



## La problemática de la puesta a tierra en hospitales

### 1. INTRODUCCION

La práctica de la medicina moderna exige la introducción de toda una gama de equipamiento técnico cada vez más sofisticado, destinado a la monitorización, diagnóstico y terapia de los pacientes. El término "electromedicina" incluye al conjunto de estas actividades, realizadas mediante dispositivos electrónicos y electromecánicos, tales como monitores de electrocardiograma, aparatos de rayos X o desfibriladores. Unidos a los indudables beneficios que aportan estas tecnologías, aparece una serie de riesgos a los cuales se exponen los pacientes y el personal sanitario. Uno de estos riesgos viene originado por la posibilidad de descargas eléctricas originadas en una deficiente puesta a tierra de los equipos.

En esta guía se pretende recoger las ideas básicas sobre los elementos de puesta a tierra y su importancia a la hora de evitar riesgos a los ocupantes (tanto pacientes como personal sanitario) del hospital. Debe recordarse que éstos se encontrarán casi siempre con unas condiciones físicas disminuidas, posiblemente anestesiados, y en algunos casos con una conductividad anormalmente alta provocada por la presencia de elementos metálicos en el interior de su cuerpo. En definitiva, con una capacidad de respuesta ante contactos eléctricos directos o indirectos menor que en una situación normal.

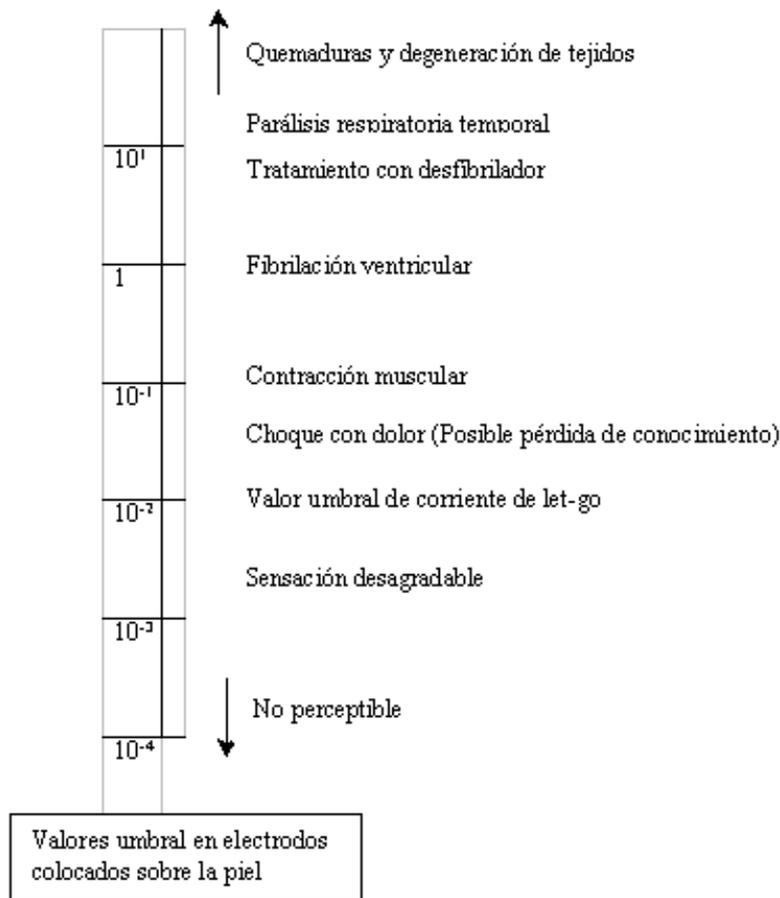
### 2. CONCEPTOS GENERALES

Las puestas a tierra se establecen con objeto, principalmente, de limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado. Consisten en uniones metálicas directas entre determinados elementos de una instalación y uno o más electrodos enterrados en el suelo con el fin de permitir el paso de las corrientes de defecto y garantizar la actuación de los elementos de protección.

Para información sobre conceptos relacionados con la puesta a tierra en general, consultar la guía nº 9, Puesta a Tierra, de MAPFRE EMPRESAS.

### 3. EL CUERPO HUMANO COMO CONDUCTOR ELECTRICO

Una corriente a una frecuencia de 50 Hz (la habitual en Europa) aplicada a través de electrodos sobre la piel, de una intensidad inferior a 0,5 mA no resulta perceptible para el hombre. A medida que aumenta la intensidad, se pasa de un cosquilleo casi imperceptible a una creciente sensación desagradable, que se convierte en contracción muscular involuntaria. La corriente máxima a la que una persona todavía puede voluntariamente soltar el conductor eléctrico, se llama corriente "let-go". En la figura siguiente se aprecian los efectos de una corriente de 50 Hz aplicada mediante electrodos en la piel.



