectuosas.
- Existencia de zapatas sin conectar.



11.3.4.5. Pararrayos

- Falta de radio de cobertura.
- Características inadecuadas.

11.3.4.6. Línea de tierra y canalizaciones del pararrayos

- Menor de 50mm si es de cobre
- Menor de 95 mm. si es de aluminio.

11.3.4.7. Medidas

- Resistividad del terreno, al inicio de la instalación
- Medición puesta a tierra, antes de la colocación de solera se comprobara si la toma de tierra está de acuerdo con la sensibilidad de diferenciales
- Medidas de aislamiento.

11.4. Mantenimiento de la puesta a tierra

El valor de la puesta a tierra juega un papel muy importante en el conjunto de la protección. Es por tanto necesario un mantenimiento para que la resistencia ohmica se mantenga por debajo de los valores prefijados en el cálculo del sistema de protección.

La variación de la resistencia ohmica de la puesta a tierra, se puede producir por diferentes causas:

- Destrucción corrosiva de los electrodos.
- Aumento de la resistividad del terreno.
- Aflojamiento, corrosión, polvo etc., en las uniones de las líneas de tierra.
- Rotura de líneas de tierra.

11.5. Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento se cifra en:

Revisiones generales periódicas para poner de manifiesto los posibles defectos que existan en la instalación.

Eliminación de los posibles defectos que aparezcan.

La revisión general se tiene que efectuar una vez al año, preferiblemente en época seca, consistente en las siguientes mediciones:

- Medición de la toma de tierra, efectuada en el punto de puesta a tierra.
- Medición de la resistencia ohmica de cada uno de los electrodos, desconectándolo previamente de la línea de enlace con tierra.
- Medición desde todas las carcasas metálicas de la resistencia total que ofrecen tanto las líneas de tierra como la toma de tierra.

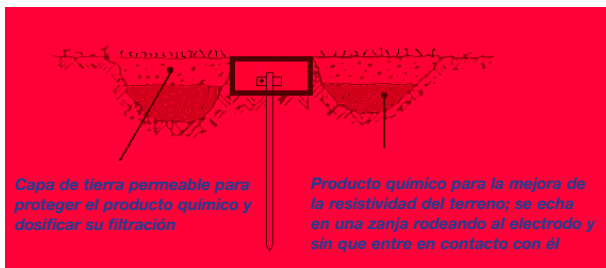
El conjunto de estas tres mediciones permite conocer respectivamente:

- Eficacia global de la toma de tierra.
- Estado de cada uno de los electrodos.
- Estado de conservación de las líneas de tierra al comparar el resultado de medir la toma de tierra y la toma de tierra incluyendo las líneas de tierra.

La eliminación de los posibles defectos puede consistir en:

- Reparar cables o uniones defectuosas.
- Limpiar y apretar uniones.
- Regado de la toma de tierra, cuando el defecto sea debido al aumento de la resistencia del terreno. En lo relativo a la posible adición de sales en el terreno, se tomará lo indicado en el montaje.

El tratamiento de la puesta a tierra para mejorarla mediante el empleo de sales o geles, con el objeto de aumentar la conductividad del terreno cuando sea regado artificialmente o por medio de la lluvia, si bien en ambos casos es recomendable que estos agentes químicos no esten en contacto con los electrodos ya que podrían corroerlos y acelerar su destrucción.



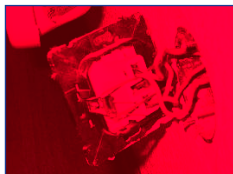
Paralelamente se ha de comprobar que los dispositivos de corte asociados, se hallan en condiciones de funcionamiento.

11.6. Algunos defectos en instalaciones de puesta a tierra

Algunos defectos que se suelen encontrar en las instalaciones de puesta a tierra:

Ausencia de toma de tierra y de conductores de protección.

Riesgo.- No existe protección frente a contactos indirectos. Peligro de electrocución.

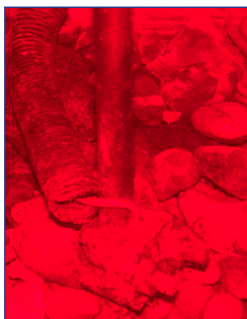


Conductor de protección no identificado.

Riesgo.- Peligro de conectar o confundir con una fase y conectar la toma de tierra a tensión de alimentación. Riesgo de electrocución

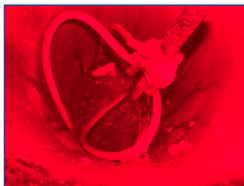
Sección y protección mecánica del conductor de tierra insuficiente

Riesgo.- Peligro de electrocución por no garantizar el paso de las posibles corrientes de defecto



Ausencia de borne de medida sobre la toma de tierra.

