

NORMA IRAM 2281-3

Junio 1996*

ICS 29.020

**CNA 0000

**PUESTA A TIERRA
DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
INSTALACIONES INDUSTRIALES Y
DOMICILIARIAS (INMUEBLES)
Y REDES DE BAJA TENSIÓN**

Código de práctica



INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACION

* Corresponde a la revisión de la norma IRAM 2281 - Parte III: 1984, a la que la presente anulará y reemplazará.

** Corresponde a la Clase Nacional de Abastecimiento asignada por el Servicio Nacional de Catalogación dependiente del Ministerio de Defensa.

PREFACIO

La revisión de esta norma estuvo a cargo de los organismos respectivos, integrados de la forma siguiente:

Subcomité de Procedimientos para puesta a tierra

Integrante	Representó a:
Ing. J. C. Arcioni	SEGBA S.A - EDESUR S.A y A.E.A.
Sr. G. L. Biasi	F.A.C.B. S.A.
Ing. J. Grimberg	TELEFONICA DE ARGENTINA S.A.
Ing. H. Gómez	D.G.F.M.
Ing. R. O. Grunauer	F.A.C.B. S.A.
Ing. C. A. Liguori	A.I.S.A.
Ing. R. Lupo	TELEFONICA DE ARGENTINA S.A.
Ing. E. Niesz	ENACE S.A.
Ing. D. F. Pepe	SADE I.C.S.A.
Ing. O. Raiti	E.S.E.B.A. S.A
Ing. E. G. Rodriguez Ojeda	D.E.B.A.
Sr. J. R. Zabala	ACYEDE y ZABALA y ASOCIADOS
Ing. S. D. Carmona	IRAM

Comité General de Normas (C.G.N.)

Dr. V. Alderuccio	Ing. J. Kostic
Ing. J. Arcioni	Ing. J. Magnosio
Ing. J. V. Casella	Ing. S. Mardyks
Dr. E. Catalano	Ing. R. Martínez
Ing. D. Donegani	Ing. N. O'Neill
Lic. C. A. Grimaldi	Dr. A. F. Otamendi
Dr. A. Grosso	Sr. F. R. Soldi
Ing. S. Ituarte	Prof. M. P. Mestanza

Antecedentes

En la revisión de esta norma se han tenido en cuenta los antecedentes siguientes:

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC 364-4-41/82 - Electrical instalations of buildings - Part 4 - Protection for safety - Chapter 41: Protection against electric shock.

AEA - ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA

Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles. Edición: en estudio correspondiente a la revisión de la edición aprobada del 1987/11/30 con segunda reimpresión del 1992/07.

IRAM - INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES

IRAM 2281 - Parte III/84 - Puesta a tierra de sistemas eléctricos. Código de práctica - Consideraciones particulares para inmuebles.

(Continúa en página 48)

INDICE

	Página
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	5
2 NORMAS PARA CONSULTA	6
3 DEFINICIONES	6
4 FUNDAMENTOS GENERALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	8
4.1 Desconexión de la alimentación	8
4.2 Puesta a tierra	10
4.3 Conexiones equipotenciales	10
5 CONDICIONES PARTICULARES QUE TIENEN QUE CUMPLIR LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	16
5.1 Descripción de los lazos de falla de acuerdo con la tabla 3 columna 2	16
5.2 Descripción de la puesta a tierra de las masas de acuerdo con la tabla 3 columna 3	21
5.3 Condiciones que deben cumplir los dispositivos de protección y las impe- dancias de los circuitos	21
5.4 Condiciones especiales y recomendaciones de acuerdo con la tabla 3 columna 5	21
6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	22
6.1 Electrodo de tierra	22
6.2 Conductores de protección y colectores	24
7 CONSTRUCCION DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	27
7.1 Electrodo dispersores o de puesta a tierra	27
7.2 Conductor de protección	28
7.3 Conexión de las masas a la instalación de puesta a tierra	29
8 COMPROBACIONES Y MEDICIONES	30
9 PROTECCION COMPLEMENTARIA PARA EQUIPOS CON ALTAS CORRIENTES DE FUGA	32
ANEXO A - MÉTODO PARA CALCULAR EL FACTOR K DEL PÁRRAFO 6.2	35
ANEXO B - EJEMPLOS DE PUESTA A TIERRA	36
ANEXO D - INSTRUMENTOS PARA LA MEDICION DE LA CORRIENTE DE FUGA A TIERRA	43
ANEXO E - CORRIENTE DE FUGA A TIERRA PARA EQUIPOS DESTINADOS A SER CONECTADOS DIRECTAMENTE A SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN IT	44

**PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
INSTALACIONES INDUSTRIALES Y DOMICILIARIAS
(INMUEBLES) Y REDES DE BAJA TENSIÓN
Código de práctica**

ICS 29.020
**CNA 0000

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Objeto

1.1.1 Especificar las características esenciales que deben reunir las puestas a tierra de protección de las personas, animales y bienes en las instalaciones eléctricas de baja tensión, para prevenir los efectos patológicos en el cuerpo humano, en los animales y los daños contra la propiedad que puede provocar la corriente eléctrica.

1.2 Campo de aplicación

1.2.1 Las prescripciones de esta norma se aplican a las instalaciones de puesta a tierra de inmuebles industriales, incluyendo sus instalaciones de alumbrado y fuerza motriz; inmuebles no industriales, como son los edificios para viviendas unifamiliares, comercios, oficinas públicas y privadas, hospitales, sanatorios, edificios de propiedad horizontal, edificios torre, hoteles, institutos educacionales, bancos, etc. y también a las redes de distribución, alimentación, etc. de baja tensión.

1.2.2 Se aplica también a las instalaciones de centrales telefónicas y telegráficas, equipamiento electrónico, equipos de procesamiento de datos, etc., a los que se le deben agregar la prescripciones particulares de la norma IRAM 2 281-5.

1.2.3 Están fuera del campo de aplicación de esta norma las tomas de tierra de instalaciones con tensiones nominales mayores que 1 kV tales como las centrales, subestaciones y redes de distribución de energía eléctrica (objeto de la norma IRAM 2 281 - Parte IV) y las instalaciones contra descargas atmosféricas (correspondientes a la norma IEC 1024***).

* Corresponde a la revisión de la norma IRAM 2281-Parte III:1981, a la que la presente anulará y reemplazará.

** Corresponde a la Clase Nacional de Abastecimiento asignada por el Servicio Nacional de Catalogación dependiente del Ministerio de Defensa.

*** Mientras no haya norma IRAM actualizada sobre el tema se utilizará la norma IEC mencionada.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones, las cuales, mediante su cita en el texto, se transforman en disposiciones válidas para la presente norma IRAM. Las ediciones indicadas eran las vigentes en el momento de su publicación.

Todo documento es susceptible de ser revisado y las partes que realicen acuerdos basados en esta norma se deben esforzar para buscar la posibilidad de aplicar sus ediciones más recientes.

Los organismos internacionales de normalización y el IRAM, mantienen registros actualizados de sus normas.

IRAM 2022:1988 - Conductores.

IRAM 2169:1993 - Interruptores automáticos.

IRAM 2180:1993 - Clases de aislación.

IRAM 2245:1984 - Fusibles de baja tensión.

IRAM 2281-1:1996 - Puesta a tierra. Generalidades.

IRAM 2281 - Parte II:1986 - Puesta a tierra. Guía de mediciones.

IRAM 2281 - Parte IV:1989 - Puesta a tierra. Centrales, subestaciones y redes.(de media y alta tensión)

IRAM 2281-5:1994 - Puesta a tierra de sistemas de telecomunicaciones (telefonía, telemedición y equipos de procesamiento de datos)

IRAM 2281 - Parte VI (En estudio) - Puesta a tierra. Vocabulario.

IRAM 2301:1981 - Interruptores diferenciales.

IRAM 2309:1989 - Jabalinas cilíndricas de acero-cobre.

IRAM 2310:1990 - Jabalinas cilíndricas de acero cincado.

IRAM 2371 - Parte I:1987 - Efectos del paso de la corriente por el cuerpo humano - Parte I: Aspectos generales.

IRAM 2466:1992 - Alambre de acero-cobre.

IRAM 2467:1992 - Conductores de acero recubiertos de cobre.

IRAM 2379:1985 - Sistemas de distribución eléctrica en corriente alterna.

IRAM-IAS U 500-2005-1:1987 - Caños, curvas y cuplas de acero al carbono, roscados, para instalaciones eléctricas. Tipo semipesado.

IRAM-IAS U 500-2224-1:1987 - Caños, curvas y cuplas de acero al carbono, roscados o lisos para inslaciones eléctricas. Tipo liviano.

IEC 364-5-54:1980 - Instalaciones en edificios. Disposición de la puesta a tierra y conductores de protección.

IEC 479-2:1987 - Efectos del paso de la corriente por el cuerpo humano. Parte 2: Aspectos especiales.

IEC 1024-1:1990 - Protección de estructuras contra los rayos - Sección 1 - Principios.

IEC 1024-1-1:1993 - Protección de estructuras contra los rayos - Sección 1: Guía A - Selección de los niveles de protección contra los rayos.

3 DEFINICIONES

3.1 masa. Partes metálicas accesibles de los elementos de la instalación y de los aparatos eléctricos que están separadas de las partes bajo tensión solamente por una aislación básica, y que son susceptibles de ser puestas bajo tensión a consecuencia de una falla. Esta falla puede resultar de un defecto básico de la aislación básica, o de las disposiciones de fijación y protección.

Nota: Son masas las piezas metálicas que forman parte de las canalizaciones eléctricas, los soportes de los aparatos eléctricos con aislación básica y las piezas colocadas en contacto con la envoltura exterior de estos aparatos. Por extensión; también puede ser necesario considerar como masa todo objeto metálico situado en la proximidad de partes bajo tensión no aisladas y que presente un riesgo apreciable de encontrarse unido eléctricamente con esas partes bajo tensión, a consecuencia de una falla de los elementos de fijación (por ejemplo, aflojamiento de una conexión, rotura de un conductor, etc.).

3.2 puesta a tierra. Conjunto de todos los medios y disposiciones para conectar o "poner a tierra" (ver 3.4).

3.3 instalación de puesta a tierra. Conjunto de elementos, unidos eléctricamente a la masa de la Tierra, con la finalidad de proteger personas, animales y bienes de los efectos dañinos de la corriente eléctrica, o fijar un potencial de referencia o conducir a tierra las corrientes de rayos u otras descargas eléctricas atmosféricas. Se compone de la totalidad de los electrodos dispersores, conductores de protección, conductores colectores y puentes (o placas) colectores.

3.4 conectar o "poner a tierra". Conectar eléctricamente con la tierra conductora (suelo), mediante la instalación de puesta a tierra, un punto del circuito de servicio o una parte no perteneciente a él.

3.5 electrodos dispersores o de puesta a tierra o "tomas de tierra". Conductores introducidos en el suelo y conectados eléctricamente a éste mediante una unión íntima, conductora de corriente, tales como: placas, cintas, jabalinas, cables, alambres, etc. o conductores embutidos o embebidos en hormigón que están en contacto íntimo con el suelo en una superficie grande. Las partes desnudas (no aisladas) de las conexiones enterradas, se considerarán como partes integrantes del electrodo dispersor.

3.5.1 electrodos específicos (o artificiales). Son los preparados expresamente para la instalación de puesta a tierra.

3.5.2 electrodo de tierra natural. Pieza metálica que está en contacto directo con la tierra o el agua, o bien a través de hormigón y cuyo objetivo principal no es la puesta a tierra, pero que actúa como un electrodo de tierra. Por ejemplo: cañerías, armaduras de hormigón, piezas de acero de edificios, etc.

3.6 conductores de protección. Los que unen las masas con la toma de tierra directamente o a través del conductor colector.

3.7 conductor colector. Conductor al que se encuentran conectados varios conductores de protección.

3.8 puente o placa colector. Placa o planchuela de bronce o cobre destinada a conectar los conductores de protección y colectores, los electrodos dispersores (específicos o naturales) y las masas.

3.9 tierra de referencia o suelo eléctricamente neutro. Zona del terreno, en particular de su superficie, tan alejada del electrodo dispersor que no existen diferencias de potencial entre distintos puntos en esta zona.

3.10 resistencia de puesta a tierra o de dispersión. Cociente entre la tensión que alcanza un punto de la instalación de puesta a tierra con respecto a la tierra de referencia y la corriente que circula por ella.

3.11 resistencia global. Resistencia de puesta a tierra considerando la acción conjunta de la totalidad de las tomas de tierra interconectadas.

3.12 tensión de puesta a tierra U_e . Aquella que se produce entre una instalación de puesta a tierra y la tierra de referencia (suelo eléctricamente neutro).

3.13 tensión de contacto U_c . Diferencia de potencial (parte de la tensión de puesta a tierra) a la que puede quedar sometido el cuerpo humano entre la mano y el pie o entre una mano y la otra (distancia horizontal de aproximadamente 1 m entre partes afectadas).

3.14 tensión del paso U_p . Diferencia de potencial (parte de la tensión de puesta a tierra) que aparece entre dos puntos separados por una distancia igual al paso normal humano (aproximadamente 1 m) sobre la superficie de apoyo de los pies (tierra, césped, suelo, vereda, pavimento, etc.).

3.15 contacto directo (personal). Contacto accidental de una persona con partes activas (bajo tensión) de aparatos, máquinas, artefactos e instalaciones eléctricas.

3.16 contacto indirecto (personal). Contacto de una persona con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

3.17 choque eléctrico. Efecto fisiológico ó patológico debido al paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano.

3.18 tensión de seguridad. La que no produce efectos patológicos a una persona aún cuando esté expuesta indefinidamente a esa tensión.

3.19 superficie no conductora. Se considera así a la superficie (suelo, pared, etc.) que presenta una superficie de aislación no menor que 50 k Ω para tensiones nominales menores o iguales que 500 V ó 100 k Ω para tensiones nominales mayores que 500 V y que se determina como se indica en el apartado 8.

3.20 corriente máxima de falla a tierra. Valor máximo de la corriente de falla a tierra simétrica que puede circular por la instalación.