### 3.1 La piel

La piel constituye una importante barrera protectora entre el interior del cuerpo y el ambiente externo, defendiendo al organismo contra infecciones y daños mecánicos y regulando la salida de sustancias y el equilibrio de temperatura. También constituye una protección importante contra daños por corriente eléctrica. La capa córnea de la epidermis tiene una resistencia eléctrica muy alta, por lo que funciona como elemento protector.

Las resistencias altas de la piel son ventajosas debido a la protección que aportan en caso de un gran choque eléctrico, pero a la vez pueden crear problemas a la hora de obtener registros bioeléctricos. En determinados casos, para mejorar las condiciones de conducción se puede lijar la piel antes de fijar electrodos o usar una pasta conductora. En otros casos se abre la epidermis quirúrgicamente a fin de introducir catéteres o sondas de distintos tipos en el sistema sanguíneo. Es importante recordar en estos casos que todas las modificaciones que se introducen para mejorar las condiciones conductoras de la piel pueden significar un mayor riesgo en cuanto a seguridad eléctrica.

### 3.2 Tejidos biológicos

Cuando una corriente eléctrica fluye por el cuerpo humano, se distribuye normalmente entre los diferentes órganos con sus diferentes tipos de tejidos (cada uno de estos con diferente capacidad conductora). El tejido óseo es mal conductor eléctrico, al contrario que la sangre y el líquido cefalorraquídeo.

En caso de aplicar una tensión eléctrica a un cuerpo humano, de forma accidental o con alguna finalidad médica, la corriente elige el principalmente el camino que le ofrece menor resistencia. Teniendo en cuenta que los vasos sanguíneos más grandes (como la arteria aorta) constituyen conductores de poca resistencia, un órgano tan sensible a la electricidad como es el corazón quedará directamente expuesto a los efectos de la descarga aplicada.

## 4. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

### 4.1 Descarga eléctrica

Se distinguen dos tipos de choque eléctrico:

- Macrochoque: la corriente penetra la piel a través de electrodos colocados sobre ella o por contacto con un objeto que conduce una corriente. Se tiene a la piel como elemento de protección. - Microchoque: la corriente llega al cuerpo a través de dispositivos implantados en el interior del cuerpo, sin la protección de la piel.

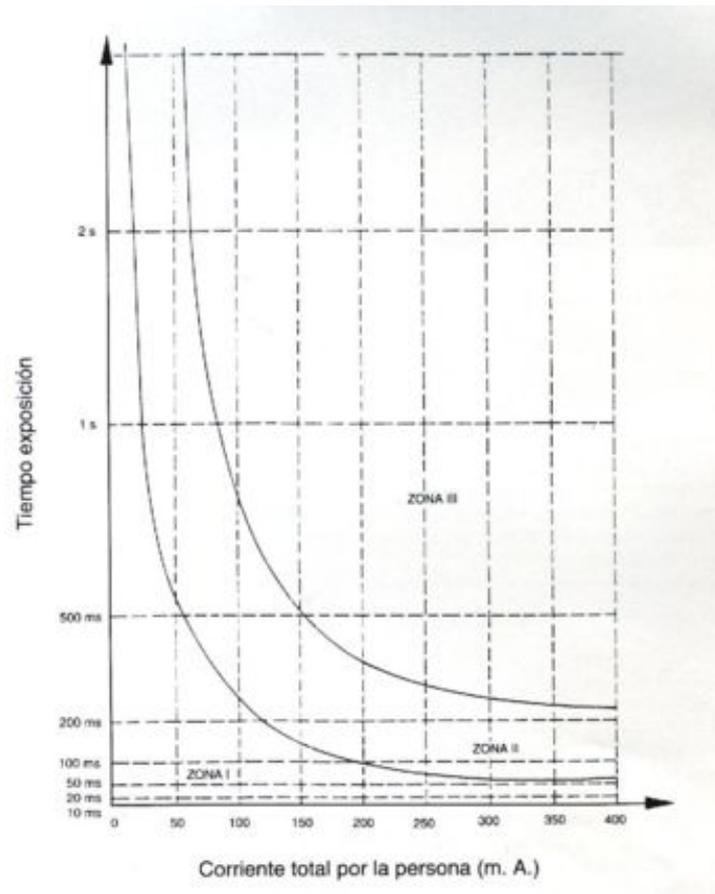


Fig. 1. Curvas de Koeppen - Tolazzi

Los riesgos creados por una inadecuada puesta a tierra de equipos médicos alimentados provienen de la circulación de corrientes por los diferentes tejidos del cuerpo. Los daños originados pueden ser de diferentes tipos:

- Daños por quemadura. Muerte de células debido a la alta temperatura.
- Fibrilación ventricular.