Riesgo.- Imposibilidad de medir el valor de la resistencia de la toma de tierra.



Puesta a tierra de los aparatos sobre tuberías de agua, gas o calefacción.

Riesgo.- No se sabe exactamente el valor de la toma de tierra, riesgo de electrocución.

Desconexión del conductor de protección en aparatos móviles.

Riesgo.- No existe protección frente a contactos indirectos. Peligro de electrocución



ANEXO I

INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS Y PUNTOS DE LAS I.T.C. DEL R.E.B.T. RELACIONADAS CON LA TOMA DE TIERRA

INSTRUCCIÓN	TÍTULO DE LA I.T.C.	PUNTOS DE LAS I.T.C. DEL R.E.B.T. RELACIONADOS CON LA TOMA DE TIERRA
ITC-BT-01	Terminología	Borne o barra principal de tierra.- Conductor de protección (CP o PE).- Conductor CPN o PEN.- Corriente de defecto a tierra.- Corriente de fuga en una instalación.- Corriente de puesta a tierra.- Defecto monofásico a tierra.- Instalación de puesta a tierra.- Material de clase I.- Material de clase II.- Partes accesibles simultáneamente.- Punto a potencial cero.- Resistencia de puesta a tierra.- Resistencia global o total de tierra.- Suelo o pared no conductor.- Tensión de defecto.- Tensión con relación o respecto a tierra.- Tensión de puesta a tierra (Tensión a tierra).- Tierra.- Tierra lejana.- Toma de tierra.

ITC-BT-02	Normas de referencia en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	UNE 20460-5-54:1990 (Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Elección e instalación de los materiales eléctricos. Puesta a tierra y conductores de protección)
ITC-BT-06	Redes aéreas para distribución en Baja Tensión	3.2.1.2 En edificios no destinados al servicio de distribución de la energía.- 3.7. Puesta a tierra del neutro.- 3.9 Condiciones generales para cruzamientos y paralelismos
ITC-BT-07	Redes subterráneas para distribución en Baja Tensión	2.1.3.1 Galerías visitables. (Equipotencialidad de masas metálicas accesibles).- 2.3 Puesta a tierra y continuidad del neutro
ITC-BT-08	Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica	1. ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN.- 2. PRESCRIPCIONES ESPECIALES EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL ESQUEMA TN
ITC-BT-09	Instalaciones del alumbrado exterior	4. CUADROS DE PROTECCIÓN, MEDIDA Y CONTROL.- 6. SOPORTES DE LUMINARIAS.- 9. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.- 10. PUESTAS A TIERRA

ITC-BT-13	Cajas generales de protección	1.2 Tipos y características
ITC-BT-16	Instalaciones de enlace. Contadores: ubicación y sistemas de instalación	3. CONCENTRACIÓN DE CONTADORES
ITC-BT-18	Instalaciones de puesta a tierra	1. OBJETO.- 2. PUESTA O CONEXIÓN A TIERRA. DEFINICIÓN.- 3. UNIONES A TIERRA.- 4. PUESTA A TIERRA POR RAZONES DE PROTECCIÓN.- 5. PUESTA A TIERRA POR RAZONES FUNCIONALES.- 6. PUESTA A TIERRA POR RAZONES COMBINADAS DE PROTECCIÓN Y FUNCIONALES.- 7. CONDUCTORES CPN (TAMBIÉN DENOMINADOS PEN).- 9. RESISTENCIA DE LAS TOMAS DE TIERRA.- 10. TOMAS DE TIERRA INDEPENDIENTES.- 11. SEPARACIÓN ENTRE LAS TOMAS DE TIERRA DE LAS MASAS DE LAS INSTALACIONES DE UTILIZACIÓN Y DE LAS MASAS DE UN CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.- 12. REVISIÓN DE LAS TOMAS DE TIERRA

Instalaciones de puesta a tierra y protección de sistemas eléctricos

ITC-BT-19	Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales	2.9 Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica.- 2.10 Bases de toma de corriente
ITC-BT-21	Instalaciones interiores o receptoras. Tubos y canales protectoras	2.1 Prescripciones generales.- 4. INSTALACIÓN Y COLOCACIÓN DE LAS CANALES
ITC-BT-23	Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones	1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.- 3.1 Situación natural.- 3.2 Situación controlada
ITC-BT-24	Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos	4. PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS INDIRECTOS
ITC-BT-26	Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones generales de instalación	3. TOMAS DE TIERRA.- 4. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS.- 5. CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.- 7. EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