4 FUNDAMENTOS GENERALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

4.1 Desconexión de la alimentación

El corte automático de la alimentación se requiere cuando en el caso de una falla eléctrica se puede producir un efecto patofisiológico peligroso sobre una persona, a raíz de la magnitud y de la duración de la tensión de contacto (ver la norma IRAM 2371 - Parte I e IEC 479-2 (*)).

Esta medida de protección necesita de la coordinación entre los sistemas de puesta a tierra, las características de los conductores de protección y los dispositivos de protección.

Nota: Cuando se utilice el tipo de sistema de puesta a tierra IT, no se requiere desconexión automática para la primera falla (ver capítulo 5 y tabla 3).

(*) Mientras no se finalice el estudio de la norma IRAM 2371-II se utilizará la mencionada IEC.

4.1.1 Tiempo de desconexión. El tiempo de desconexión será tal que, de establecerse una tensión presunta de contacto mayor que 24 V de valor eficaz en corriente alterna de frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 60 Hz o que 60 V en corriente continua sin ondulación, su duración no sea la suficiente como para originar un riesgo de efecto patofisiológico peligroso sobre una persona u otro ser vivo que pudiera estar en contacto simultáneo con dos o más masas (partes conductoras accesibles).

Nota: El término "sin ondulación" se define convencionalmente por una amplitud de ondulación no mayor que el 10 % en valor eficaz (para una tensión continua de 60 V, el máximo valor de cresta no excederá de 70 V).

4.1.1.1 La duración máxima admisible de la tensión de contacto U_c se da en las tablas 1 y 2, según las condiciones del contacto personal.

4.1.1.2 Los valores de la tabla 1 son válidos si se cumplen las condiciones siguientes:

- Los locales considerados son secos o húmedos.
- La corriente que pasa a través del cuerpo humano está limitada por la presencia de resistencias exteriores tales como zapatos, guantes, la resistencia del suelo, etc.

4.1.1.3 En instalaciones o locales particularmente riesgosos, se pueden requerir valores menores de tensión, del tiempo de desconexión o de ambos. Por ejemplo, para locales mojados, considerando que la corriente pasa a través del cuerpo humano sin limitación alguna de dicha corriente por la presencia de resistencias exteriores al cuerpo humano, se aplica la tabla 2.

Tabla 1 - Duración máxima admisible de la tensión de contacto

Tensión de contacto presunta U_c (V)	Tiempo de desconexión máximo del dispositivo de protección	
	Corriente alterna (s)	Corriente continua (s)
hasta 24	infinito	infinito
$24 < U_c < 50$	5	infinito
50	5	infinito
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10

Tabla 2 - Duración máxima de la tensión de contacto en instalaciones particularmente riesgosas

Tensión de contacto presunta U_c (V)	Tiempo de desconexión máximo del dispositivo de protección	
	Corriente alterna (s)	Corriente continua (s)
24	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,15	0,50
150	0,12	0,25
230	0,05	0,06
280	0,02	0,02

4.2 Puesta a tierra

4.2.1 Las masas (partes conductoras accesibles) estarán conectadas a los conductores de protección en las condiciones especificadas para cada tipo de sistema de puesta a tierra; TN, TT, IT según el capítulo 5.

4.2.2 Las masas simultáneamente accesibles deben estar conectadas al mismo sistema de puesta a tierra en forma individual, por grupos o colectivamente.

Nota: Para las disposiciones de puesta a tierra y los conductores de protección (ver los capítulos 5 y 6).

4.2.3 El sistema de puesta a tierra será eléctricamente continuo y tendrá la capacidad de soportar la corriente de cortocircuito máxima considerando los tiempos de actuación de las protecciones instaladas en el circuito.

4.2.4 El conductor de protección no será seccionado electricamente en punto alguno ni pasará por el dispositivo de protección por corriente diferencial residual, en el caso que este último forme parte de la instalación.

4.2.5 Si se prevé una corrosión intensa en el punto de transición de los conductores al suelo, deben tomarse las disposiciones adecuadas (por ejemplo: recubrimiento con envolturas protectoras de corrosión o refuerzo de la sección transversal).

4.3 Conexiones equipotenciales (*)

4.3.1 **Conexión equipotencial principal.** En cada edificio, un conductor de equipotencialización (LP) debe interconectar los elementos conductores siguientes (ver figura 1):

- conductor colector o conductor principal de protección (P.E.);
- electrodo dispensor o de puesta a tierra (E);
- canalizaciones y redes de alimentación metálicas en el interior del edificio (por ejemplo: agua, gas, etc.) (C).

(*) Ver Informe Técnico.

- elementos metálicos de la construcción (H° A°), y en la medida de lo posible canalizaciones de calefacción central o de aire acondicionado;
- red pública de agua fría (F).

Cuando tales elementos conductores provengan del exterior del edificio se conectarán al conductor de equipotencialización en el punto más próximo posible a su entrada en el edificio.

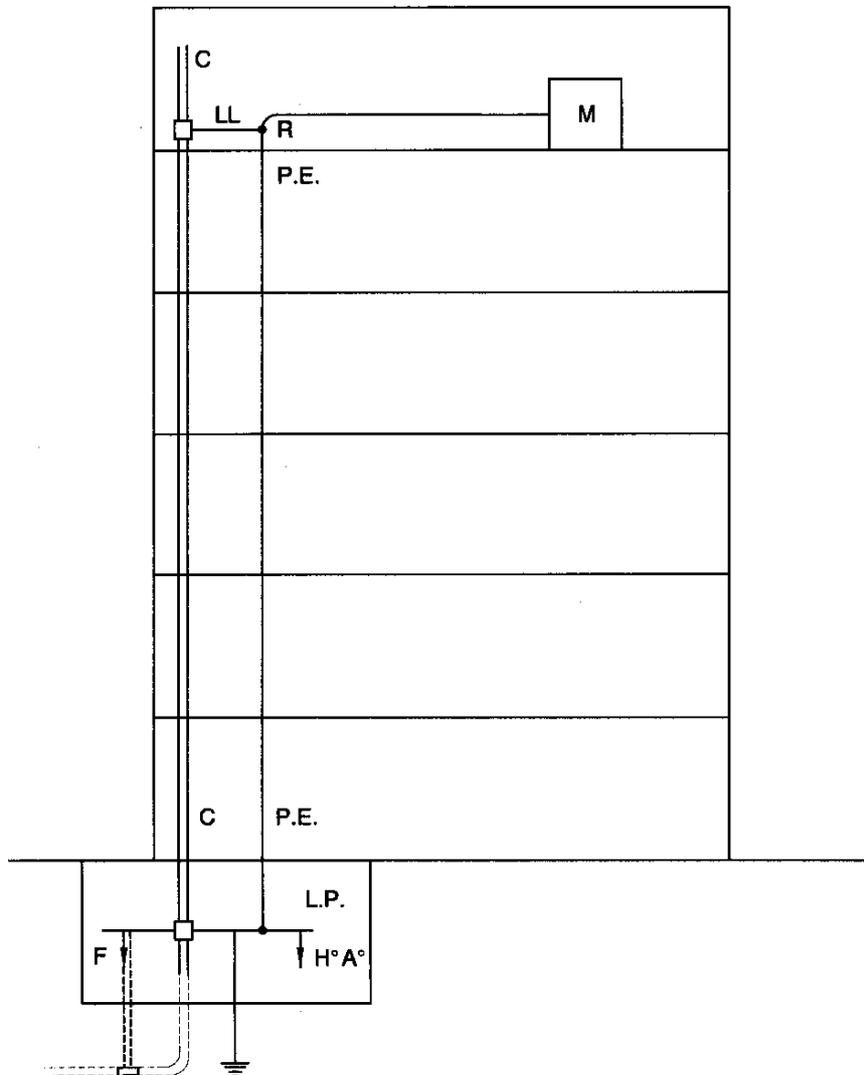
Los conductores de equipotencialización principales cumplirán las prescripciones del párrafo 6.2.

La conexión equipotencial podrá incluir los cables de telecomunicaciones según se indica en la norma IRAM 2281-5.

4.3.2 Conexión equipotencial suplementaria. Para poder cumplir con las condiciones de protección puede ser necesario realizar una conexión equipotencial local (LL, figura 1), llamada conexión equipotencial suplementaria.

Esta conexión equipotencial suplementaria puede incluir toda la instalación, parte de ella, un aparato o un lugar.

Para locales peligrosos pueden ser necesarios otros requisitos adicionales.



donde:

- LP: conductor de equipotencialización;
- PE: conductor colector principal de protección;
- LL: conexión equipotencial local;
- R: punto de referencia
- M: masa (parte conductora accesible);
- E: electrodo dispersor o de puesta a tierra;
- C: canalizaciones o redes de alimentación metálicas.
- F: cañería de la red pública de agua fría (ver Informe técnico).
- H°A°: armadura de hierro del hormigón estructural del edificio.

Figura 1 - Ejemplo de equipotencialización (ver 4.3)

Tabla 3 - Condiciones particulares que tienen que cumplir las instalaciones de puesta a tierra

1	2	3	4	5	6
1	Sistema de puesta a tierra según IRAM 2 379 Lazo o bucle de falla	Puesta a tierra de las masas	Condiciones que deben cumplir los dispositivos de protección y las impedancias de los circuitos	Condiciones especiales y recomendaciones	Dispositivos de protección utilizados
2	TN 5.1.1 Fig. 2	5.2.1	$Z_s \cdot I_{a0} \leq U_0 \text{ y}$ $Z_{PE} \leq Z_s \cdot \frac{50V}{U_0}$	5.4.1 5.4.2 5.4.3 5.4.4 5.4.5	Contra sobretensiones. De corriente diferencial de fuga (solamente en el caso de TN-S)
3	TT 5.1.2 Fig. 3	5.2.2	$R_a \cdot I_a \leq U_c$	5.4.4	De corriente diferencial de fuga. Contra sobretensiones (solamente si R_a es muy pequeño)
4	TT 5.1.3 Fig. 4	5.3.1	$R_a \cdot I_d \leq 24 V^* \text{ y}$ $R_a \cdot I_a \leq U_c$	5.4.4	Contra fallas de aislación. Contra sobretensiones. De corriente diferencial de fuga
		5.3.2	$R_a \cdot I_d \leq 24 V^* \text{ y}$ $Z_{Sf} \cdot I_{a0} \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2} \delta$ $Z_{S0} \cdot I_{a0} \leq \frac{U_0^{**}}{2}$		

(Continúa en la página siguiente)

(Continuación de la página anterior)

1	2	3	4	5	6
Sistema de puesta a tierra según IRAM 2379	Lazo o bucle de falla Fig. 5	Puesta a tierra de las masas	Condiciones que deben cumplir los dispositivos de protección y las impedancias de los circuitos	Condiciones especiales y recomendaciones	Dispositivos de protección utilizados
5	5.1.4 Fig. 5	5.3.1	$R_a \cdot I_d \leq 24 V^* y R_a \cdot I_a \leq U_C$	5.4.4	Idem
		5.3.2	$R_a \cdot I_d \leq 24 V^* y$ $Z_{Sf} \cdot I_{a0} \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2} \text{ ó } Z_{S0} \cdot I_{a0} \leq \frac{U_{0**}}{\sqrt{2}}$		
6	5.1.5 Fig. 6	5.2.1	$Z_{Sf} \cdot I_{a0} \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2}$	5.4.1 5.4.2 5.4.3 5.4.4 5.4.6	Idem
			$Z_{S0} \cdot I_{a0} \leq \frac{U_{0**}}{2}$		

* si se cumple esta condición no es necesario interrumpir la primera falla.

** Esta fórmula se aplica solamente si existe el conductor neutro.

siendo:

- U_0 : la tensión nominal entre fases y tierra.
- U_c : la tensión de contacto según tablas 1 y 2.
- I_a : la intensidad de corriente que asegura el funcionamiento automático del dispositivo de protección en los tiempos definidos en las tablas 1 y 2.
- I_{a_0} : la intensidad de corriente mínima que asegura el funcionamiento del dispositivo de desconexión automática en el tiempo definido en la tabla 4 en función de la tensión nominal U_0 o en las condiciones definidas en el punto 5.3.2 en un tiempo no mayor que 5 s.
- I_d : la intensidad de corriente de falla en el caso de la primera falla franca entre conductor de fase y una masa.
- Z_s : la impedancia del bucle de falla comprendiendo la fuente, el conductor activo hasta el punto de falla y el conductor de protección entre el punto de falla y la fuente.
- R_a : la suma de las resistencias de los electrodos de puesta a tierra y de las resistencias de los conductores de protección de las masas.
- Z_{s_f} : la impedancia del lazo o bucle de falla constituido por el conductor de fase y el conductor de protección del circuito.
- Z_{s_0} : la impedancia del lazo o bucle de falla constituido por el conductor neutro y el conductor de protección del circuito.
- Z_{PE} : la impedancia del conductor de protección entre el tablero de distribución y el punto de conexión del conductor de protección con la red equipotencial principal.

5 CONDICIONES PARTICULARES QUE TIENEN QUE CUMPLIR LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

5.1 Descripción de los lazos de falla de acuerdo con la tabla 3 columna 2

5.1.1 En un sistema TN, el lazo de falla está constituido por el circuito metálico que comprende, ver figura 2, el conductor activo de fase o línea en el cual ocurre la falla y el conductor de protección directamente conectado al neutro de la fuente de alimentación (conductor PE para el sistema TN-S o conductor PEN para el sistema TN-C).