Si una corriente, incluso pequeña (80 mA a 50 Hz), pasa a través del corazón, el músculo cardíaco puede perder su ritmo normal sinusoidal. Los ventrículos comienzan a sufrir contracciones asíncronas en diferentes zonas, con lo que se reduce fuertemente la capacidad de bombeo del corazón y, por tanto, el flujo sanguíneo, con lo que se causan daños al sistema nervioso central.

- Además de los daños descritos sobre la piel y tejidos, existen los riesgos derivados de la posibilidad de generación de chispas y arcos, es decir, la aparición de fuentes de ignición en atmósferas potencialmente explosivas.

## 4.2 Descarga estática

Un cuerpo que posee una cantidad de cargas eléctricas que no está equilibrada por las de signo contrario se dice que está cargado de electricidad estática y permanecerá en dicho estado hasta que no se facilite un medio conductor para que entren o salgan la cantidad de cargas necesarias para alcanzar el equilibrio.

En el interior de un quirófano o UVI se pueden originar cargas estáticas por el rozamiento del personal con el suelo, por el movimiento de aparatos, carros, por frote de textiles. Es necesario, por tanto, tomar medidas contra las mismas:

- Pavimento del quirófano de material antiestático.



Fig. 2 - Medida de conductividad en suelos antielectrostáticos

- Uso de calzado conductivo (la adopción de estas dos medidas requerirá que se extreme la calidad de la instalación de toma de tierra).
- Prohibición del uso de textiles fabricados con fibras sintéticas.
- Colchonetas de la mesa de operaciones de material parcialmente conductor.
- Tubos de goma de los respiradores y aparatos de anestesia de goma conductora.

## 5. **ZONAS ESPECIALES**

En aquellos dispositivos cuyo funcionamiento no puede interrumpirse debido a su importancia para la vida del paciente, resulta imprescindible mantener un suministro continuo de fluido eléctrico. Para ello suelen existir sistemas de alimentación aislados, formados por un transformador de aislamiento para usos médicos sin ninguna conexión física con tierra y sin dispositivos de corte que pudieran abrir el circuito como resultado de una corriente de fuga a tierra. Este sistema se completa con un sistema de vigilancia de un posible fallo a tierra que avise con antelación al primer fallo en el aislamiento.

### **QUIRÓFANOS**

En quirófanos la tensión de seguridad debe ser 24 V como máximo. El circuito de utilización no estará puesto a tierra.



Fig. 3. Interior de un quirófano

Es necesario que todo el equipo electromédico empleado en un quirófano cumpla con las normas técnicas que en su caso le afecten y, en caso de no existir, con normas internacionales de reconocido prestigio, como CEI, ISO, VDE, etc. Todos los equipos deberán disponer de marca CE para garantizar su adecuación.