ITC-BT-27	Instalaciones interiores en viviendas. Locales que contienen una bañera o ducha	2.3 Elección e instalación de los materiales eléctricos
ITC-BT-29	Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión	9.3 Requisitos de los conductos
ITC-BT-31	Instalaciones con fines especiales. Piscinas y fuentes	2.2 Prescripciones generales.- 2.2.4 Aparamenta y otros equipos
ITC-BT-32	Instalaciones con fines especiales. Máquinas de elevación y transporte	2. REQUISITOS GENERALES.- 6. DISPOSICIÓN DE LA TOMA DE TIERRA Y CONDUCTORES DE PROTECCIÓN
ITC-BT-34	Instalaciones con fines especiales. Ferias y Stands	3.1 Protección contra contactos directos e indirectos.- 6.5 Conexiones a tierra

ITC-BT-36	Instalaciones a muy Baja Tensión	1. GENERALIDADES.- 2. REQUISITOS GENERALES PARA LAS INSTALACIONES A MUY BAJA TENSIÓN DE SEGURIDAD (MBTS) Y MUY BAJA TENSIÓN DE PROTECCIÓN (MBTP).- 3. REQUISITOS PARTICULARES PARA LAS INSTALACIONES A MUY BAJA TENSIÓN DE SEGURIDAD (MBTS).- 4. REQUISITOS PARTICULARES PARA LAS INSTALACIONES A MUY BAJA TENSIÓN DE PROTECCIÓN (MBTP)
ITC-BT-38	Instalaciones con fines especiales. Requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención	2.1 Medidas de protección.- 2.4 Control y mantenimiento.- 3. CONDICIONES ESPECIALES DE INSTALACIÓN DE RECEPTORES EN QUIRÓFANOS Y SALAS DE INTERVENCIÓN
ITC-BT-39	Instalaciones con fines especiales. Cercas para ganado	3. PRESCRIPCIONES PARTICULARES
ITC-BT-40	Instalaciones generadoras de baja tensión	4.2 Instalaciones generadoras asistidas.- 4.3.3 Equipos de maniobra y medida a disponer en el punto de interconexión.- 8. INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

ITC-BT-42	Instalaciones eléctricas en puertos y marinas para barcos de recreo	3.3.2 Protección contra contactos indirectos.- 4.3.2 Bases de toma de corriente
ITC-BT-43	Instalaciones de receptores. Prescripciones generales	1. INTRODUCCIÓN.- 2.2 Clasificación de los receptores.- 2.7 Compensación del factor de potencia
ITC-BT-44	Instalaciones de receptores. Receptores de alumbrado	2.1.4 Puesta a tierra
ITC-BT-45	Instalaciones de receptores. Aparatos de caldeo	3.1.1 Calentadores de agua en los que ésta forma parte del circuito eléctrico.- 3.1.2 Calentadores provistos de elementos de caldeo desnudos sumergidos en el agua.- 3.3 Aparatos para soldadura eléctrica por arco
ITC-BT-46	Instalaciones receptoras. Cables y folios radiantes en viviendas	3.2 Instalación eléctrica
ITC-BT-49	Instalaciones eléctricas en muebles	3. MUEBLES EN CUARTO DE BAÑO

ANEXO II

GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN

El artículo 29 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión hace referencia a una Guía Técnica, de carácter no vinculante, aprobada por la Dirección General de Política Tecnológica, cuyo objetivo es facilitar la aplicación práctica de las exigencias que establece el Reglamento y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Esta Guía ha sido elaborada por los Servicios del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Dirección General de Política Tecnológica), aportando comentarios y observaciones de las Comunidades Autónomas y los expertos y entidades más representativas del sector. Se compone de una serie de documentos identificados por la fecha de edición y el número de la revisión, los cuales se agrupan en Unidades Temáticas y Anexos. Éstas Unidades Temáticas se irán revisando periódicamente en función de la experiencia adquirida y completándose con otras unidades temáticas que se publicarán según se vayan aprobando.

A continuación se da un índice con las guías aprobadas en la actualidad, que están agrupadas en 5 Unidades Temáticas y 4 Anexos.