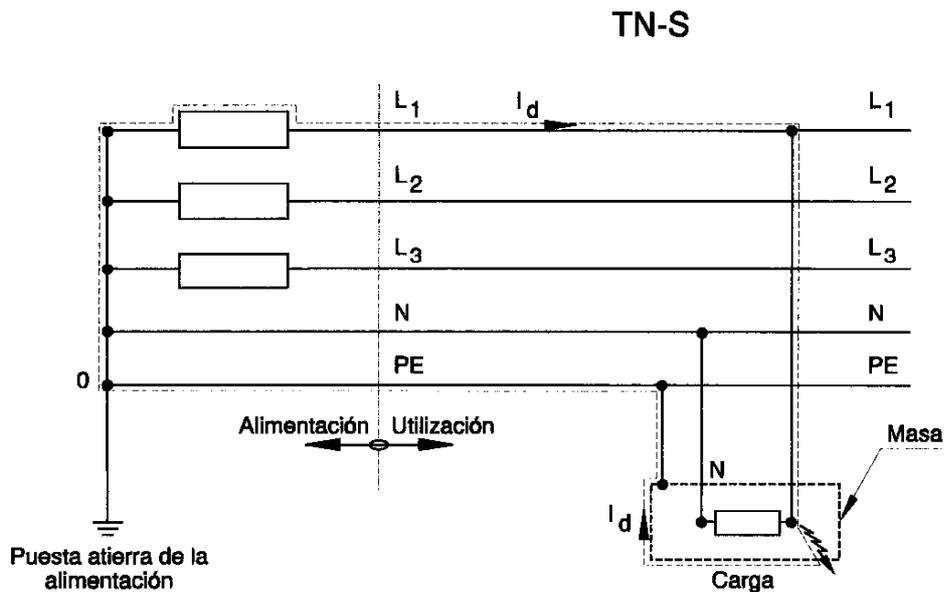


Figura 2a

Esquema eléctrico simplificado de un sistema TN-S que ilustra el principio de protección: en caso de falla entre una fase o línea y una masa M (parte conductora accesible), una corriente de falla I_d circula por el lazo de falla. (línea de trazos).

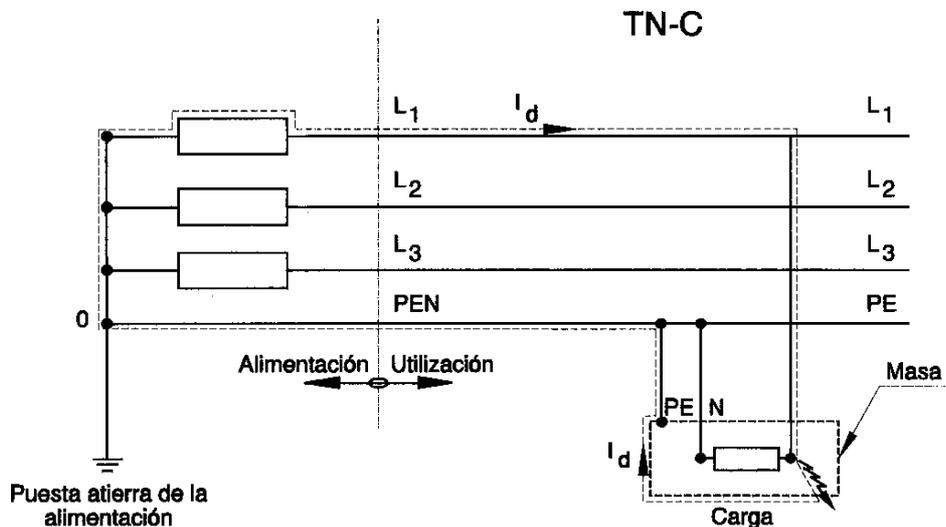


Figura 2b

Esquema eléctrico simplificado de un sistema TN-C que ilustra el principio de protección: en caso de falla entre una fase o línea y una masa M (parte conductora accesible), una corriente de falla I_d circula por el lazo de falla. (línea de trazos)

5.1.2 En un sistema TT como el indicado en la figura 3, el lazo de falla está conștiuido por el conductor de fase o línea en el cual ocurre la falla, el conductor de protección PE que conecta las masas M con el electrodo de puesta a tierra, el electrodo conștiuido por la puesta a tierra de las masas de la instalación R_a , el suelo y la puesta a tierra del neutro de la fuente de alimentación R_b .

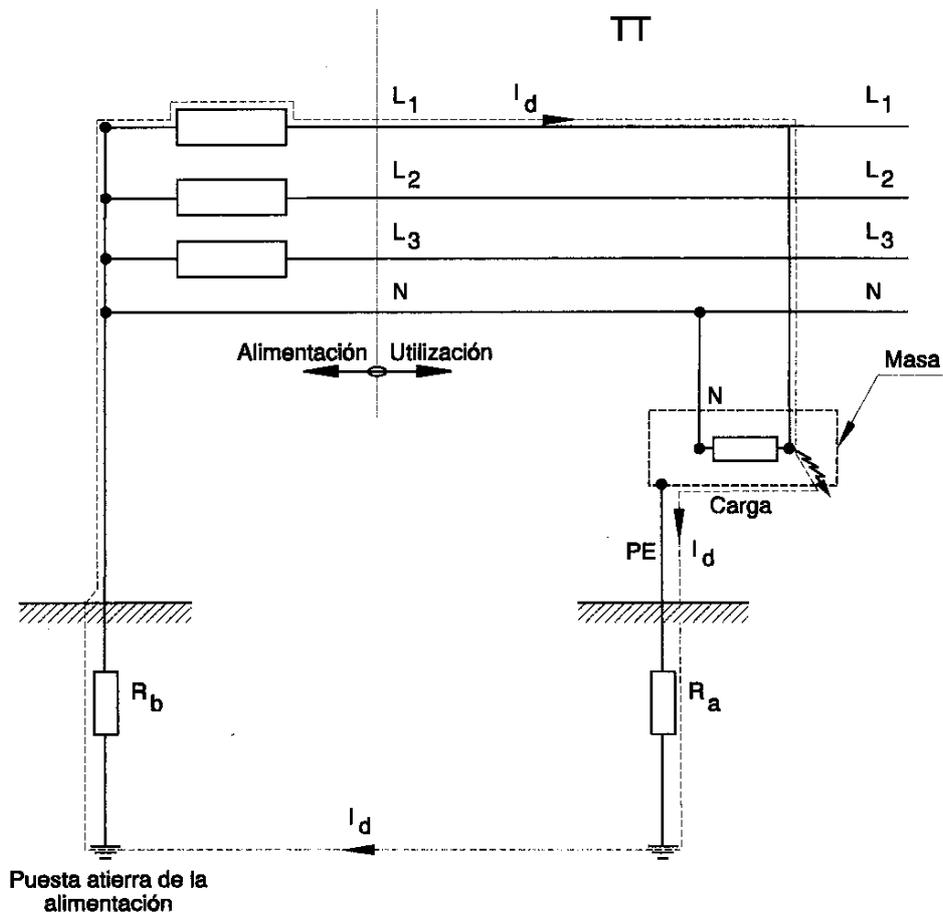


Figura 3 - Principio de protección en sistemas TT

5.1.3 En un sistema IT aislado de tierra como el indicado en la figura 4, el lazo de falla está conștiuido por el conductor de fase o línea en el cual ocurre la falla, el conductor de protección PE que conecta las masas M con el electrodo de puesta a tierra, el electrodo conștiuido por la puesta a tierra de las masas de la instalación R_a , el suelo, las capacitancias a tierra distribuidas de las otras dos fases sanas y los conductores de fase o línea de las otras dos fases.

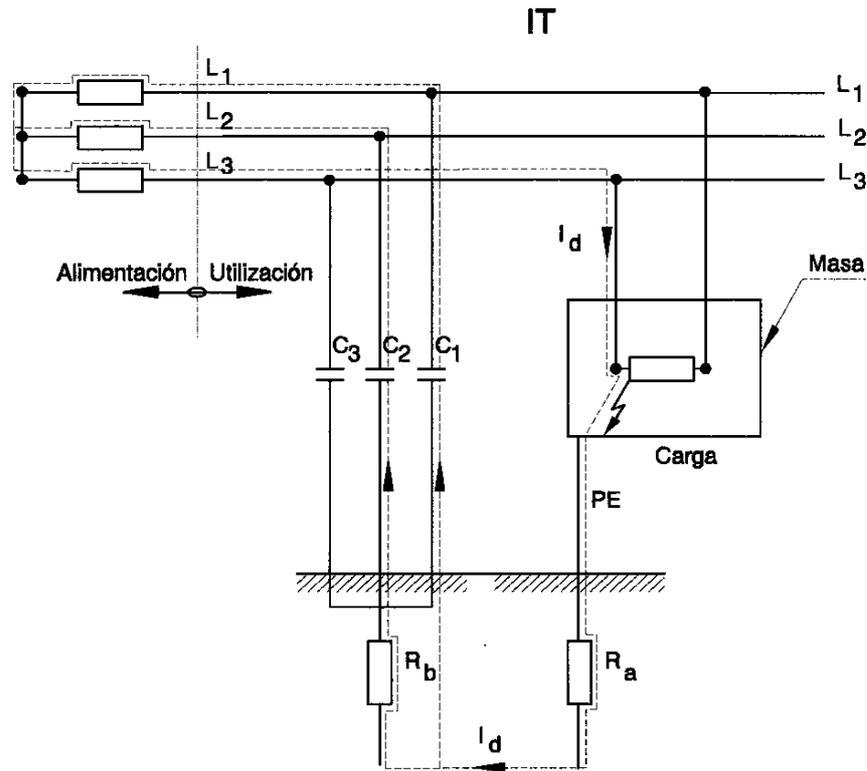


Figura 4 - Sistema IT aislado de tierra

5.1.4 En un sistema IT en el cual el neutro está conectado a tierra a través de una impedancia Z y los electrodos de tierra de la fuente R_b y de las masas R_a están separados, ver figura 5, el lazo de falla está constituido por el conductor de fase o línea en el cual ocurre la falla, el conductor de protección PE que conecta las masas M con el electrodo de puesta a tierra, el electrodo constituido por la puesta a tierra de las masas de la instalación R_a , el suelo, la puesta a tierra del neutro de la fuente de alimentación R_b y la impedancia Z .

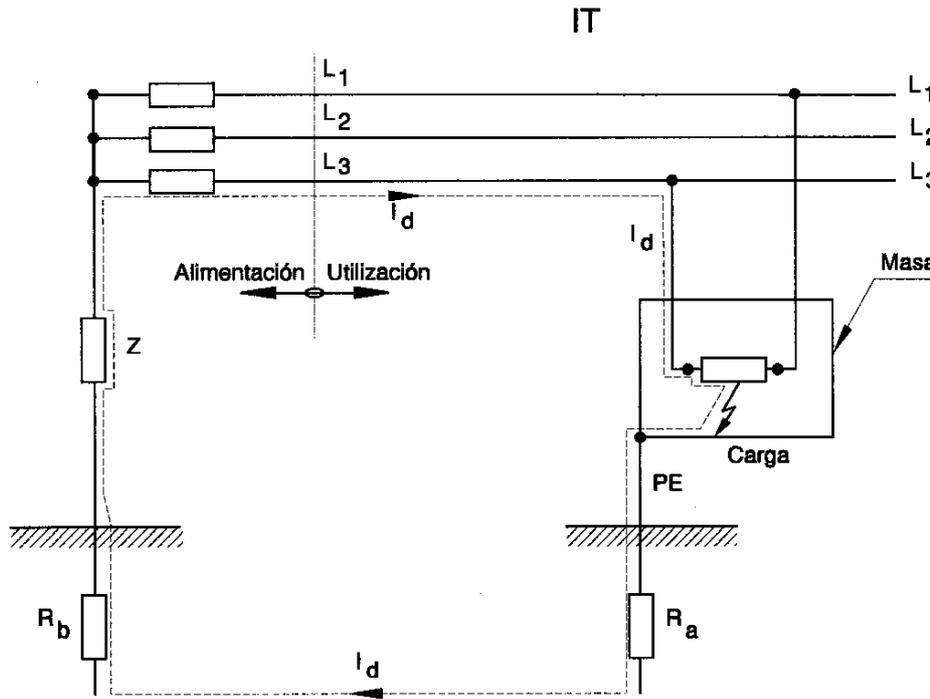


Figura 5 - Sistema IT con neutro conectado a tierra a través de una impedancia Z y donde los electrodos de la fuente y de las masas están separados

5.1.5 En un sistema IT en el cual el neutro está conectado a tierra a través de una impedancia Z y los electrodos de tierra de la fuente y de las masas están unificados R_b, ver figura 6, el lazo de falla está constituido por el circuito metálico que comorende el conductor de fase o línea en el cual ocurre la falla, el conductor de protección PE directamente conectado al neutro de la instalación y la impedancia Z.

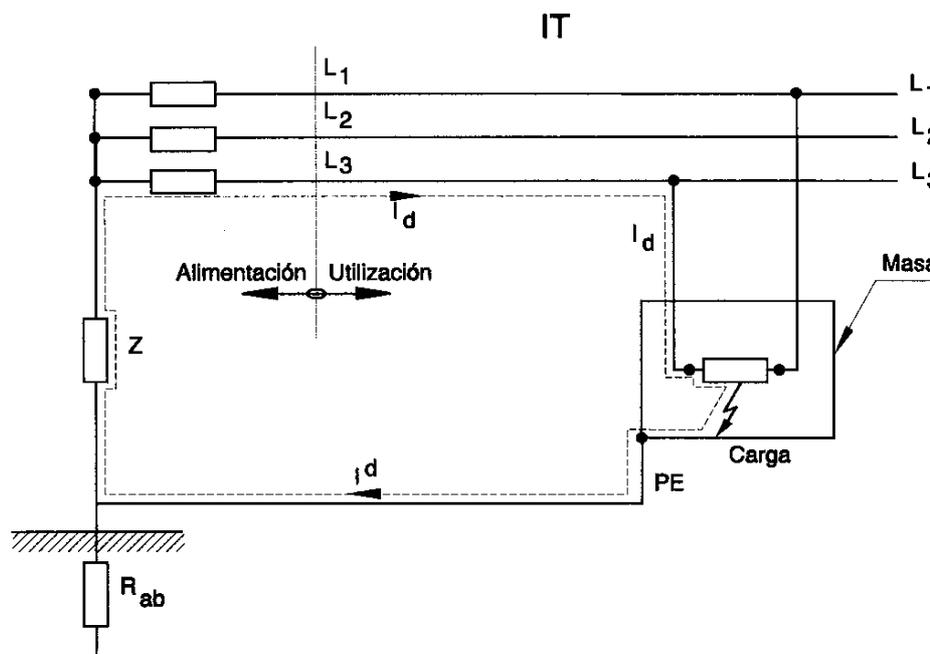


Figura 6 - Sistema IT con neutro conectado a tierra a través de una impedancia Z y donde los electrodos de la fuente y de las masas están unificados.