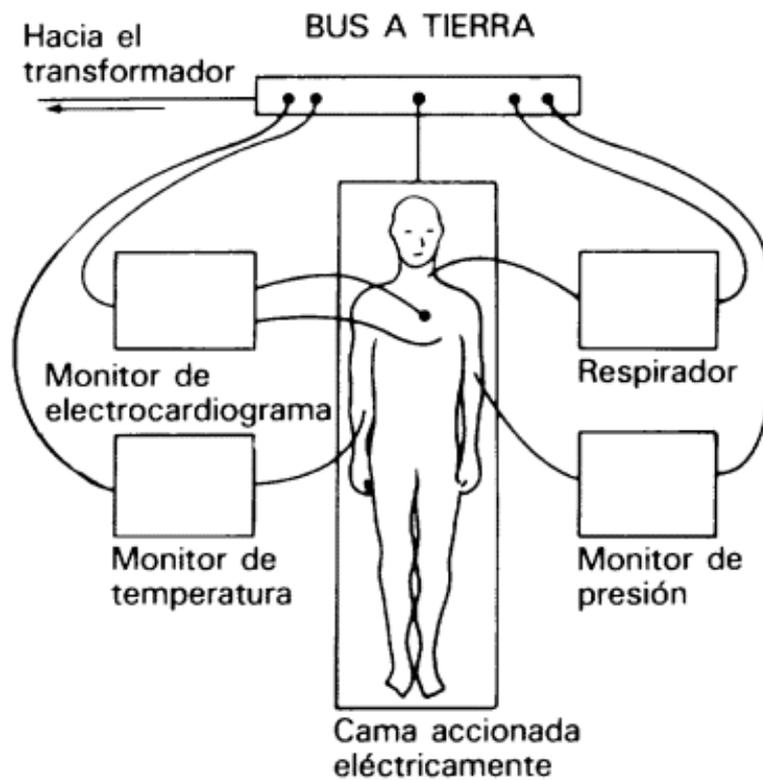
### **SALAS DE RAYOS X**

En los aparatos de rayos X se utilizan tensiones de hasta 150 kV y corrientes superiores a 100 A. Debido a ello, en las salas de rayos X, con equipos eléctricos colocados cerca del corazón, es importante que todos los conductores de protección de los aparatos conduzcan a un único punto común de toma de tierra y se ramifiquen en forma de árbol, de manera que no se formen lazadas. La conexión entre las ramificaciones significa la formación de lazos, en los cuales pueden producirse fácilmente corrientes de fuga que causan interferencias en los circuitos electrónicos.

Todas las partes expuestas de un equipo radiológico deben estar conectadas a tierra. Los conductores protectores deben ser de cobre, de 10 mm<sup>2</sup> de sección mínima (sin embargo, los conectores cortos y protegidos pueden tener una sección mínima de 4 mm<sup>2</sup>). Partes expuestas significan aquí, por ejemplo, la envoltura protectora del equipo radiológico con la envoltura metálica de la mesa de control, la carcasa del generador de alta tensión, las conducciones y soportes metálicos de los conductores de alta tensión, etc.

### **UVI Y SALAS DE DIAGNÓSTICO**

Cuando un paciente está conectado a una serie de aparatos, tanto de forma permanente (como puede ocurrir en las UVI) como temporalmente (salas de diagnóstico), la conexión a tierra de los diversos equipos a un punto común resulta una condición indispensable si se quiere lograr una aceptable seguridad para el paciente. Por tanto, todos los aparatos eléctricos dentro del radio de alcance del paciente deberán conectarse a un mismo sistema de contacto a tierra. Para conseguir el mejor nivel posible de equipotencialidad, los aparatos deberán conectarse en configuración de estrella, según se muestra en la figura.