Índice de unidades temáticas. guía técnica de aplicación del reglamento electrotécnico para baja tensión

UNIDAD TEMÁTICA Nº 1 – REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN; ASPECTOS GENERALES

GUÍA – BT – RD 842/02: REAL DECRETO 842/2002

GUÍA – BT – 03: INSTALADORES AUTORIZADOS EN BAJA TENSIÓN

GUÍA – BT – 04: DOCUMENTACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LAS INSTALACIONES

GUÍA – BT – 05: VERIFICACIONES E INSPECCIONES

UNIDAD TEMÁTICA Nº 2 – INSTALACIONES DE ENLACE

- GUÍA – BT – 10:** PREVISIÓN DE CARGAS PARA SUMINISTROS DE BAJA TENSIÓN
- GUÍA – BT – 12:** ESQUEMAS
- GUÍA – BT – 13:** CAJAS GENERALES DE PROTECCIÓN
- GUÍA – BT – 14:** LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN
- GUÍA – BT – 15:** DERIVACIONES INDIVIDUALES
- GUÍA – BT – 16:** CONTADORES: UBICACIÓN Y SISTEMAS DE INSTALACIÓN
- GUÍA – BT – 17:** DISPOSITIVOS GENERALES E INDIVIDUALES DE MANDO Y PROTECCIÓN. INTERRUPTOR DE CONTROL DE POTENCIA

UNIDAD TEMÁTICA Nº 3 – INSTALACIONES INTERIORES

- GUÍA – BT – 19:** INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PRESCRIPCIONES GENERALES
- GUÍA – BT – 20:** INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. SISTEMAS DE INSTALACIÓN
- GUÍA – BT – 21:** TUBOS Y CANALES PROTECTORAS
- GUÍA – BT – 25:** INSTALACIONES INTERIORES EN VIVIENDAS. NÚMERO DE CIRCUITOS Y CARACTERÍSTICAS
- GUÍA – BT – 26:** INSTALACIONES INTERIORES EN VIVIENDAS. PRESCRIPCIONES GENERALES DE INSTALACIÓN
- GUÍA – BT – 27:** INSTALACIONES INTERIORES. LOCALES QUE CONTIENEN UNA BAÑERA O DUCHA
- GUÍA – BT – 49:** INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MUEBLES

UNIDAD TEMÁTICA Nº 4 – LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA

- GUÍA – BT – 28:** INSTALACIONES EN LOCALES DE PÚBLICA CONCURRENCIA

UNIDAD TEMÁTICA Nº 5 – INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

GUÍA – BT – 09: INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

ANEXOS

GUÍA – BT – ANEXO 1: SIGNIFICADO Y EXPLICACIÓN DE LOS CÓDIGOS IP, IK

GUÍA – BT – ANEXO 2: CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

GUÍA – BT – ANEXO 3: CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO

GUÍA – BT – ANEXO 4: VERIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

12. BIBLIOGRAFÍA

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. R.D. 842/2002, de 2 de agosto. BOE 18 sept. núm. 224.

Curso de Puestas a Tierra en edificios destinados principalmente a viviendas. Adae Paraninfo, 1991.

Mediciones de seguridad en instalaciones de baja tensión. Manual Temper.

Apuntes de clase de la asignatura de Instalaciones Eléctricas. Baldomero González López.

Proyectos tipo. Unión Fenosa.

Revista Técnica Industrial.

Página Web “Aplicaciones Tecnológicas”.

Guía de protección diferencial en baja tensión. Biblioteca Técnica Schneider

Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas. Ultam Ediciones

Curso Teórico Práctico de Diseño de Instalaciones Eléctricas (Seguridad y Ahorro Energético). Consejería de Industria y Turismo. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

TERMINOLOGÍA

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en su ITC-BT-01, establece una serie de términos que es necesario conocer para comprender bien lo establecido en el citado Reglamento y que transcribimos seguidamente, considerando que puede ser cómo-da su utilización.

ALTA SENSIBILIDAD Se consideran los interruptores diferenciales como de alta sensibilidad cuando el valor de ésta es igual o inferior a 30 mA.

APARAMENTA Equipo, aparato o material previsto para ser conectado a un circuito eléctrico con el fin de asegurar una o varias de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento, conexión.

BANDEJA Material de instalación constituido por un perfil, de paredes perforadas o sin perforar, destinado a soportar cables y abierto en su parte superior.

BASE MOVIL Base prevista para conectarse a, o a integrarse con, cables flexibles y que puede desplazarse fácilmente cuando está conectada al circuito de alimentación.

BORNE O BARRA PRINCIPAL DE TIERRA Borne o barra prevista para la conexión a los dispositivos de puesta a tierra de los conductores de protección, incluyendo los conductores de equipotencialidad y eventualmente los conductores de puesta a tierra funcional.

CABLE Conjunto constituido por:

- Uno o varios conductores aislados.
- Su eventual revestimiento individual.
- La eventual protección del conjunto.
- El o los eventuales revestimientos de protección que se dispongan.