5.2 Descripción de la puesta a tierra de las masas de acuerdo con la tabla 3 columna 3

5.2.1 Todas las masas (partes conductoras accesibles) de la instalación deben estar conectadas al punto puesto a tierra del sistema de potencia de la alimentación a través de los conductores de protección PE que deben estar puestos a tierra en la proximidad de cada transformador de alimentación o generador.

5.2.2 Todas las masas (partes conductoras accesibles) de los equipos eléctricos protegidos por el mismo dispositivo deben estar interconectadas y unidas por un conductor de protección PE a una misma toma de tierra. Si se montan en serie varios dispositivos de protección, esta prescripción se aplica a cada grupo de masas protegido por el mismo dispositivo, de la manera siguiente:

- Individualmente o por grupos
- Colectivamente

5.3 Condiciones que deben cumplir los dispositivos de protección y las impedancias de los circuitos

5.3.1 Los tiempos de desconexión indicados en la tabla 4 se estima que satisfacen los requerimientos del punto 4.1.1 para los circuitos terminales.

Tabla 4 - Tiempos máximos admisibles de desconexión para los distintos sistemas de puesta a tierra ()**

Tensión nominal U_0/U (V)	Tiempos de desconexión (s)	
	Sistemas TN e IT sin neutro	Sistemas IT con neutro*
120/240	0,8	5
220/380	0,4	0,8
230/400	0,4	0,8
277/480	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1 000	0,1	0,2

* Los sistemas IT con neutro son de aplicación muy especial.

5.3.2 Para los circuitos de distribución (de alimentación, principales y seccionales), es admisible un tiempo de desconexión convencional mayor que los indicados en la tabla 4 pero nunca mayor que 5 s.

5.4 Condiciones especiales y recomendaciones de acuerdo con la tabla 3 columna 5

5.4.1 Si existen otras conexiones eficaces de puesta a tierra, es recomendable conectar el conductor de protección PE también a estos puntos, si es posible. Puede ser necesaria una puesta a tierra múltiple, en puntos regularmente repartidos, a los efectos de asegurar que el potencial del conductor de protección PE se mantenga en un valor lo más cercano posible al de la tierra.

(**) Valores según la norma IEC 364-4-41

5.4.2 En grandes edificios, como aquellos de gran altura (ver figura 1), las puestas a tierra adicionales de los conductores de protección PE no son posibles por razones prácticas. Las conexiones equipotenciales entre conductores de protección y otras partes conductoras extrañas cumplen una función similar a la indicada en 5.4.1.

5.4.3 También es recomendable, por la misma razón indicada en el punto 5.4.1, conectar el conductor de protección PE a la instalación de puesta a tierra en el punto de entrada de cada edificio o establecimiento.

5.4.4 Si la impedancia de los conductores de protección no es la requerida según la tabla 3, pueden considerarse las impedancias en paralelo de las conexiones equipotenciales o suplementarias (Ver figura 1).

5.4.5 En los casos excepcionales en los que puede producirse una falla directa entre un conductor de fase y la tierra, por ejemplo en el caso de líneas aéreas, se cumplirá la siguiente condición, con el fin que el conductor de protección PE y las masas conectadas a él no puedan presentar una tensión con respecto a tierra mayor que 50 V.

$$\frac{R_b}{R_e} \leq \frac{50 V}{U_o - 50 V}$$

Siendo:

R_e : resistencia mínima de contacto (falla a tierra) de aquellas partes conductoras extrañas no conectadas al conductor de protección PE y a través de las cuales se puede producir una falla fase-tierra.

5.4.6 En los casos excepcionales en los que pueda producirse una falla directa entre un conductor de fase y la tierra, se cumplirá la condición siguiente.

$$R_b \cdot I_d \leq U_C$$

6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

6.1 Electrodo de tierra

Deben cumplir con las medidas y condiciones de la tabla 5 y el modo de construcción de las tomas de tierra deberán seguir las consideraciones de la norma IRAM 2281 - Parte 1.

Tabla 5 - Medidas y condiciones que deben cumplir los electrodos de tierra con referencia a la corrosión y a la resistencia mecánica (*)

1	2	3	4	5	6	
MATERIAL	TIPO DE ELECTRODO	SECCIÓN MÍNIMA	ESPESOR MÍNIMO	OBSERVACIONES	NORMA IRAM APLICABLE	
2	Acero cincado para uso enterrado. Capa útil de cinc de 70 µm de espesor mínimo	Fleje o pletina	100 mm ²	3 mm	No apto para el hincado	IRAM-IAS U 500-43
3		Barra redonda	78 mm ² (corresponde a φ = 10 mm)	-	No apto para el hincado	IRAM-IAS U 500-14 u 85
4		Jabalina redonda	124 mm ² (corresponde a φ = 12,60 mm)	-	Jabalina JL16 x 3000 o 2 x JA16 x 1500 (mínimo recomendado)	2 310
5		Caño	145 mm ²	2 mm	φ mínimo: 25 mm	2 510
6		Barra perfilada	100 mm ²	3 mm	-	-
7		Jabalina perfilada	475 mm ²	5 mm	Jabalina JPNL - 50 x 1500	2 316
			230 mm ²	3 mm	Jabalina JPNC - 50 x 1500	2 317
8	Cobre	Fleje	50 mm ²	2 mm	-	COPANT 413 Y 418 (Cu OF ó Cu ETP)
9		Pletina	50 mm ²	2 mm	-	COPANT 412 Y 429
10		Cable	35 mm ²	-	diámetro mínimo del alambre 1,8 mm	2 022
11		Barra redonda	35 mm ² (corresponde a φ = 6,7 mm)	-	-	COPANT 412 Y 429
12		Caño	113 mm ²	2 mm	Diámetro mínimo: 20 mm	2 568 (Cu BF ó Cu LO)
13	Acero-Cobre	Jabalina redonda	124 mm ² (corresponde a φ = 12,60 mm)	-	Jabalina JL14 x 3000 ó 2 x JA14 x 1500 (mínimo recomendado)	2 309
14		Cables	35 mm ²	-	diámetro mínimo del alambre 2,5 mm	2 467
15		Barra redonda	35 mm ² (**) (corresponde a φ = 6,7 mm)	-	-	2 466

(*) Valores adaptados de la norma DIN-VDE 0141.

(**) Ver informe técnico.

6.2 Conductores de protección y colectores

Tendrán una sección no menor que la determinada por la fórmula siguiente (sólo aplicables para tiempos de actuación de hasta 5 s):

$$S = \frac{I \sqrt{t}}{K} \quad (1)$$

Siendo:

- S: la sección real del conductor de protección, en milímetros cuadrados;
- I: el valor eficaz de la corriente máxima de falla a tierra en ampere;
- t: El tiempo de actuación del dispositivo de protección (interruptor automático, fusible, etc.); en segundos;
- K: factor cuyo valor depende de la naturaleza del metal del conductor de protección, de los aislantes y otras partes, sometidas al calentamiento y de las temperaturas inicial y final.
(Para la determinación de K ver el Anexo A).

Nota: Los valores de K para los conductores de protección se indican en las tablas 6, 7 y 8, según corresponda en cada caso particular.

Tabla 6 - Valores de K para conductores de protección desnudos instalados de manera que no puedan dañar a los materiales situados en sus proximidades, a las temperaturas indicadas

				COLOCACIÓN DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN		
				Visibles en lugares protegidos(*)	En condiciones normales	Con riesgo de incendio
M E T A L D E L C O N D U C T O R	Cobre	temperaturas	inicial	30°C	30°C	30°C
			final	500°C	200°C	150°C
		K		228	159	138
	Cobre-Acero (30 %)	temperaturas	inicial	30°C	30°C	30°C
			final	500°C	200°C	150°C
		K		132	92	79
	Aluminio (**)	temperaturas	inicial	30°C	30°C	30°C
			final	300°C	200°C	150°C
		K		151	105	92
	Acero	temperaturas	inicial	30°C	30°C	30°C
			final	500°C	200°C	150°C
		K		82	58	50

(*) Nota: Se supone que los valores finales de temperaturas indicados no afectan a las conexiones del conductor.

Tabla 7 - Valores de K para los conductores de protección aislados y no incorporados a los cables y para los conductores de protección desnudos en contacto con las envolturas (o vainas) de cables

		Aislantes de conductores de protección o de la envoltura (o vainas) de cables		
		Poli(cloruro de vinilo) (PVC)	Polietileno reticulado (PEX) Etileno Propileno (EPR)	Caucho butílico
Temperaturas	Final	160°C	250°C	220°C
	Inicial	30°C	30°C	30°C
		K		
Metal del conductor	Cobre	143	176	166
	Cobre-acero 30 %	82	101	96
	Aluminio(**)	95	116	110
	Acero	52	64	60

Tabla 8 - Valores de K para conductores de protección aislados incorporados a un cable multiconductor

		AISLANTE		
		PVC	PEX EPR	Caucho butílico
temperaturas	inicial	70°C	90°C	85°C
	final	160°C	250°C	220°C
		K		
Metal del conductor	Cobre	115	143	134
	Cobre-Acero 30 %	66	83	77
	Aluminio (**)	76	95	89

**** Nota:** En las tablas 6, 7, y 8 los valores correspondientes al aluminio se dan a título informativo, según IEC 364-5-54/80

6.2.1 Tipos de conductores de protección y colectores. Se pueden usar como conductores de protección y conductores colectores:

6.2.1.1 Los conductores aislados que integran cables multipolares.

6.2.1.2 Conductores unipolares de cobre desnudo, o aislados con el mismo tipo de aislación que los conductores activos pero de color verde-amarillo, colocados en los mismos conductos metálicos o termoplásticos utilizados para los conductores activos. Se recomienda no utilizar conductor de cobre desnudo debido a los posibles contactos accidentales con conductores activos en los bornes de conexión.

6.2.1.3 Los elementos conductores tales como armazones metálicos de barras blindadas ("blindobarras") y bandejas portacables, siempre y cuando:

- a) se asegure la continuidad eléctrica, sea por su propia construcción o por elementos de conexión normalizados o aprobados por autoridad competente, de modo de protegerlas contra los deterioros mecánicos, químicos o electroquímicos;
- b) su sección transversal conductora de la corriente debe cumplir con la fórmula (1) (ver 6.2);
- c) no puedan desmontarse secciones sin la previsión de medidas especiales, como ser colocación de puentes para mantener la continuidad eléctrica.

6.2.1.4 Los caños metálicos de las instalaciones eléctricas no deben ser considerados como conductores de protección. No obstante, dichos caños deberán estar conectados a tierra, mediante el conductor de protección, en cada caja de paso o de circuito.

7 CONSTRUCCION DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

7.1 Electrodo dispersores o de puesta a tierra

7.1.1 Se ajustarán a lo especificado en el punto 6.1 de esta norma.

7.1.2 En las instalaciones nuevas por construir se podrá colocar un conductor como toma de tierra, ubicándolo en el fondo de las zanjas de los cimientos en contacto íntimo con la tierra, y de manera que recorra el perímetro del edificio. Este conductor servirá de electrodo dispersor de la corriente de falla a tierra.

Para este fin se recomienda no utilizar acero cincado.

En todos los casos la sección se calcula según 6.2.

7.1.3 Desde el electrodo dispersor o toma de tierra, ya sea en forma de anillos, mallas, jabalinas o sus combinaciones se realizarán derivaciones, hasta el primer nivel de piso accesible, a dos o más cajas de inspección o placas colectoras uniformemente distribuidas a lo largo del perímetro.

7.1.4 El conductor de derivación tendrá una sección por lo menos eléctricamente equivalente a la del electrodo dispersor (ver capítulo 6), y será en lo posible del mismo metal y se conectará al electrodo dispersor por medio de soldadura autógena o termoquímica (IRAM 2315) o por compresión con deformación en frío. Se excluyen las uniones roscadas, abulonadas o roblonadas ("remachadas").

Si el conductor es desnudo se lo protegerá convenientemente contra la corrosión y los daños mecánicos colocándolo dentro de un conducto no metálico en la transición tierra-aire.

7.1.5 Para aprovechar la baja resistencia de tierra de los electrodos naturales, antes de hormigonar, uno de los hierros de cada fundación o zapata se soldará al conductor de tierra mediante soldadura termoquímica (IRAM 2315) o soldadura fuerte. Esta soldadura y un cabo del conductor de tierra quedarán embutidos dentro del hormigón para conectarlo al electrodo de puesta a tierra profundo.

7.1.6 Cuando se trate de construcciones que comprendan varios edificios próximos, se procurará unir entre sí las redes que forman la toma de tierra de cada una de ellas, con el objeto de formar una puesta a tierra de la mayor extensión posible.

7.1.7 En los lugares donde el conductor de la red de puesta a tierra pueda ser dañado, será protegido convenientemente colocándolo en un conducto o canal preferentemente no metálico. Si este conductor o canal debiera ser metálico será conectado al conductor en ambos extremos.

7.1.8 A la toma de tierra, se conectarán los conductores de protección y las masas, según el sistema de conexión (ver capítulo 5).

7.2 Conductor de protección

7.2.1 Los conductores de protección y las uniones equipotenciales deben protegerse convenientemente contra los deterioros mecánicos y químicos y contra los esfuerzos electrodinámicos y térmicos. Deben ser visibles y accesibles.

7.2.2 No deben intercalarse en el conductor de protección los elementos siguientes: fusibles, interruptores o seccionadores. No obstante, se admitirá que el conductor de protección sea interrumpido por un dispositivo mecánico al solo efecto de realizar mediciones, comprobaciones y derivaciones. Este dispositivo mecánico solamente podrá abrirse o cerrarse mediante herramientas adecuadas.