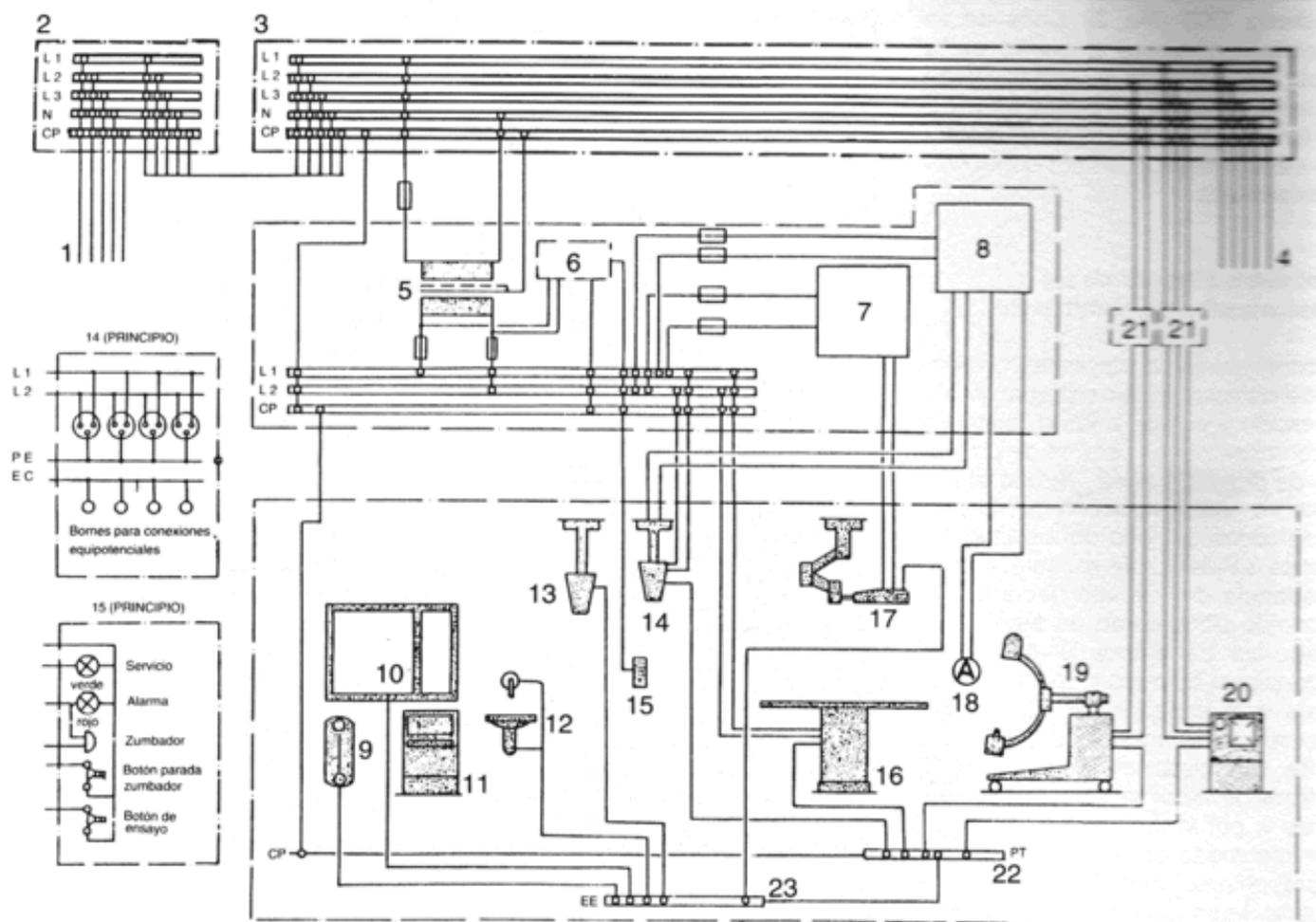


**ZONAS CLASIFICADAS COMO DE RIESGO DE EXPLOSIÓN (SALAS DE ANESTESIA, ESTERILIZACIÓN MEDIANTE OXIDO DE ETILENO, ETC.)**

Este tipo de locales donde pueden utilizarse gases anestésicos y otros productos inflamables se consideran locales con riesgo de incendio Clase 1 y deben cumplir las condiciones establecidas en la MIE BT 026, PRESCRIPCIONES PARTICULARES PARA LAS INSTALACIONES DE LOCALES CON RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSION del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. En esta instrucción técnica se establecen los tipos de instalaciones de puesta a tierra aceptables en estos locales.

**6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN**

La conexión a tierra tiene por finalidad proporcionar una protección para que aquellas partes metálicas que puedan quedar accesibles tanto al paciente como al personal sanitario, no puedan convertirse en conductores de corriente de potencial peligrosamente alto en caso de avería del aparato. Los componentes metálicos de aparatos aislados de las partes conductoras de corriente sólo mediante aislamiento de base, han de estar provistos de conexión a tierra.



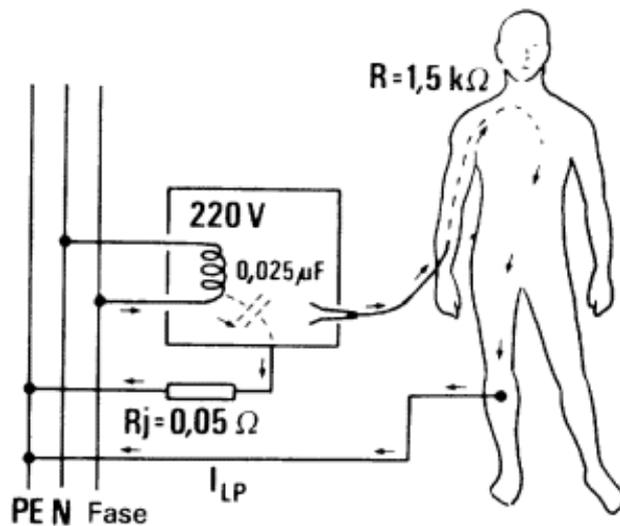
1. Alimentación general o línea repartidora del edificio
2. Distribución en planta
3. Cuadro de distribución en la planta
4. Alimentación general de emergencia
5. Transformador de aislamiento tipo médico
6. Dispositivo de vigilancia del aislamiento (monitoreo detector de fugas)
7. Alimentación especial de emergencia, E2
8. Alimentación especial de emergencia, E3
9. Radiadores calefacción central
10. Marco metálico de ventana
11. Marco metálico para instrumentos
12. Partes metálicas de lavabo y suministros de agua
13. Torreta aérea de tomas de suministro de gas.
14. Torreta aérea de tomas de corriente (con terminales para conexión equipotencial, envolvente conectada al embarrado conductor de protección y equipos de reanimación).
15. Cuadros de alarma del dispositivo de vigilancia y aislamiento
16. Mesa de operaciones (funcionamiento eléctrico)
17. Lámpara de quirófano
18. Aperímetros para la alimentación especial de emergencia
19. Equipos de rayos X
20. Esterilizador
21. Interruptor de protección diferencial
22. Embarrado de puesta a tierra (PT)
23. Embarrado de equipotencialidad (EE)

