



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### SEGURIDAD ELÉCTRICA EN QUIRÓFANOS DE LOS HOSPITALES DEL SECTOR PÚBLICO Y PRIVADO BAJO LA NOM-001-SEDE-2012 Y NFPA 99 2005

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A :

GUILLERMO CÉSAR PÉREZ ROSALES

DIRECTORA DE TESIS:  
ING. LUCILA PATRICIA ARELLANO MENDOZA

México, D.F.

2015





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Para mi mamá, papá, abuelita y abuelito†  
que me han apoyado en todo  
momento de mi vida.*



## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>1.1 Introducción a los circuitos eléctricos</b> .....	11
1.1.1 Carga y corriente eléctrica.....	11
1.1.2 Fuerza electromotriz.....	12
1.1.3 Diferencia de potencial .....	13
1.1.4 Superficie equipotencial.....	14
1.1.5 Conexión a tierra .....	14
<b>1.2 Elementos eléctricos</b> .....	15
1.2.1 Los elementos pasivos .....	15
1.2.2 Elementos activos.....	20
1.2.3 Leyes de corriente de Kirchhoff (L.C.K.).....	22
1.2.4 Leyes de voltajes de Kirchhoff (L.V.K.).....	22
<b>1.3 Teoría del transformador</b> .....	23
1.3.1 Estructura.....	24
1.3.2 Excitación de la bobina primaria.....	25
1.3.3 Fuerza electromotriz inducida en el secundario.....	27
1.3.4 Relación de transformación .....	28
<b>1.4 Conceptos básicos de la medición</b> .....	29
1.4.1 Instrumento de medición .....	29
1.4.2 Características estáticas de un instrumento de medición.....	30
1.4.3 Curva de calibración.....	32
<b>Capítulo 2. Normas en un quirófano y tablero de aislamiento</b> .....	33
<b>2.1 NOM-001-SEDE-2012</b> .....	33
2.1.1 Introducción.....	33
2.1.2 Objetivo y campo de aplicación .....	35
2.1.3 Distribución de las características en el título 5 de la NOM .....	36
2.1.4 Interpretación formal .....	37
<b>2.2 NFPA 99 2005</b> .....	38

2.2.1	Introducción.....	39
2.2.2	Origen y desarrollo de la norma NFPA 99 .....	39
2.3	Tablero de aislamiento.....	44
2.3.1	Componentes de un tablero de aislamiento .....	45
2.3.2	Recomendaciones de instalación.....	47
2.3.3	Funcionamiento del sistema .....	50
<b>Capítulo 3. Situación actual de los quirófanos en el sector público y privado</b>		
.....		57
3.1	Áreas de atención crítica en los hospitales .....	58
3.1.1	Sala de operación o quirófano.....	60
3.1.2	Corrientes tolerables por el cuerpo humano.....	62
3.1.3	Contactos para puesta a tierra .....	64
3.2	Mantenimiento preventivo.....	65
3.3	Muertes por microdescargas dentro de un quirófano.....	67
<b>CAPÍTULO 4. PRUEBAS A QUIRÓFANOS Y EQUIPO MÉDICO</b>		69
4.1	Tablero de aislamiento e instalación eléctrica .....	69
4.2	Equipo médico .....	75
4.3	Piso conductor .....	81
4.4	Contactos y equipos no aterrizados a tierra.....	84
4.5	Formato propuesto para las pruebas.....	93
<b>CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		101
5.1	Tablero de aislamiento e instalación eléctrica .....	101
5.2	Equipo médico .....	103
5.3	Piso conductor .....	105
5.4	Contactos y equipos no aterrizados a tierra.....	105
<b>CAPÍTULO 6. APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS EN QUIRÓFANOS ACTUALMENTE EN USO</b>		109
6.1	Clínica Thiers.....	109
6.1.1	Recomendaciones clínica Thiers.....	115
6.2	Hospital regional de Tlalnepantla.....	116
6.2.1	Recomendaciones sala de expulsión 1.....	122
<b>Conclusiones</b> .....		125

<b>Bibliografía consultada.....</b>	<b>127</b>
<b>Anexos. Norma NFPA 99, artículos idioma original.....</b>	<b>129</b>



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen quirófanos sin medidas estandarizadas que garanticen una seguridad eléctrica, para evitar una descarga eléctrica al paciente en intervención quirúrgica. Estadísticas muestran que han aumentado las muertes por electrocución en las salas de operación [8]. Estos lamentables accidentes se deben a que día con día se utiliza más el equipo médico en cirugías.