7.2.3 En las instalaciones eléctricas de edificios (viviendas colectivas y unifamiliares, oficinas, talleres, comercios, clínicas y sanatorios, oficinas públicas, establecimientos educacionales, plantas industriales, etc.), la sección mínima del conductor de protección aislado que acompaña en el mismo conducto a los conductores activos, estará dada por la tabla 9, preparada en función de la corriente de falla a tierra y el tiempo promedio de actuación del dispositivo de protección del circuito involucrado. El conductor de protección a utilizar estará constituido por un conductor aislado de color verde-amarillo.

7.2.4 Conductor colector en grandes edificios para viviendas colectivas y oficinas

7.2.4.1 Por los conductos, cañerías, montantes, etc, que llevan los conductores activos a todos los pisos, se instalará el conductor colector (cables o planchuelas) del que se derivarán a cada consumo conductores de protección desnudos o aislados (ver 6.2.1).

7.2.4.2 En todos los casos la sección se determinará según 6.2 y la tabla 9.

7.2.4.3 En los lugares donde el conductor de protección pueda ser dañado, se protegerá mediante un caño de poli (cloruro de vinilo) u otro material no metálico con un diámetro interior tal que el conductor de protección ocupe hasta un 35 % de la sección interior del caño.

7.2.4.4 El conductor de protección en bandejas portacables se instalará en su interior y será unido rígidamente a estas mediante tornillos o grapas de bronce o latón. El diámetro de los tornillos será menor que 1/3 del ancho de la barra. La distancia entre tales uniones se determinará, en cada caso, en función de la corriente de falla y las características de la barra y de la bandeja.

7.2.4.5 En cielorrasos y pasos a través de paredes, así como en lugares particularmente expuestos a agentes mecánicos, las líneas de tierra siempre se protegerán mecánicamente.

Tabla 9 - Sección del conductor de protección (aislado) para puesta a tierra (color verde-amarillo) - valores de orientación

Corriente de falla a tierra (A)	Corriente nominal del dispositivo de protección (fusible IRAM 2245 ó interruptor automático IRAM 2169) que se coordinará con el conductor de protección (A)	Sección del conductor de protección para la instalación de protección (mm ²)			
		Cobre		Cobre-Acero	
		Calculada	Adoptada	Calculada	Adoptada
2000	100	1,98	2,5	3,45	4
3300	160	3,27	4	5,69	6
3900	200	3,87	6	6,73	10
5200	315	5,15	6	8,97	10
7800	400	7,73	10	13,46	16
13000	500	12,98	16	22,43	25
15000	630	14,87	25	25,88	35
55000	3150	54,51	70	94,89	95
80000	4000	79,90	95	138,02	150

Para la elaboración de la tabla se tomó como tiempo de interrupción de la corriente igual a 20 ms. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$S = \frac{I \cdot \sqrt{t}}{K}$$

7.3 Conexión de las masas a la instalación de puesta a tierra

7.3.1 En viviendas unifamiliares departamentos, locales comerciales, oficinas públicas, sanatorios, clínicas y locales para depósito, la conexión al conductor de protección de todas las partes metálicas de la instalación, aisladas de los circuitos eléctricos con tensión, como tomacorrientes, fichas, motores, armazones de aparatos, cajas y tuberías, es decir las "masas", se efectuará de la manera siguiente:

- a) Tomacorrientes. La conexión al borne de tierra del tomacorriente, identificado para esta función, se efectuará desde el conductor de protección mediante una derivación con cable de cobre aislado (color verde-amarillo), con las secciones siguientes:
 - a 1) para tomas bipolares con toma a tierra: 1,5 mm² (12 x 0,40 mm);
 - a 2) para tomas tripolares, según la fórmula (1) y la tabla 7.
- b) Cable de puesta a tierra para fichas bipolares y tripolares. Será de la misma sección que la de los conductores de fase o neutro. Se recomienda que dicho cable esté incorporado al mismo cable flexible de alimentación.

- c) Conexión a tierra de motores u otros aparatos eléctricos. Idem b).
- d) Cañerías, cajas y gabinetes metálicos. Para asegurar la continuidad a tierra, se realizará un puente entre todas las cajas metálicas con el conductor de protección. Para ello las cajas estarán provistas de los bornes correspondientes.
- e) Cañerías de plástico. El conductor de protección debe conectarse al borne de tierra de todas las cajas metálicas que se encuentren en su camino.

7.3.2 En grandes edificios para viviendas colectivas y oficinas se aplicarán las mismas directivas establecidas en 7.3.1.

7.3.3 En las instalaciones eléctricas todas las masas serán equipotencializadas, y se conectarán al conductor de protección los elementos siguientes:

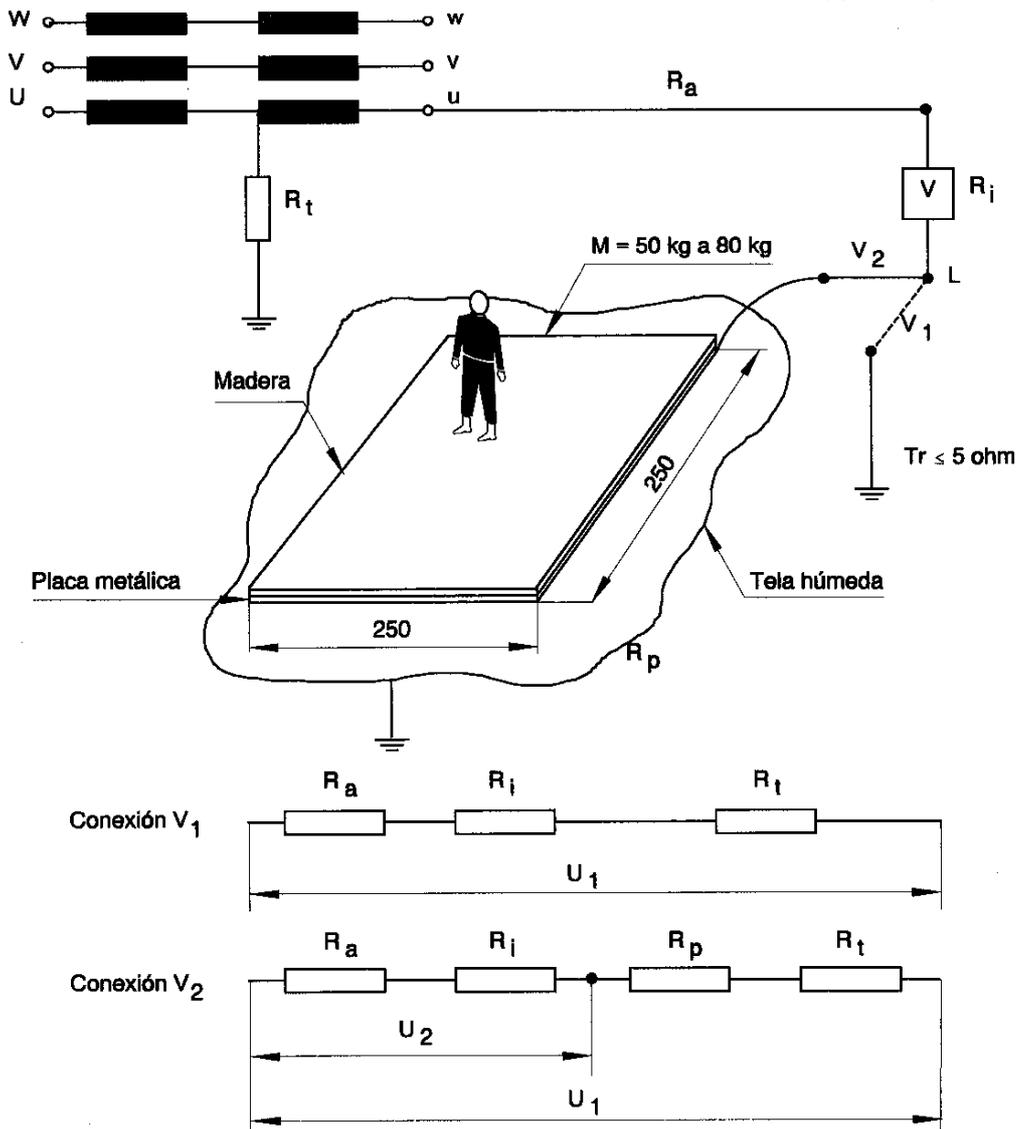
- a) todas las masas de los aparatos industriales y máquinas herramientas por medio de un conductor adicional adecuado que acompañará al cable de conexión de tales elementos.
Para los aparatos y máquinas herramientas que se conecten a "blindoventilados o blindobarras", se efectuará la puesta a tierra al conductor de protección por medio de los dispositivos previstos en la caja de enchufe de este tipo de instalaciones de tal forma de proveer un adecuado y seguro camino a tierra;
- b) todas las estructuras de acero del edificio;
- c) las envolturas metálicas y armaduras de los cables en ambos extremos de ella. Los cables largos serán puestos a tierra en varios puntos para mantener una tensión de la envoltura contra tierra entre los límites de hasta 24 V;
- d) los descargadores de sobretensión de los motores de potencias mayores que 200 kW. Además, se preverá la colocación de una jabalina hincada verticalmente y unida, a su vez, al conductor de protección;
- e) los equipos portátiles de la clase I, mediante espigas adecuadas para la conexión al conductor de protección.

8 COMPROBACIONES Y MEDICIONES

8.1 Se realizarán según se establece en las normas IRAM 2281-1 y 2.

8.2 Medición de la resistencia de aislación de pisos. Se realizará como se indica a continuación.

Para determinar el valor de esta resistencia en las distintas clases de pisos y revestimientos de pisos en redes con punto neutro puesto a tierra, se cubrirá el piso, en el lugar en que deba efectuarse la medición, con una tela húmeda de 27 cm x 27 cm, sobre la cual se colocará una chapa metálica de 25 cm x 25 cm, con el objeto de lograr una transmisión uniforme de la presión, y encima una placa de madera de estas mismas dimensiones. El conjunto así dispuesto se cargará con un peso de 500 N a 800 N, que equivale, aproximadamente a una persona adulta.



siendo:

- R : la resistencia del conductor de fase;
- R_a : la resistencia del voltímetro = 3000Ω ;
- R_i : la resistencia de aislación del piso;
- R_p : resistencia de tierra del transformador

Figura 7

Ejemplo de medición volumétrica de la resistencia de aislación del piso R_p

Para el cálculo se desprecian las resistencias R_a y R_t por su reducida magnitud en comparación con las resistencias del piso R_p y del voltímetro R_i . Del esquema de conexiones de la figura se aprecia que: I es del mismo valor para U_1 y para U_2 . Luego:

$$U_1 = I.(R_i + R_p); \quad \text{además } U_2 = I.R_i$$

dividiendo:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I(R_i + R_p)}{I R_i} = \frac{R_i + R_p}{R_i}$$

operando:

$$R_i + R_p = R_i \frac{U_1}{U_2}$$

$$R_p = R_i \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Esta es la fórmula para el cálculo de la resistencia del emplazamiento o resistencia del suelo con los valores de la figura.

El mismo resultado se obtiene con la bien conocida fórmula:

$$R_p = R_i \frac{U_1 - U_2}{U}$$

9 PROTECCION COMPLEMENTARIA PARA EQUIPOS CON ALTAS CORRIENTES DE FUGA

9.1 Los requisitos de esta sección se aplican donde el equipo que tiene altas corrientes de fuga esta conectado a un de sistema TN. Para los sistemas TT e IT se dan requisitos adicionales en 9.4 y 9.5, respectivamente.

NOTA 1: Para los sistemas TN-C donde los conductores de neutro y de protección están integrados en un solo conductor (conductor PEN) hasta los bornes del equipo, la corriente de fuga puede ser tratada como corriente de carga.

NOTA 2: Los equipos que normalmente tienen altas corrientes de fuga a tierra pueden no ser compatibles con instalaciones que tienen incorporados dispositivos de protección por corriente residual. Además de la corriente residual permanente, también se debe considerar la posibilidad de desenganches inoportunos debido a corrientes de carga capacitivas.

9.2 Los equipos deben ser:

- estacionarios, y estar;
- permanentemente conectados a las instalaciones fijas de los edificios o conectados por medio de fichas y tomacorrientes de uso industrial.

NOTA 1: Las fichas y tomacorrientes deberán cumplir con la norma IRAM 2006 y en particular las fichas y tomacorrientes de uso industrial con la norma IRAM 2075.

NOTA 2: Es particularmente importante para los equipos con altas corrientes de fuga, que la continuidad de la conexión a tierra sea verificada cuando se instala y después de cualquier modificación. También, se recomienda que la continuidad se verifique en periodos regulares.

9.3 Protección suplementaria para corrientes de fuga que exceden de 10 mA. Cuando la corriente de fuga medida de acuerdo con la norma IEC 950* excede de 10 mA, el equipo será conectado de acuerdo con una de las tres alternativas detalladas en 9.3.1, 9.3.2 y 9.3.3.

NOTA: La medición de corrientes de fuga indicada en la norma IEC 950* incluye las condiciones de falla que no son detectables dentro del equipo.

9.3.1 Circuitos de protección (tierra) de alta confiabilidad. Los conductores de protección tendrán la mayor sección transversal de acuerdo con 7.2 o lo siguiente:

a) donde se usen conductores de protección independientes, estos deberán tener una sección transversal no menor que 10 mm² o dos conductores con terminaciones independientes, cada una con una sección transversal no menor que 4 mm²;

NOTA: Los conductores con una sección de 10 mm² o mayor, pueden ser de aluminio.

b) cuando el conductor de protección forma parte de un cable multifilar junto con los conductores de alimentación, la suma de las secciones de todos los conductores del cable multifilar no debe ser menor que 10 mm²;

c) cuando el conductor de protección está instalado y conectado en paralelo con un conducto metálico, rígido o flexible, teniendo una continuidad eléctrica de acuerdo con las normas IRAM-IAS U 500 2005-1 e IRAM-IAS U 500 2224-1, se debe usar una sección no menor que 2,5 mm²;

d) Cuando como conductores de protección se utilicen conductos metálicos, rígidos y flexibles, canales metálicos, y pantallas y armaduras metálicas, ellos deberán cumplir los requisitos indicados en 6.2.1.3.