Puede tener, además, uno o varios conductores no aislados.

CABLE UNIPOLAR Cable que tiene un solo conductor aislado.

CABLE CON NEUTRO CONCÉNTRICO Cable con un conductor concéntrico destinado a utilizarse como conductor de neutro.

CANAL Recinto situado bajo el nivel del suelo o piso y cuyas dimensiones no permiten circular por él y que, en caso de ser cerrado, debe permitir el acceso a los cables en toda su longitud.

CANALIZACIÓN ELÉCTRICA Conjunto constituido por uno o varios conductores eléctricos y los elementos que aseguran su fijación y, en su caso, su protección mecánica.

CANAL PROTECTORA Material de instalación constituido por un perfil de paredes llenas o perforadas, destinado a contener conductores y otros componentes eléctrico y cerrado por una tapa desmontable.

CEBADO Establecimiento de un arco como consecuencia de una perforación de aislamiento.

CIRCUITO Un circuito es un conjunto de materiales eléctrico (conductores, apartamenta, etc.) de diferentes fases o polaridades, alimentadas por la misma fuente de energía y protegidos contra las sobreintensidades por el o los mismos dispositivos de protección. No quedan incluidos en esta definición los circuitos que formen parte de los aparatos de utilización o receptores.

CONDUCTO Envoltente cerrada destinada a alojar conductores aislados o cables en las instalaciones eléctricas, y que permiten su reemplazamiento por tracción.

CONDUCTOR AISLADO Conjunto que incluye el conductor, su aislamiento y sus eventuales pantallas.

CONDUCTOR EQUIPOTENCIAL Conductor de protección que asegura una conexión equipotencial.

CONDUCTOR FLEXIBLE Conductor constituido por alambres suficientemente finos y reunidos de forma que puedan utilizarse como un cable flexible.

CONDUCTOR DE PROTECCIÓN (CP o PE) Conductor requerido en ciertas medidas de protección contra choques eléctricos y que conecta alguna de las siguientes partes:

- Masas.
- Elementos conductores.
- Borne principal de tierra.
- Toma de tierra.
- Punto de la fuente de alimentación unida a tierra o a un neutro artificial.

CONDUCTOR NEUTRO Conductor conectado al punto de una red y capaz de contribuir al transporte de energía eléctrica.

CONDUCTOR CPN o PEN Conductor puesto a tierra que asegura, al mismo tiempo, las funciones de conductor de protección y de conductor neutro.

CONDUCTORES ACTIVOS Se consideran como conductores activos en toda instalación, los destinados normalmente a la transmisión de la energía eléctrica. Esta consideración se aplica a los conductores de fase y al conductor neutro en corriente alterna y a los conductores polares y al compensador en corriente continua.

CONECTOR Conjunto destinado a conectar eléctricamente un cable a un aparato eléctrico.

Se compones de dos partes:

- Una forma móvil, que es la parte que forma cuerpo con el conductor de alimentación.
- Una base, que es la parte incorporada o fijada al aparato de utilización.

CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL Conexión eléctrica que pone al mismo potencial, o a potenciales prácticamente iguales, a las partes conductoras accesibles y elementos conductores.

CONTACTO DIRECTO Contacto de personas o animales con partes activas de los materiales y equipos.

CONTACTO INDIRECTO

Contacto de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

CORRIENTE DE CONTACTO

Corriente que pasa a través del cuerpo humano o de un animal cuando está sometido a una tensión eléctrica.

CORRIENTE ADMISIBLE PERMANENTE (DE UN CONDUCTOR)

Valor máximo de la corriente que circula permanentemente por un conductor, en condiciones específicas, sin que su temperatura de régimen permanente supere un valor específico.

CORRIENTE CONVENCIONAL DE FUNCIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN

Valor especificado que provoca el funcionamiento del dispositivo de protección antes de transcurrir un intervalo de tiempo determinado de una duración especificada llamado tiempo convencional.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO FRANCO

Sobreintensidad producida por un fallo de impedancia despreciable, entre dos conductores activos que presentan una diferencia de potencial en condiciones normales de servicio.

CORRIENTE DE CHOQUE

Corriente de contacto que podría provocar efectos fisiopatológicos.

CORRIENTE DE DEFECTO O DE FALTA

Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

CORRIENTE DE DEFECTO A TIERRA

Corriente que en caso de un solo punto de defecto a tierra, se deriva por el citado punto desde el circuito averiado a tierra o partes conectadas a tierra.