Se pone en riesgo la integridad física del paciente, debido a que en la actualidad se utiliza más equipo médico en las cirugías y en los diagnósticos de algunas enfermedades. Por tal motivo es necesario establecer requerimientos de seguridad eléctrica dentro de un quirófano.

Contar con un quirófano en buen estado (instalaciones y equipo médico), aumentamos la seguridad eléctrica en el área de trabajo tanto para el paciente como para el personal que labora ahí, garantizando una calidad en el servicio. Con dicha propuesta de tesis se pretende llegar a pruebas aplicables a todo un quirófano (tablero de aislamiento, equipo médico, piso semiconductor, contactos y equipos no aterrizados a tierra e instalación eléctrica), para poder así salvaguardar la integridad física principalmente de un paciente en una intervención quirúrgica.

El objetivo es establecer los requerimientos de seguridad eléctrica dentro de un quirófano mediante pruebas que se apliquen a: equipo médico, tablero de aislamiento, contactos grado hospital, piso semiconductor e instalación eléctrica.



## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción a los circuitos eléctricos

Un circuito eléctrico es la interconexión de elementos eléctricos unidos entre sí, en una trayectoria cerrada, de forma que la corriente eléctrica pueda fluir continuamente. A los elementos eléctricos (pasivos y activos) se les denomina dispositivos y a las interconexiones nodos. Por lo tanto, un circuito eléctrico es la interconexión de elementos pasivos y activos que tienen un objetivo definido en cada aplicación [2].

#### 1.1.1 Carga y corriente eléctrica

La carga es la unidad fundamental de la energía eléctrica. El símbolo de la carga es  $Q$  o  $q$ , la letra mayúscula se utiliza para las cargas constantes y la minúscula para cargas que varían en el tiempo.

La corriente eléctrica ( $i$ ) se define como el flujo de cargas en una dirección determinada que recorre un conductor en un incremento de tiempo. Su unidad son los amperios y su símbolo es  $A$ . Entonces la corriente puede expresarse:

$$i = \frac{dq}{dt} [A]$$

La corriente tiene un sentido, en la figura 1.1 se encuentran dos nodos ( $a$  y  $b$ ) y un elemento por el cual fluye la corriente  $i$ .

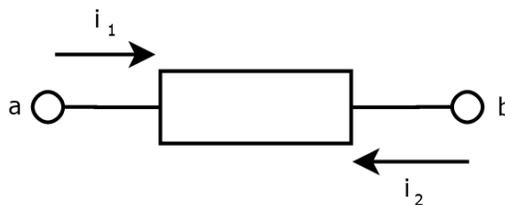


FIGURA 1.1 Flujo de corriente en el elemento del circuito.

La notación está formada por dos partes: una magnitud de corriente y una dirección determinada. En la figura 1.1 se observa que hay dos modos de asignar la dirección

de la corriente que pasa por el elemento. La corriente  $i_1$  es el flujo de cargas eléctricas del nodo  $a$  al nodo  $b$ . Por lo contrario,  $i_2$  es el flujo de cargas eléctricas del nodo  $b$  al nodo  $a$ . Se observa que  $i_1$  es el negativo de  $i_2$ , entonces:

$$i_1 = -i_2$$

Siempre se usará una flecha para indicar la dirección de la corriente. Así mismo, si la corriente es constante a través de un elemento se representará con la letra  $I$  [5].

### 1.1.2 Fuerza electromotriz

La fuerza electromotriz (f.e.m.) es la fuerza o tensión que hace que las cargas eléctricas se desplacen de un punto cualquiera a otro en un conductor como un flujo de corriente. Normalmente se denomina voltaje y su unidad son los volts. El voltaje o f.e.m. de un equipo o un dispositivo activo se simboliza con la letra  $E$  y los volts con la letra  $V$ .