NOTA: El propósito de estos requisitos es proveer circuitos de protección de alta confiabilidad usando conductores robustos o duplicados junto con conexiones permanentes o conectores robustos.

9.3.2 Control de la continuidad a tierra. Se debe proveer un dispositivo o dispositivos que desconecten el equipo en el caso de que se produzca una discontinuidad en el conductor de protección, de acuerdo con los requisitos de 4.1.

NOTA: El propósito de este requisito es controlar la continuidad de la conexión de tierra de protección y proveer medios de desconexión automática de la alimentación, en caso de falla.

9.3.3 Uso de "transformador de aislación". Cuando el equipo está conectado a la alimentación por medio de un transformador de aislación o por otros medios en que los circuitos de entrada y salida están eléctricamente separados, tales como grupos motoalternadores, el circuito secundario debe, preferiblemente, ser conectado a un sistema TN, pero puede usar un sistema IT cuando lo requiere la aplicación específica. La conexión a tierra entre el equipo y el transformador cumplirá con los requisitos de 9.3.1 y 9.3.2.

* Mientras tanto no haya norma IRAM sobre el tema se utilizará dicha norma IEC.

9.4 Requisitos complementarios para el sistema TT.

9.4.1 Cuando el circuito está protegido por un dispositivo protector de corriente residual, la corriente de fuga total I_1 , (en ampere), la resistencia de tierra R_A (en ohms) y la corriente residual nominal del dispositivo de protección $I_{\Delta n}$ (en ampere) deben cumplir la relación siguiente:

$$I_1 \leq \frac{I_{\Delta n}}{2} \leq \frac{U_o}{2R_A}$$

9.4.2 Si no se puede cumplir lo indicado en 9.4.1, se debe aplicar lo prescripto en 9.3.3.

9.5 Requisitos complementarios para el sistema IT.

9.5.1 Los equipos con grandes corrientes de fuga, preferentemente, no deben ser conectados a un sistema IT debido a la dificultad de satisfacer los requisitos de las tensiones de contacto después de la primera falla.

Cuando es posible, el equipo será alimentado por un sistema TN derivado de un sistema IT de alimentación principal, por medio de un transformador de aislación.

Cuando es posible cumplir con las condiciones de la tabla 3, el equipo puede ser conectado directamente a un sistema IT, lo que puede facilitarse conectando todas las conexiones de tierra directamente al electrodo de tierra de alimentación.

9.5.2 Antes de hacer la conexión directa a un sistema IT, el instalador se debe asegurar que el equipo está preparado para su conexión a un sistema IT de acuerdo con la declaración del fabricante.

**ANEXO A
(Normativo)**

MÉTODO PARA CALCULAR EL FACTOR K DEL PÁRRAFO 6.2

El factor K se calcula con la fórmula siguiente:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)}$$

Siendo:

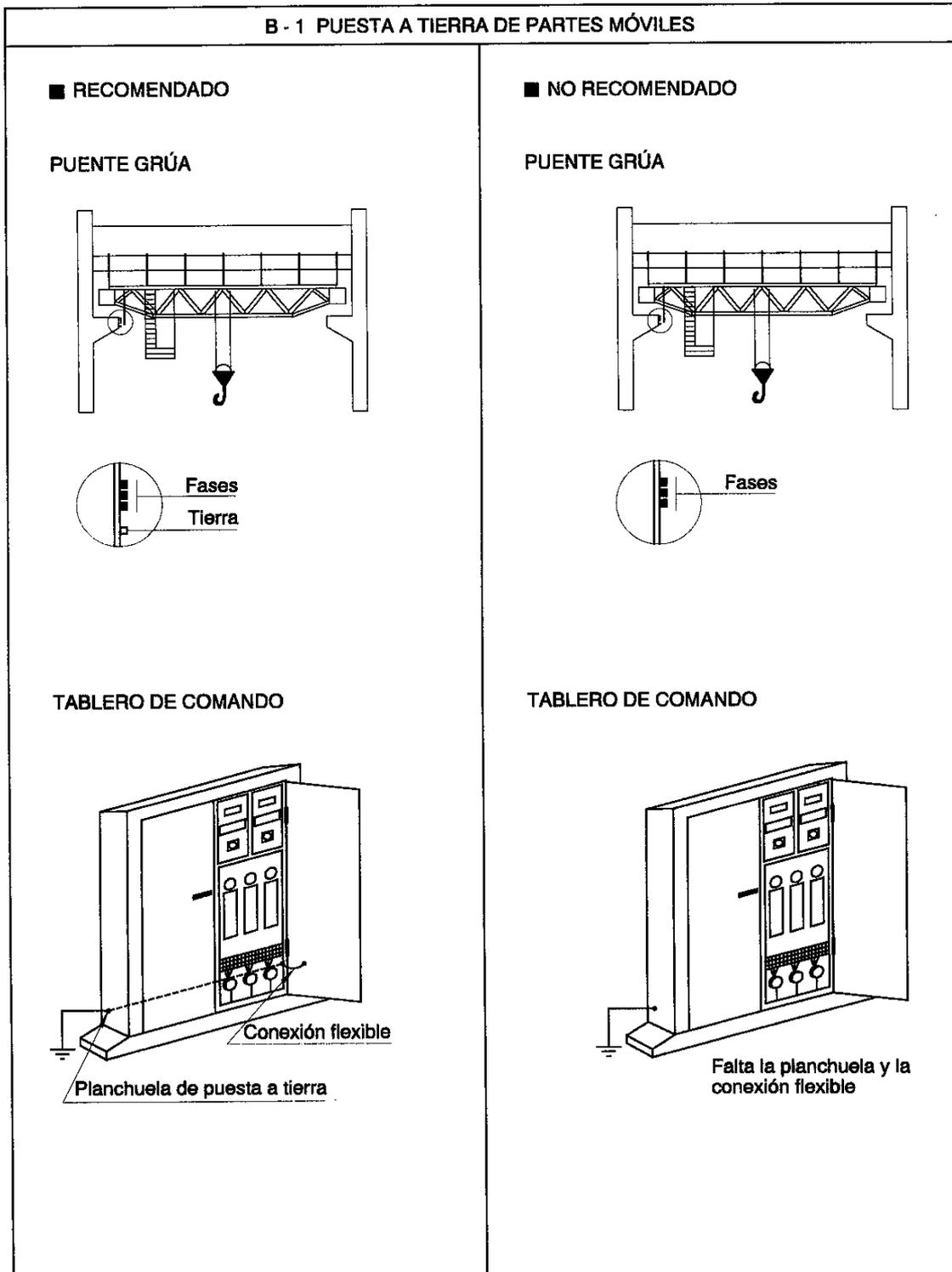
- Q_c la capacidad calorífica volumétrica del material conductor [$J/^\circ C \text{ mm}^3$]
- B el coeficiente recíproco de temperatura de la resistividad a $0^\circ C$ para el conductor [$^\circ C$].
- ρ_{20} la resistividad eléctrica del material conductor a $20^\circ C$ [$\Omega \text{ mm}$].
- θ_i la temperatura inicial del conductor [$^\circ C$].
- θ_f la temperatura final del conductor [$^\circ C$].

Material	B ($^\circ C$)	Q_c ($J/^\circ C \text{ mm}^3$)	ρ_{20} ($\Omega \text{ mm}$)	$K = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Cobre	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Cobre-Acero (30 %)	263,2	$3,75 \times 10^{-3}$	58×10^{-6}	135
Aluminio	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,30 \times 10^{-6}$	148
Plomo	230	$1,45 \times 10^{-3}$	214×10^{-6}	42
Acero	202	$3,8 \times 10^{-3}$	138×10^{-6}	78

**ANEXO B
(Informativo)**

EJEMPLOS DE PUESTA A TIERRA

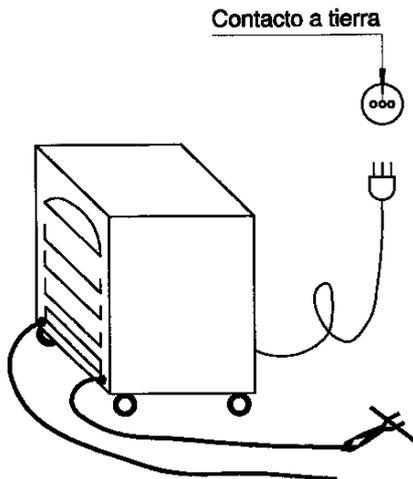
B.1 PUESTA A TIERRA DE PARTES MÓVILES



B - 2 PUESTA A TIERRA DE MÁQUINAS

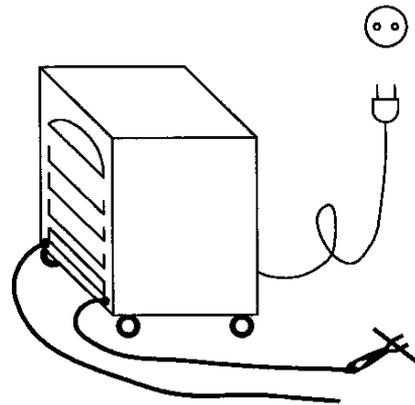
■ RECOMENDADO

MÁQUINA DE SOLDAR

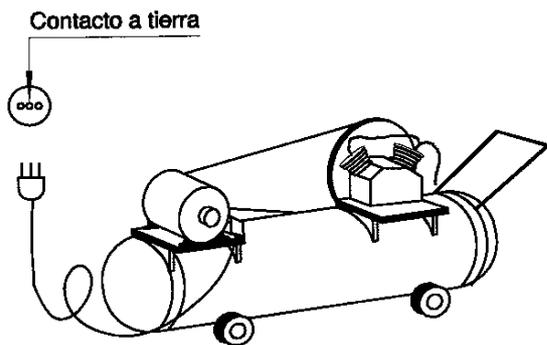


■ NO RECOMENDADO

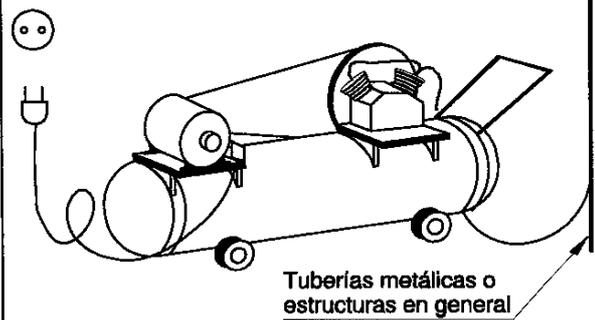
MÁQUINA DE SOLDAR



COMPRESOR

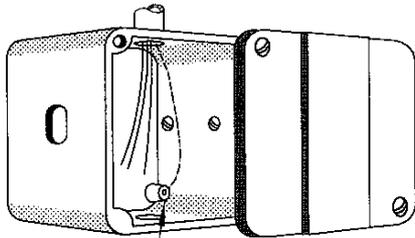


COMPRESOR



B - 3 PUESTA A TIERRA DE EQUIPAMIENTO

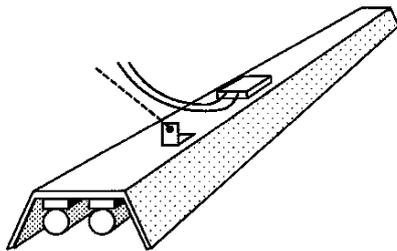
■ RECOMENDADO
CAJAS



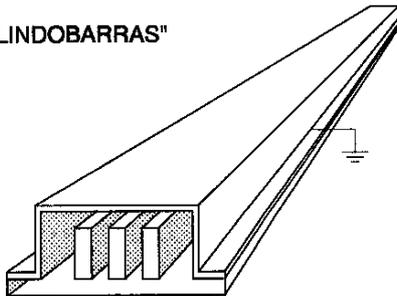
Borne destinado a la puesta a tierra

Las cajas de derivación, cajas para tomas e interruptores y cualquier clase de envolturas se deben conectar a tierra si son metálicas.

LUMINARIAS

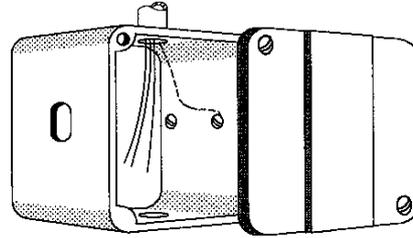


"BLINDOBARRAS"



Canaleta prefabricada para la distribución de fuerza motriz o para otros servicios. La envoltura de protección de las barras se puede emplear como conductor de tierra siempre y cuando haya sido prevista para éste fin.

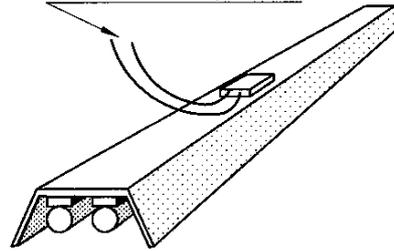
■ NO RECOMENDADO
CAJAS



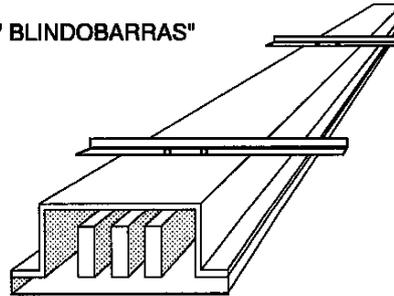
Utilizar cajas metálicas desprovistas de borne de tierra (los tornillos de fijación no sustituyen dicho borne).

LUMINARIAS

Fase y neutro solamente.
Falta el conductor de protección.