CHOQUE ELÉCTRICO Efecto fisiopatológico resultante del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano o de un animal.

DEDO DE PRUEBA O Sonda PORTÁTIL DE ENSAYO En un dispositivo de forma similar a un dedo, incluso en sus articulaciones internacionalmente normalizado, y que se destina a verificar si las partes activas de cualquier aparato o materias son accesibles o no al utilizador del mismo. Existen varios tipos de dedos de prueba, destinados a diferentes aparatos, según su clase, tensión, etc.

DEFECTO FRANCO Defecto de aislamiento cuya impedancia puede considerarse nula.

DEFECTO MONOFÁSICO A TIERRA Defecto de aislamiento entre un conductor y tierra.

DOBLE AISLAMIENTO Aislamiento que comprende, a la vez, un aislamiento principal y un aislamiento suplementario.

ELEMENTOS CONDUCTORES Todos aquellos que pueden encontrarse en un edificio, aparatos, etc. y que son susceptibles de transferir una tensión, tales como: Estructuras metálicas o de hormigón armado utilizadas en la construcción de edificios (p.e. armaduras, paneles, carpintería metálica, etc.) canalizaciones metálicas de agua, gas, calefacción, etc. y los aparatos no eléctricos conectados a ellas, si la unión constituye una conexión eléctrica (p.e. radiadores, cocinas, fregaderos metálicos, etc.), suelos y paredes conductores.

ELEMENTO CONDUCTOR AJENO A LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Elemento que no forma parte de la instalación eléctrica y que es susceptible de introducir un potencial, generalmente el de tierra.

ENVOLVENTE

Elemento que asegura, la protección de los materiales contra ciertas influencias externas y la protección, en cualquier dirección, ante contactos directos.

FACTOR DE SIMULTANEIDAD

Relación entre la totalidad de la potencia instalada o prevista, para un conjunto de instalaciones o de máquinas, durante un periodo de tiempo determinado, y las sumas de las potencias máximas absorbidas individualmente por las instalaciones o por las máquinas.

IMPEDANCIA

Cociente de la tensión en los bornes de un circuito por la corriente que fluye por ellos. Esta definición sólo es aplicable a corrientes sinusoidales.

IMPEDANCIA DEL CIRCUITO DE DEFECTO

Impedancia total ofrecida al paso de una corriente de defecto.

INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

Conjunto de conexiones y dispositivos necesarios para poner a tierra, individual o colectivamente, un aparato o una instalación.

INSTALACIONES PROVISIONALES

Son aquellas que tienen, en tiempo, una duración limitada a las circunstancias que las motiven.

Pueden ser:

- **DE REPARACIÓN.** Las necesarias para paliar un incidente de explotación.
- **DE TRABAJOS.** Las realizadas para permitir cambios o transformaciones de las instalaciones, sin interrumpir la explotación.
- **SEMI-PERMANENTES.** Las destinadas a modificaciones de duración limitada, en el marco de actividades habituales de los locales en los que repitan periódicamente (Ferias).
- **DE OBRAS.** Son las destinadas a la ejecución de trabajos de construcción de edificios y similares.

INTENSIDAD DE DEFECTO Valor que alcanza una corriente de defecto.

INTERRUPTOR AUTOMÁTICO Interruptor capaz de establecer, mantener e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito.

INTERRUPTOR DE CONTROL DE POTENCIA Y MAGNETO-TÉRMICO Aparato de conexión que integra todos los dispositivos necesarios para asegurar de forma coordinada:

- Mando.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra cortocircuitos.

INTERRUPTOR DIFERENCIAL Aparato electromecánico o asociación de aparatos destinados a provocar la apertura de los contactos cuando la corriente diferencial alcanza un valor dado.

LÍNEA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN

Canalización eléctrica que enlaza otra canalización, un cuadro de mando y protección o un dispositivo de protección general con el origen de canalizaciones que alimentan distintos receptores, locales o emplazamientos.

MASA

Conjunto de las partes metálicas de un aparato que, en condiciones normales, están aisladas de las partes activas.

Las masas comprenden normalmente:

- Las partes metálicas accesibles de los materiales y de los equipos eléctricos, separadas de las partes activas solamente por un aislamiento funcional, las cuales son susceptibles de ser puestas en tensión a consecuencia de un fallo de las disposiciones tomadas para asegurar su aislamiento. Este fallo puede resultar de un defecto del aislamiento funcional, o de las disposiciones de fijación y de protección.
- Por tanto, son masas las partes metálicas accesibles de los materiales eléctricos, excepto los de Clase II, las armaduras metálicas de los cables y las condiciones metálicas de agua, gas, etc.
- Los elementos metálicos en conexión eléctrica o en contacto con las superficies exteriores de materiales eléctricos, que estén separadas de las partes activas por aislamientos funcionales, lleven o no estas superficies exteriores algún elemento metálico.