Fig. 4. Esquema básico de la instalación eléctrica de un quirófano

## 6.1 Valores de aislamiento e impedancias

La resistencia entre las zonas con conexión a tierra y la conexión principal de tierra o la entrada del aparato debe ser pequeña, como máximo 0,1  $\Omega$ . Entre las partes con conexión a tierra y la toma de tierra de la clavija de la red, la resistencia no puede superar los 0,2  $\Omega$ . Además, el conductor a tierra tendrá la sección suficiente para poder conducir una corriente de al menos 10 A. Esto se debe a que desde un enchufe normal de 10 A se puede recibir esta corriente en el aparato, y por ello es necesario que pueda ser conducida hasta tierra en caso de avería.

En la figura siguiente se aprecia un contacto de una persona con un aparato a 220 V de tensión y un electrodo que la une a tierra. El cuerpo es atravesado por una corriente de fuga y gracias al valor reducido de la resistencia del conductor a tierra  $R_j$ , casi toda la intensidad pasa por este y la intensidad por el paciente no supera los 0,06 mA.



Las instalaciones eléctricas hospitalarias y en particular las que alimentan a los elementos usados en quirófanos, deben disponer de un suministro trifásico con neutro y conductor de protección.

Las masas metálicas deben conectarse, a través de un conductor de protección y embarrado común de puesta a tierra y éste, a su vez, a la instalación general de puesta a tierra del edificio. La impedancia entre el embarrado común de puesta a tierra de un quirófano y los contactos de tierra de las bases de toma de corriente no debe exceder de los 0,2 W.

Asimismo todas las partes metálicas accesibles con superficie superior a 200 cm<sup>2</sup> deben estar unidas a un embarrado que garantice su equipotencialidad. Se debe disponer de una barra colectora donde se conectan los conductores unidos a las partes protegidas. El color de dichos conductores debe ser amarillo y verde y su impedancia debe ser menor de 0,1 W. La barra de equipotencialidad y la de tierra se deben unir con un conductor de cobre de 16 mm<sup>2</sup> de sección mínima.

## 6.2 Consideraciones prácticas

1. Se debe verificar que todos los enchufes a los que se conectan los equipos aplicados al paciente, se encuentran unidos a un mismo cuadro. De esta manera se evitan bucles a tierra, en los cuales se pueden inducir distorsiones electromagnéticas producidas por la circulación de corriente alterna de 50 Hz, lográndose que sólo el chasis de un equipo tenga un potencial distinto al de tierra en caso de corte de alguna conexión de seguridad a tierra.
2. Se debe tener en cuenta que la corriente de fuga aumenta aproximadamente 5 mA por cada metro de cable. El cable de la red deberá, por tanto, ser lo más corto posible y es recomendable evitar alargadores. Las corrientes de fuga son especialmente críticas en caso de aparatos que se encuentran en las proximidades del corazón. Un corte del conductor a tierra en un equipo cerca del paciente conlleva, por lo tanto, grandes riesgos. El paciente no necesita en estos casos estar conectado directamente al equipo en cuestión para recibir un golpe de corriente, sino que basta con un contacto casual o indirecto a través del personal de atención.
3. En ningún caso se puede utilizar el conductor a tierra a fin de transmitir corriente para el funcionamiento del aparato.

## 6.3 Líneas principales de alimentación

En un conductor para alimentación eléctrica la protección contra contacto o roce está constituida tanto por el aislamiento básico entre la parte de la red (elementos conductores) y la cubierta como por la conexión de la cubierta a tierra. Si se produjera una avería en el aislamiento básico, de forma que la cubierta se convirtiera en conductor de corriente, su tensión se mantendría con un nivel reducido, pasando la corriente que transportan los conductores a tierra y permitiendo que actúen las protecciones de la red.