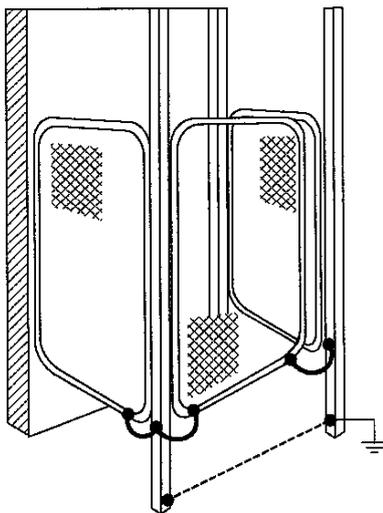
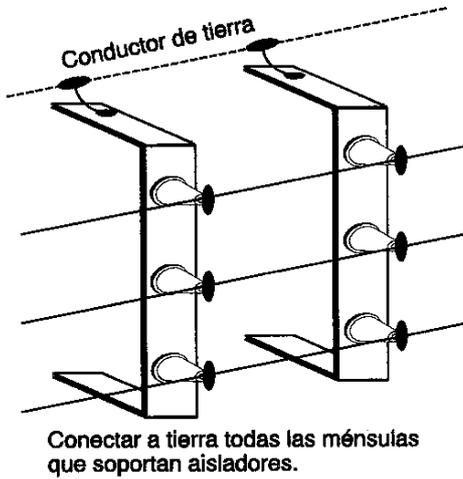
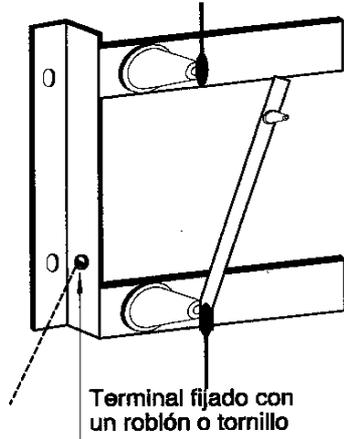
"BLINDOBARRAS"



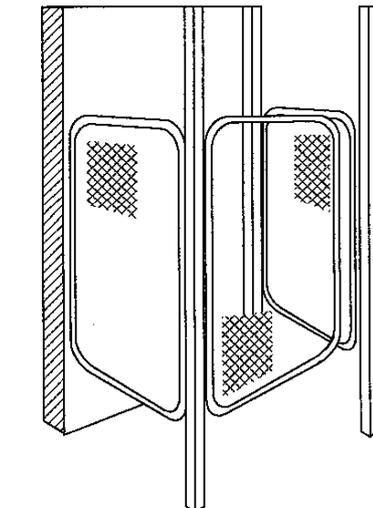
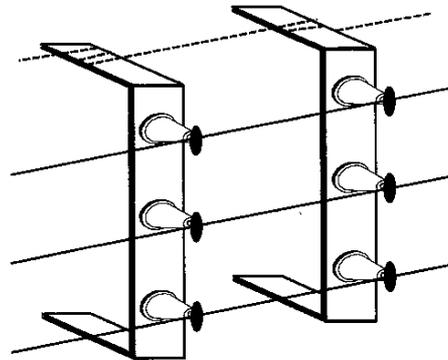
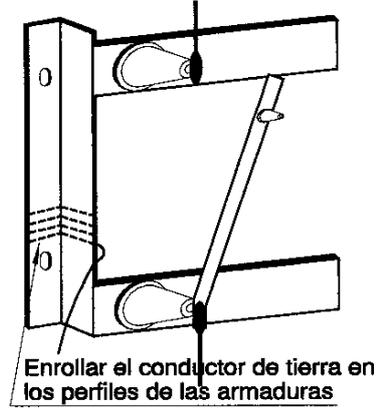
Confiar la puesta a tierra de la envoltura de protección de las barras al armazón metálico de sostén. Vale lo mismo si las canaletas están sostenidas por medio de cadenas o tubos.

B - 4 PUESTA A TIERRA DE MÉNSULAS Y ARMAZONES

■ RECOMENDADO



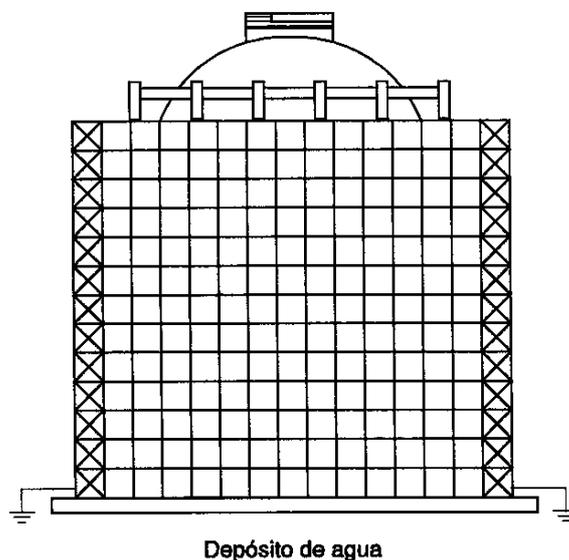
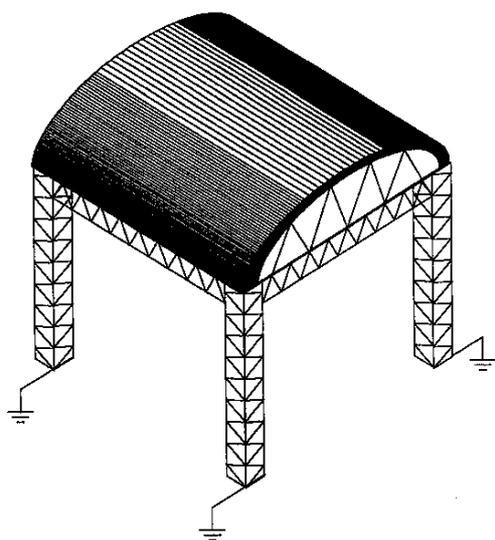
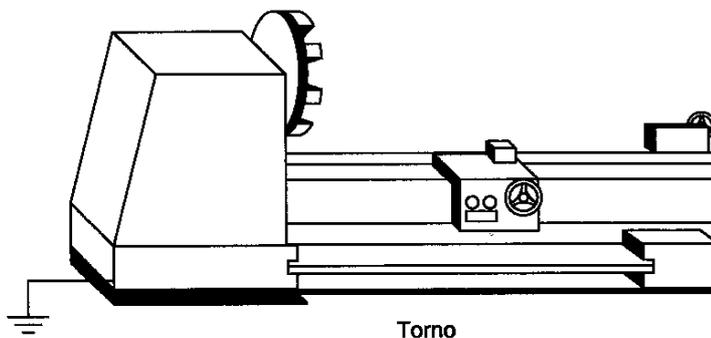
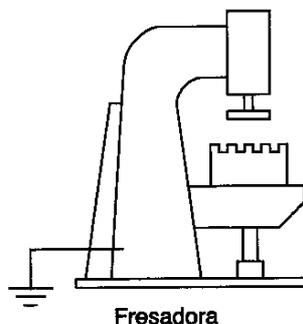
■ NO RECOMENDADO



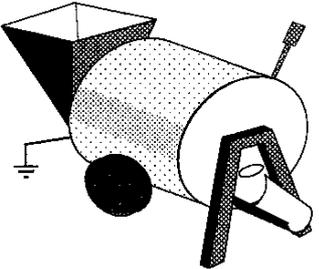
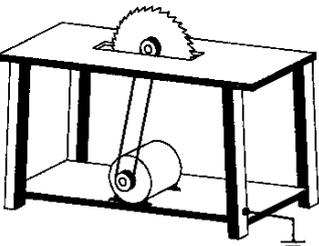
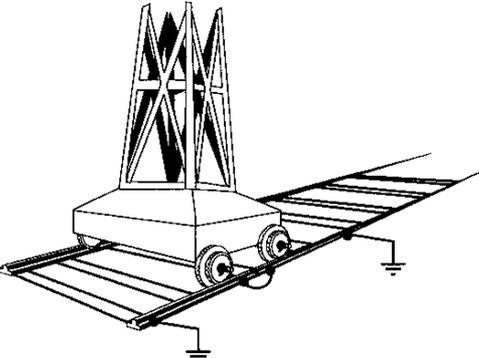
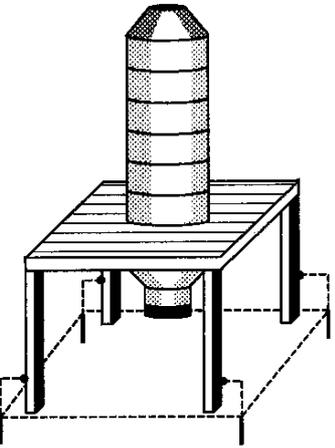
No poner a tierra todas las estructuras metálicas y los resguardos de protección. Utilizar charnelas o pernos para la fijación de los resguardos, hechos de material aislante, de modo que no garanticen un contacto metálico óptimo con la estructura puesta a tierra.

B - 5 PUESTA A TIERRA DE MÁQUINAS - HERRAMIENTAS Y DE GRANDES MASAS METÁLICAS

Máquinas - herramienta : Póngase a tierra el armazón de la máquina, con independencia de la puesta a tierra de la carcasa del motor, eventualmente se puede aprovechar el mismo conductor de protección del motor cuando no se haya previsto un conductor de tierra independiente.

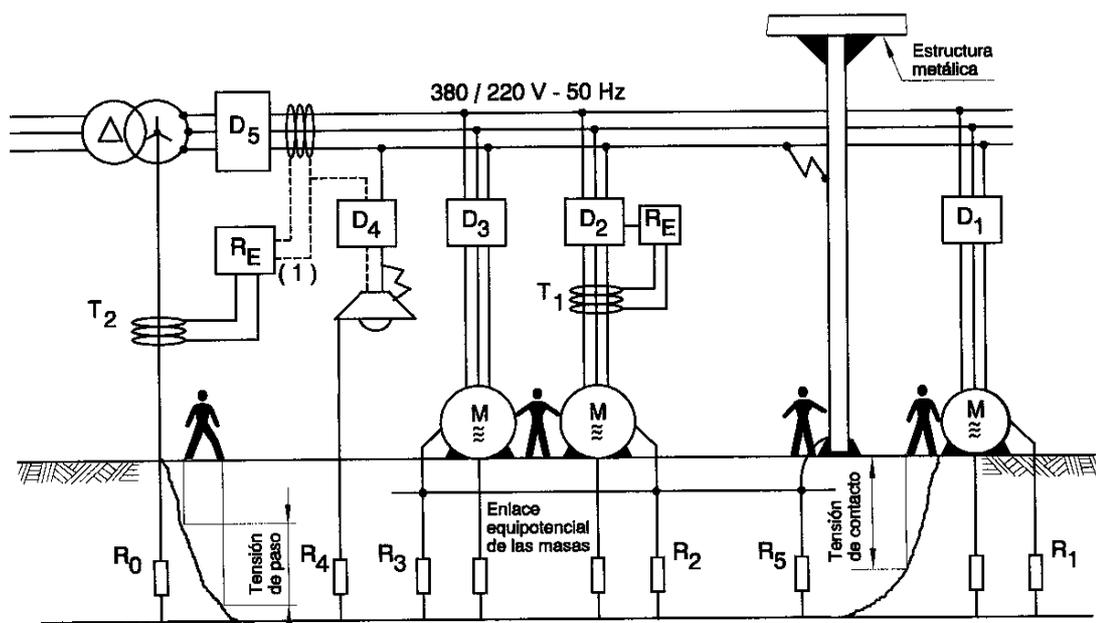


Grandes masas metálicas : Estando expuestos a las descargas atmosféricas, empléense preferentemente, electrodos en forma de jabalinas. La conexión entre distintas partes que no proporcione una garantía de continuidad eléctrica (por ejemplo, por existir pintura interpuesta), se deberá efectuar por medio de puentes.

 <p>Carcasa de la máquina: puesta a tierra directa o por medio del conductor de protección.</p>	<p>La puesta a tierra de los motores eléctricos debe efectuarse directamente en las respectivas carcasas y no a través de las estructuras metálicas a las que se hallan fijados.</p>
	<p>Cuando el motor esté fijado sobre un material aislante y se accione la máquina por medio de correas aislantes, si la estructura de la máquina es metálica, deberá ponerse también a tierra.</p>
	<p>Conectar a tierra los carriles con independencia de la puesta a tierra de los motores que accionan las grúas o el carro suspendido. Prevéanse puentes en las uniones de los carriles a fin de asegurar la continuidad metálica.</p>
	<p>Las estructuras metálicas de grandes masas de metal (depósitos de arena, cemento, agua) se deben conectar a tierra para protegerlas de las descargas atmosféricas. Utilícense jabalinas como electrodos.</p>

ANEXO C
(Informativo)

EJEMPLO DE PROTECCIÓN PREVENTIVA CONTRA CONTACTOS ELÉCTRICOS EN LAS FÁBRICAS O TALLERES



D₁ y D₃: Interruptor diferencial de alta o mediana sensibilidad (30 mA ó 300 mA).

D₁: Interruptor diferencial de alta sensibilidad.

D₂ y D₅: Interruptor de potencia de baja tensión con relé de apertura.

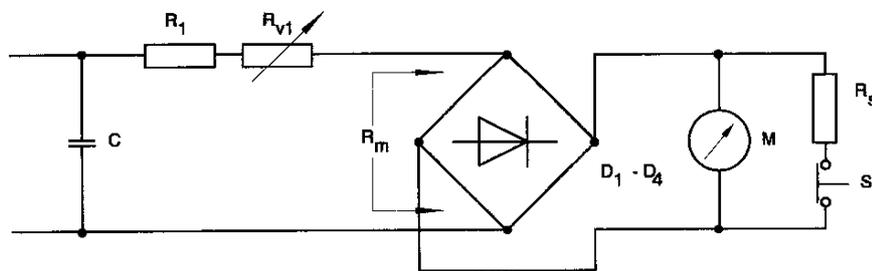
T₁ y T₂: Transformadores toroidales diferenciales con relés electrónicos (RE) de sensibilidad regulable de 30 mA a 3 A y temporización regulable de 20 ms a 1,5 ms.

(1): Conexión alternativa a T₂ cuando no se puede acceder al centro de estrella de transformador.