Por tanto son masas: las piezas metálicas que forman parte de las canalizaciones eléctricas, los soportes de aparatos eléctricos con aislamiento funcional, y las piezas colocadas en contacto con la envoltura exterior de estos aparatos.

Por extensión, también puede ser necesario considerar como masas, todo objeto metálico situado en la proximidad de partes activas no aisladas, y que presenta un riesgo apreciable de encontrarse unido eléctricamente con estas partes activas, a consecuencia de un fallo de los medios de fijación (p.e. aflojamiento de una conexión, rotura de un conductor, etc.).

NOTA: Una parte conductora que sólo puede ser puesta bajo tensión en caso de fallo a través de una masa, no puede considerarse como una masa.

MATERIAL DE CLASE 0 Material en el cual la protección contra el choque eléctrico, se basa en el aislamiento principal, lo que implica que no existe ninguna disposición prevista para la conexión de las partes activas accesibles, si las hay, a un conductor de protección que forma parte del cableado fijo de la instalación. La protección en caso de defecto en el aislamiento principal depende del entorno.

MATERIAL DE CLASE I Material en el cual la protección contra el choque eléctrico no se basa únicamente en el aislamiento principal, sino que comporta una medida de seguridad complementaria en forma de medios de conexión de las partes conductoras accesibles a un conductor de protección puesto a tierra, que forma parte del cableado fijo de la instalación, de forma tal que las partes conductoras accesibles no puedan presentar tensiones peligrosas.

MATERIAL DE CLASE II Material en el cual la protección contra el choque eléctrico no se basa únicamente en el aislamiento principal, sino que comporta medidas de seguridad complementarias, tales como el doble aislamiento o aislamiento reforzado.

Estas medidas no suponen la utilización de puesta a tierra para la protección y no dependen de las condiciones de la instalación.

Este material debe estar alimentado por cables con doble aislamiento o con aislamiento reforzado.

MATERIAL DE CLASE III Material en el cual la protección contra el choque eléctrico no se basa en la alimentación a muy baja tensión y en el cual no se producen tensiones superiores a 50 V en c.a. o a 75 V en c.c.

NIVEL DE AISLAMIENTO Para un aparato determinado, característica definida por una o más tensiones especificadas de su aislamiento.

NIVEL DE PROTECCIÓN (DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES) Son los valores de cresta de las tensiones más elevadas en los bornes de un dispositivo de protección cuando está sometido a sobretensiones de formas normalizadas y valores asignados bajo condiciones especificadas.

PARTES ACCESIBLES SIMULTÁNEAMENTE Conductores o partes conductoras que pueden ser tocadas simultáneamente por una persona o, en su caso, por animales domésticos o ganado.

NOTA: Las partes simultáneamente accesibles pueden ser: Partes activas; masas, elementos conductores de protección, tomas de tierra.

PARTES ACTIVAS Conductores y piezas conductoras bajo tensión en servicio normal.

Incluyen el conductor neutro o compensador y las partes a ellos conectadas.

Excepcionalmente, las masas no se considerarán como partes activas cuando estén unidas al neutro con finalidad de protección contra contactos indirectos.

PERFORACIÓN (RUPTURA ELÉCTRICA) Fallo dieléctrico de un aislamiento por defecto de un campo eléctrico elevado o por la degradación físico-química del material aislante.

POTENCIA PREVISTA O INSTALADA Potencia máxima capaz de suministrar una instalación a los equipos y aparatos conectados a ella, ya sea en el diseño o en su ejecución respectivamente.

POTENCIA NOMINAL DE UN MOTOR Es la potencia mecánica disponible sobre su eje, expresada en vatios, kilovatios o megavatios.

PROTECCIÓN CONTRA CHOQUES ELÉCTRICOS EN SERVICIO NORMAL Prevención de contactos peligrosos, de personas o animales, con las partes activas.

PROTECCIÓN CONTRA CHOQUES ELÉCTRICOS EN CASO DE DEFECTO Prevención de contactos peligrosos de personas o de animales con:

- Masas.
- Elementos conductores susceptibles de ser puestos bajo tensión en caso de defecto.

PUNTO A POTENCIAL CERO Punto del terreno a una distancia tal de la instalación de toma de tierra, que el gradiente de tensión resulta despreciable, cuando pasa por dicha instalación una corriente de defecto.