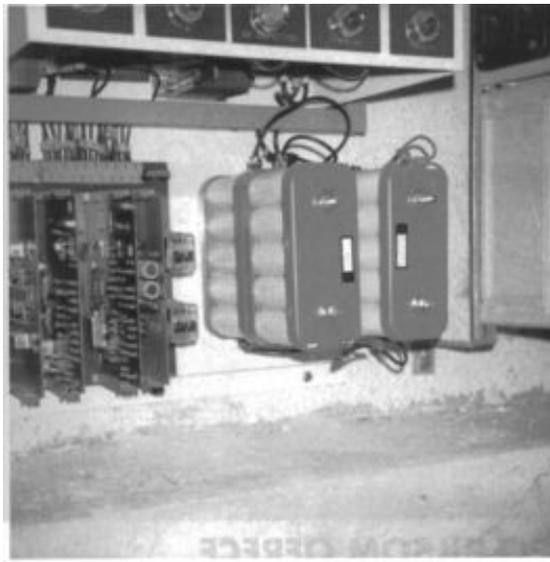


Fig. 5. Batería de un quirófano

En hospitales antiguos es posible encontrar un sistema de 4 conductores para la transmisión de la corriente trifásica. Desde el transformador salen tres conductores de fase y uno de neutro hacia los cuadros, donde se encuentran unidos los conductores neutros y el contacto a tierra a partir del enchufe. En caso de un paciente conectado a dos aparatos que a su vez se alimentan de cuadros diferentes, puede ocurrir que aparezcan desequilibrios en las líneas de neutro de ambos cuadros, lo que generaría corrientes a través del paciente de magnitud apreciable.

Para evitar los riesgos que plantea el uso del sistema de 4 conductores, se utiliza actualmente el sistema de 5 conductores: además de los 3 hilos de fase y el neutro, existe un conductor de seguridad a tierra a lo largo de todo el recorrido desde el transformador hasta el cuadro. En este último se encuentran, por tanto, el conductor a tierra y el neutro totalmente separados.

Mediante el uso de un sistema de 5 conductores se logra el objetivo de que las líneas de tierra de los distintos cuadros tengan prácticamente el mismo potencial y éste coincida con el potencial del cuerpo de edificio, con lo que desaparecen las corrientes parásitas.

#### **6.4 Indicador de fallo de contacto a tierra**

En las instalaciones de gran tamaño, la suma de las corrientes de fuga provenientes de los equipos conectados origina una contribución importante a la corriente que circula por el conductor a tierra. Para descubrir rápidamente este tipo de fallo deben conectarse relés de fallo de contacto a tierra a una unidad de control central.

#### **6.5 Aparatos específicos**

Cada tipo de aparato electromédico puede exigir ciertos requisitos de seguridad específicos. A modo de ejemplo pueden citarse las exigencias relativas a corrientes de fuga de alta frecuencia de aparatos quirúrgicos de diatermia. Los requisitos concretos están indicados en las normas especiales correspondientes, que complementan a la norma general.

Determinadas marcas, modelos o hasta ejemplares de aparatos pueden, además, tener características especiales de seguridad en general y de puesta a tierra en particular, que deben tenerse en cuenta a efectuar los controles periódicos. En todos los casos, deben llevar la marca CE como garantía de conformidad a las directivas europeas.



Fig. 6

## 7. GESTIÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA

### 7.1 Controles sobre los aparatos

Un aparato de electromedicina debe ser sometido a una serie de controles específicos para que pueda comprobarse su seguridad. Para empezar, un fabricante debe probar el prototipo de un producto. Después es necesario que se realice un control continuo de producción de todas y cada una de las unidades del aparato. Las pruebas de homologación son las más importantes. Se realizan con una unidad del aparato y deben haberse finalizado antes de que el producto pueda venderse.



Fig. 7. Puesta a tierra

Al efectuarse un control periódico es importante comprobar tanto la seguridad como el funcionamiento. Estos conceptos a veces coinciden parcialmente. Podemos decir que la función es el propósito del aparato, mientras que la seguridad se traduce en limitaciones para obtener la suficiente protección contra riesgos. La función de un aparato influye a menudo en la seguridad. Este es particularmente el caso de los aparatos para mantener los parámetros vitales de un paciente, en

los cuales la ausencia de una función puede influir de modo radical en la seguridad de su vida.