ANEXO D
(Normativo)

INSTRUMENTOS PARA LA MEDICION DE LA CORRIENTE DE FUGA A TIERRA

El instrumental debe estar compuesto por un instrumento de bobina móvil con rectificador, con resistencias complementarias en serie, con un capacitor en paralelo con la entrada como se ilustra en la figura D₁. El efecto del capacitor es el de reducir la sensibilidad a las armónicas y otras frecuencias mayores que la frecuencia de alimentación. El instrumental deberá incluir un rango "x 10" obtenido conectando una resistencia no inductiva en paralelo con el instrumento de bobina móvil. También se puede incluir una protección contra sobrecorrientes ya que por el método usado no afecta las características del instrumento.



Siendo:

M: el instrumento de bobina móvil de 0 mA - 1 mA

$R_1 + R_{v1} + R_m$ a 0,5 mA c.c. = $1500 \Omega \pm 1 \%$ con $C = 150 \text{ nF} \pm 1 \%$ ó
= $2000 \Omega \pm 1 \%$ con $C = 112 \text{ nF} \pm 1 \%$

$D_1 - D_4$: el puente rectificador

R_s : la resistencia "shunt" no inductiva para el rango "x 10"

S: el pulsador de sensibilidad (se presiona para la sensibilidad máxima)

Figura D1 - Circuito de medición para el ensayo de corrientes de fuga a tierra

R_{v1} se ajustará para el valor deseado de la resistencia total a 0,5 mA de corriente continua.

El instrumento se calibrará en el rango de sensibilidad máxima a 50 Hz - 60 Hz senoidal en los puntos siguientes:

0,25 mA 0,5 mA 0,75 mA

La respuesta en frecuencia se verificará en el punto de calibración de 0,5 mA de la manera siguiente:

sensibilidad a 5 Hz senoidal: $3,6 \text{ mA} \pm 5 \%$.

NOTA: Los métodos para medir la corriente de fuga están en estudio en la IEC.

ANEXO E
(Normativo)

CORRIENTE DE FUGA A TIERRA PARA EQUIPOS DESTINADOS A SER CONECTADOS DIRECTAMENTE A SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN IT

E.1 Este anexo cubre provisoriamente los requisitos para los equipos que se conectan directamente a los sistemas de alimentación IT. Los equipos que cumplen estos requisitos cumplirán también los requisitos especificados en el párrafo 5.2 de la norma IEC 950* para la conexión a sistemas de alimentación TT o TN. Los equipos que no están destinados a conectarse a sistemas de alimentación IT se ensayarán según el párrafo 5.2 de la norma citada, y no por este anexo.

En los sistemas de alimentación IT, la corriente que circula por el conductor de tierra de seguridad del equipo, cuando está correctamente conectado, puede ser mayor que para los sistemas de alimentación TT o TN. El procedimiento de ensayo de este anexo determinará, para las condiciones adoptadas, la corriente de fuga que podría circular a través de una persona en el caso de una rotura accidental del conductor de tierra de seguridad del equipo.

E.2 El equipo no deberá tener corrientes de fuga que excedan, los valores dados en la tabla E1 cuando se mide según E3 o E4.

Tabla E1 - Máxima corriente de fuga a tierra para equipos conectados a sistemas de alimentación IT

Clase	Tipo de equipo	Máxima corriente de fuga (mA)
II	Todos	0,25
I	Manual	0,75
I	Móvil (distinto de manual)	3,50
I	Estacionario, enchufable tipo A(**)	3,50
I	Estacionario, permanentemente conectado o enchufable tipo B(***)	
	- no cumplen con E ₅	3,50
	- cumplen con E ₅	5 % de la corriente de entrada

* Mientras no haya norma IRAM sobre el tema se utilizará la mencionada norma IEC.

(**) Tomacorriente no industrial ver 1.2.5.1 de IEC 950.

(***) Tomacorriente industrial según IEC 309 ver 1.2.5.2 de IEC 950.

En un sistema de equipos interconectados con conexiones a la fuente de alimentación primaria individuales, cada equipo se ensayará en forma individual. Un sistema de equipos interconectados con una conexión simple a la fuente de alimentación primaria se considerará como un solo elemento del sistema.

Los equipos diseñados para alimentación múltiple (redundante) se ensayarán con una sola alimentación conectada.

Cuando, del estudio de un diagrama de circuitos de un equipo clase I permanentemente conectado o enchufable tipo B, surge claramente que la corriente de fuga a tierra excederá de 3,5 mA pero no excederá el 5 % de la corriente de entrada, no se necesita realizar el ensayo.

La conformidad se verifica por el ensayo que se indica a continuación, que se realiza usando el circuito de medición que se describe en el anexo D, o utilizando cualquier otro circuito que permita obtener los mismos resultados, y preferentemente un transformador de alimentación, como se ilustra.

Si el uso de un transformador de alimentación no es posible, el equipo se instalará sobre un soporte aislante, no conectado a tierra, tomando las precauciones de seguridad apropiadas contra una probable tensión peligrosa en la estructura del equipo.

Para equipos clase II el ensayo se realizará sobre las partes conductoras y sobre una lámina metálica con un área que no exceda de 10 cm x 20 cm sobre las partes, no conductoras accesibles. La lámina metálica tendrá la mayor parte posible de su área sobre la superficie a ensayar, sin exceder las dimensiones especificadas. Si su área es menor que la superficie a ensayar, la lámina se desplazará para ensayar todas las partes de la superficie. Se deben tomar precauciones para evitar que la lámina metálica afecte la disipación de calor del equipo.

Cuando es un inconveniente ensayar un equipo con la tensión de alimentación más desfavorable (ver párrafo 1.4.5 de la norma IEC 950*), es aceptable el ensayo a alguna tensión disponible dentro de la gama de tensiones nominales o dentro de la discrepancia de la tensión nominal y luego calcular los resultados.

E.3 EQUIPOS MONOFÁSICOS

E.3.1 Los equipos monofásicos destinados a operar entre el conductor de fase y el de neutro se ensayarán usando el circuito de fuga E1, con la llave selectora en cada una de las posiciones 1, 2 y 3.

E.3.2 Por cada posición de la llave selectora, cualquier llave dentro del equipo que controla la alimentación primaria y que puede ser accionada en uso normal, deberá ser abierta y cerrada en todas las combinaciones posibles.

Ninguno de los valores de corriente excederá el límite correspondiente especificado en la tabla E1.

* Mientras no haya norma IRAM sobre el tema se utilizará la mencionada norma IEC.

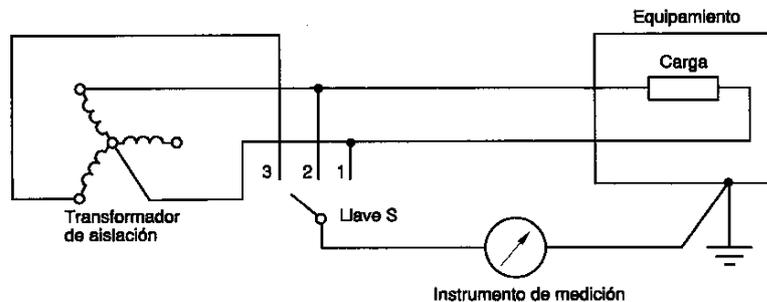


Figura E1 - Circuito de ensayo para medir la corriente de fuga a tierra en un equipo monofásico para la conexión a sistemas de alimentación IT

E.4 EQUIPOS TRIFÁSICOS

E.4.1 Los equipos trifásicos y los equipos destinados a operar entre dos conductores de fase se ensayarán en las condiciones siguientes usando el circuito de la figura E2 con la llave selectora en cada una de las posiciones 1, 2, 3 y 4.

E.4.2 Por cada posición de la llave selectora, cualquier llave dentro del equipo que controle la alimentación primaria y tal que pueda ser accionada en uso normal deberá ser abierta y cerrada en todas las combinaciones posibles.

E.4.3 Se ensaya según E.4.2 y, además, desconectando uno por vez cualquier componente usado para supresiones de EMI conectado entre fase y tierra; para este propósito los grupos de componentes en paralelo conectados en una conexión única se deberán tratar como componentes simples.

Cada vez que se desconecta la línea a tierra de un componente, se debe repetir la secuencia completa de E.4.2.

Si los filtros son normalmente encapsulados, puede ser necesario suministrar una unidad sin encapsular para este ensayo o simular la malla del filtro.

Ningún valor de corriente excederá los valores límites especificados en la tabla E.1.

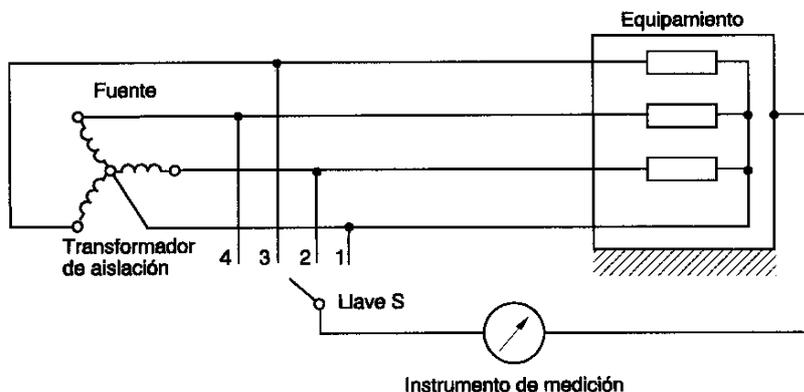


Figura E2 - Circuito de ensayo para medir la corriente de fuga a tierra en un equipo trifásico para conexión a sistemas de alimentación IT

E.5 EQUIPOS CON CORRIENTE DE FUGA A TIERRA QUE EXCEDEN DE 3,5 mA.

Los equipos estacionarios que están permanentemente conectados o los enchufables tipo B, con una corriente de fuga a tierra que excede de 3,5 mA, estarán sujetos a las condiciones siguientes:

- La corriente de fuga no excederá el 5 % de la corriente de entrada por fase.
Cuando la carga es desbalanceada, se usará para los cálculos la mayor de las corrientes trifásicas. Cuando sea necesario, se usará el ensayo de 5.2.3 y 5.2.4 de la norma IEC 950* pero con un instrumento de medición de impedancia despreciable;
- La sección nominal del conductor de protección a tierra interno no será menor que 1 mm² para la circulación de la mayor corriente de fuga;
- Se fijará, próxima a los bordes de alimentación primaria del equipo, una etiqueta con la inscripción siguiente, o leyenda similar:

"CORRIENTE DE FUGA ELEVADA
Conexión a tierra indispensable
antes de conectar la alimentación"

* Mientras no exista norma IRAM sobre el tema se utilizará la mencionada norma IEC.

(Viene de página 2)

Informe Técnico

Se encaró la revisión de la presente norma para modificarla e incorporarle los sistemas TN (ver norma IRAM 2379) que no se encontraban en su versión anterior.

Se inició el estudio tratando de darle la misma forma que tienen las otras normas de puesta a tierra integrantes del presente Código de Práctica de manera tal de hacer un documento ágil y práctico para su consulta, análisis y aplicación.

Por otra parte, se mantuvieron algunas tablas y gráficos que se encontraban en la norma anterior, pues son reglas prácticas para la conexión a tierra de máquinas y equipos.

Se agregó además a éstas el acero-cobre que también se utiliza como elemento para puesta a tierra.

En el apartado 4.3, de conexiones equipotenciales, se menciona a los electrodos dispersores "naturales", por ejemplo:

- Cañerías de agua corriente fría de la red pública.
- Cañería de desagües pluviales.
- Cañerías de gas natural de la red pública.
- Cañerías de calefacción central edilicia.
- Otras cañerías de extensiones y funciones similares.

De un estudio de aplicación práctica de las normas IRAM y de las reglamentaciones, sobre el tema de las conexiones equipotenciales, la Comisión ha observado lo siguiente:

a) En la Reglamentación para la ejecución de las instalaciones eléctricas en inmuebles de la AEA, edición 1971, Cap. 3.0, se incluía el art. 3.3.2 - Tomas de tierra, en cuyo punto a) se mencionaba a la "cañería metálica enterrada de una red de distribución de agua fría", que podría utilizarse como toma de tierra siempre que fuera eléctricamente continua. En la edición aprobada de 1987/11/30, 2º reimpresión 1992/07, el art. 3.2.3.3 Tomas de tierra, remite al lector a las normas IRAM respectivas.

b) En la "reglamentación para instalaciones eléctricas" de la M.C.B.A. (edición 1987) está el artículo 8.10.1.3 que se refiere en su inciso c) a los electrodos "naturales" que pueden utilizarse como p.a.t.; los cuales son:

- los conductos de agua enterrados en el suelo, enteramente metálicos y no ligados entre sí por juntas aislantes.
- las estructuras metálicas de edificios, sin solución de continuidad eléctrica hasta tierra y siempre que sus condiciones aseguren una suficiente superficie de contacto a tierra.

Se sugiere, a quien aplique esta norma, que consulte a la M.C.B.A. o a la Municipalidad del lugar pertinente sobre la vigencia cierta y efectiva del artículo mencionado o sus eventuales concordantes o reemplazantes.

c) en las normas italianas CEI 11-8 (176)/1962 vemos en el art. 2.1.08 que se reglamenta la utilización de los acueductos públicos como dispersores para p.a.t.

De todos estos elementos confrontados se entiende que:

En aquellos casos en que alguna empresa prestataria del servicio público de agua corriente fría, se opusiere, al uso de su red metálica, "continúa", subterránea, como electrodo "natural" dispersor, se le tendría que solicitar sus "razones técnicas" del tal oposición. Si ellas fueran atendibles o bien mandatarias, se indicará a la empresa los métodos propuestos para la utilización transitoria de esos electrodos naturales (por ejemplo "descargadores", "varistores", "filtros", etc.) que permiten una equipotencialización adecuada de los potenciales absolutos en los casos de descargas atmosféricas, de algunas fallas a tierra 50 Hz, etc.

En la tabla 5, el valor tabulado correspondiente a la barra redonda de acero-cobre, corresponde utilizarlo en instalaciones donde están controladas y vigiladas las exposiciones a los daños mecánicos y a los efectos térmicos debidos a los cortocircuitos y sobrecargas. En caso contrario se recomienda adoptar como sección mínima la de 50 mm^2 ($\varnothing = 8 \text{ mm}$).