PUNTO NEUTRO Es el punto de un sistema polifásico que, en las condiciones de funcionamiento previstas, presenta la misma diferencia de potencial, con relación a cada uno de los polos o fases del sistema.

RED DE DISTRIBUCIÓN El conjunto de conductores con todos sus accesorios, sus elementos de sujeción, protección, etc., que une una fuente de energía con las instalaciones interiores o receptoras.

RESISTENCIA LIMITADORA Resistencia que se intercala en un circuito para limitar la corriente circulante.

Resistencia de puesta a tierra.

Relación entre la tensión que alcanza con respecto a un punto a potencial cero una instalación de puesta a tierra y la corriente que la recorre.

RESISTENCIA GLOBAL O TOTAL DE TIERRA Es la resistencia de tierra medida en un punto, considerando la acción conjunta de la totalidad de las puestas a tierra.

SOBREINTENSIDAD Toda corriente superior a un valor asignado. En los conductores, el valor asignado es la corriente admisible.

SUELO O PARED NO CONDUCTOR

Suelo o pared no susceptibles de propagar potenciales.

Se considerará así al suelo (o la pared) que presentan una resistencia igual o superior a 50.000Ω si la tensión nominal de la instalación es mayor o igual a 500 V y una resistencia igual o superior a 100.000Ω si es superior a 500 V.

La medida de aislamiento de un suelo se efectúa recubriendo el suelo con una tela húmeda cuadrada de, aproximadamente 270 mm de lado, sobre la que se dispone una placa metálica no oxidada, cuadrada de 250 mm de lado y cargada con una masa M de, aproximadamente, 75 Kg. (peso medio de una persona).

Se mide la tensión con la ayuda de un voltímetro de gran resistencia interna (R_1 , no inferior a 3.000Ω), sucesivamente:

- Entre un conductor de fase y la placa metálica, (U_2).
- Entre este mismo conductor de fase y una toma de tierra, eléctricamente distinta T, de resistencia despreciable con relación a R_1 , se mide la tensión U_1 .

La resistencia buscada viene dada por la fórmula:

$$R_s = R_1 \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Se efectúan en un mismo local tres medidas por lo menos, una de las cuales sobre una superficie situada a un metro de un elemento conductor, si existe, en el local considerado.

Ninguna de estas tres medidas deber ser inferior a 50.000 W para poder considerar el suelo como no conductor.

Si el punto neutro de la instalación está aislado de tierra, es necesario, para realizar esta medida, poner temporalmente a tierra una de las fases no utilizada para la misma.

TENSIÓN DE CONTACTO Tensión que aparece entre partes accesibles simultáneamente, al ocurrir un fallo de aislamiento.

NOTAS:

1. Por convenio este término sólo se utiliza en relación con la protección contra contactos indirectos.
2. En ciertos casos el valor de la tensión de contacto puede resultar influido notablemente por la impedancia que presenta la persona en contacto con esas partes.

TENSIÓN DE DEFECTO Tensión que aparece a causa de un defecto de aislamiento, entre dos masas, entre una masa y un elemento conductor, o entre una masa y una toma de tierra de referencia, es decir, un punto en el que el potencial no se modifica al quedar la masa en tensión.

TENSIÓN NOMINAL (O ASIGNADA) Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y, para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Para los sistemas trifásicos se considera como tal la tensión compuesta.

TENSIÓN CON RELACIÓN O RESPECTO A TIERRA Se entiende como tensión con relación a tierra:

- En instalaciones trifásicas con neutro aislado o no unido directamente a tierra, a la tensión nominal de la instalación.

- En instalaciones trifásicas con neutro unido directamente a tierra, a la tensión simple de la instalación.
- En instalaciones monofásicas o de corriente continua, con punto mediano puesto a tierra, a la mitad de la tensión nominal.

NOTA: Se entiende por neutro unido directamente a tierra, la unión a la instalación de toma de tierra, sin interposición de una impedancia limitadora.

TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA (TENSIÓN A TIERRA) Tensión entre una instalación de puesta a tierra y un punto a potencial cero, cuando pasa por dicha instalación una corriente de defecto.

TIERRA Masa conductora de la tierra en la que el potencial eléctrico en cada punto se toma, convencionalmente, igual a cero.

TIERRA LEJANA Electrodo de tierra conectado a un aparato y situado a una distancia suficiente del mismo para que sea independiente de cualquier otro electrodo de tierra situado cerca del aparato.

TOMA DE TIERRA Electrodo, o conjunto de electrodos, en contacto con el suelo y que asegura la conexión eléctrica con el mismo.