Además de todo lo referido a la correcta puesta a tierra de los equipos, deben controlarse todos los demás aspectos de seguridad eléctrica y de funcionamiento.

1. Controles de la empresa.

Pruebas del prototipo.

2. Pruebas o ensayos de homologación.

Pruebas con una unidad del aparato (de acuerdo con CEI 601-1 y con CEI 601-2).

3. Pruebas totales.

Pruebas con todas las unidades. Según CEI-1 comprende:

- Resistencia en conductores de tierra.

- Corrientes de fuga.

- Estabilidad de tensión.

- Según norma especial.

4. Inspección.

Control amplio y formalizado del suministro.

5. Control de entrega.

Control de que la entrega coincide con el pedido. Control de que el equipo ofrezca seguridad y funcionamiento satisfactorios.

A efectos prácticos de cara al comprador o inspector del equipo, los apartados 1 a 3 se dan por realizados en todos los equipos que posean marca CE.

## **7.2 Control de la instalación**

Una vez se ha realizado la instalación de los equipos y líneas, se deben mantener una serie de controles durante toda la vida útil

1. Instalación y modificaciones a cargo de un instalador autorizado, quedando disponible toda la documentación necesaria.

2. Controles periódicos. Control de seguridad y funcionamiento adecuado, junto con un mantenimiento preventivo debidamente documentado.



Fig. 8. Embarrado de puesta a tierra

### **7.3 Controles antes del uso**

Deben ser realizados por el personal sanitario antes de cada operación con el equipo. Es fundamental en este aspecto un adecuado entrenamiento del personal (prácticas, cursos, asesoramiento por parte del fabricante, etc.)

## **8. CONCLUSIONES**

A modo de conclusión, puede establecerse que un equipo aporta unas garantías adecuadas de seguridad en lo que se refiere a su puesta a tierra cuando:

- El equipo ha sido fabricado conforme a normas (marca CE)
- El equipo y sus líneas de tierra han sido instalados por un profesional homologado de acuerdo con el REBT y son mantenidos conforme a las instrucciones de fabricante normas de buena práctica.
- El equipo es usado por personal entrenado y de acuerdo a un procedimiento claramente establecido.

## **9. LEGISLACIÓN APLICABLE Y OTRA NORMATIVA**

La legislación general española aplicable a las instalaciones eléctricas en hospitales en lo que se refiere a su conexión a tierra es la siguiente:

### **1. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión:**

- MIE BT-039. Puestas a tierra.
- MIE BT-025. Instalaciones en locales de pública concurrencia. Prescripciones particulares.
- MIE BT-026. Prescripciones particulares para las instalaciones de locales con riesgo de incendio o explosión. Campos de aplicación, terminología, etc.
- MIE BT-042. Inspección de las instalaciones.



Fig. 9. Transformador de aislamiento y dispositivo detector de fugas

## 2. Directiva Europea sobre Dispositivos Médicos (93/42/CEE).

### 3. Normas UNE:

- UNE-EN 60601-1

EQUIPOS ELECTROMÉDICOS. PARTE 1: REQUISITOS GENERALES DE SEGURIDAD. SECCIÓN 1: (Y NORMAS COLATERALES).

- Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos.
- Requisitos generales de radioprotección.

- UNE-EN 60601-2

EQUIPOS ELECTROMÉDICOS. PARTE 2: REQUISITOS PARTICULARES DE SEGURIDAD PARA EQUIPOS ESPECÍFICOS, como:

- Dispositivos generadores y tubos de rayos X utilizados para diagnóstico médico.
- Equipos de vigilancia directa de la presión sanguínea.
- Equipos láser de terapia y diagnóstico.
- Incubadoras radiantes para recién nacidos.
- Equipos terapéuticos de onda corta.
- Equipos electroquirúrgicos de alta frecuencia.
- Equipos de resonancia magnética para diagnóstico médico.
- Electrocardiógrafos.

- UNE 20901 : 1995.

SEGURIDAD DE APARATOS ELECTROMEDICOS PARA SU UTILIZACION POR PERSONAL

ADMINISTRATIVO, MEDICO Y DE ENFERMERIA.

Además de la legislación española y europea de obligado cumplimiento, existen normas y códigos internacionalmente reconocidos que pueden servir como referencia:

- Códigos de la NFPA, National Fire Protection Association (EE.UU.):

· NFPA 70 "National Electrical Code"

ART. 517 -- HEALTH CARE FACILITIES

· NFPA 99 "Health Care Facilities"

· UDE-0100: ."NORMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA"

[volver arriba](#)