En la figura 1.2 se encuentra una carga eléctrica que se desplaza de un punto cualesquiera 1 del campo eléctrico a otro punto 2 cualesquiera, durante el desplazamiento se realiza un trabajo, que se representa por  $A_{12}$ .

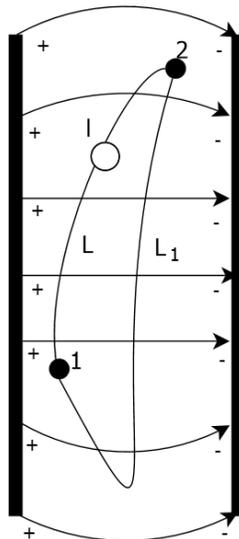


FIGURA 1.2 Trabajo durante el traslado de una carga eléctrica en el campo eléctrico en una trayectoria  $L$  y  $L_1$ .

Se puede observar que la trayectoria  $L$  y  $L_1$  no es la misma, por lo tanto, el trabajo no es el mismo. Ahora si dicha carga se desplaza por el mismo camino pero en dirección contraria la cantidad de trabajo es la misma pero de signo contrario [13]. Esto quiere decir que:

$$A_{12} = -A_{21}$$

### 1.1.3 Diferencia de potencial

Las variables básicas en un circuito eléctrico son la corriente y el voltaje. Estas variables describen el flujo de la carga a través de los elementos del circuito y la energía necesaria para que la carga eléctrica se desplace. En la figura 1.3 se muestran maneras de expresar el voltaje a través de un elemento. El voltaje  $V_{ba}$  es proporcional al trabajo necesario para mover una carga eléctrica positiva desde la terminal  $a$  hasta la terminal  $b$ . Caso contrario pasa con el voltaje de  $V_{ab}$  es proporcional al trabajo necesario para mover una carga eléctrica positiva desde el nodo  $b$  al nodo  $a$ . Por lo tanto, esto quiere decir:

$$v_{ab} = -v_{ba}$$

Por lo tanto la diferencia de potencial es el impulso que necesita una carga para fluir por el conductor de un circuito eléctrico, esta corriente cesará su flujo cuando el nodo  $a$  y el nodo  $b$  igualen su potencial eléctrico.

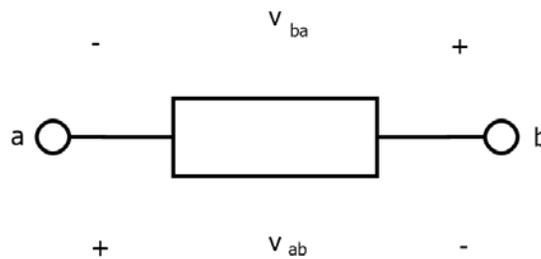


FIGURA 1.3 Voltaje a través de un elemento.

Si la energía ( $E$ ) que el dispositivo activo cede al circuito durante su funcionamiento, es directamente proporcional a la diferencia de potencial  $v$  y a la carga eléctrica  $q$ :

$$E = q v_{ab}$$

En resumen la diferencia de potencial hace que nuestro electrón fluya a través de un elemento eléctrico:

$$v_{ab} = \frac{E}{q} = v_b - v_a$$

#### 1.1.4 Superficie equipotencial

Superficie equipotencial o también conocida como superficies de igual potencial. Esto quiere decir que todos los puntos en una superficie tienen el mismo potencial. Se dice que es una superficie equipotencial si la magnitud es exactamente la misma en el nodo a y en el nodo b:

$$v_a = v_b$$

Esto quiere decir que la diferencia de potencial entre ambos nodos es igual a cero [13].

#### 1.1.5 Conexión a tierra

Si entre conductores cualesquiera hay una tensión eléctrica, existe un campo eléctrico. Con esto se puede explicar la llamada conducción de cargas eléctricas a tierra. Cuando se requiere descargar un conductor lo aterrizamos a tierra o conectamos a tierra, conectándolo a un sistema de tierra física, a una tubería de agua o solo tocando el conductor con la mano. Tomando el último caso se dice que las cargas del conductor pasan por nuestro cuerpo a tierra.

Cuando hay una tensión entre el cuerpo considerado y los objetos circunstantes, se crea una corriente eléctrica y al existir una corriente eléctrica hay un campo eléctrico. En la figura 1.4 al conectar el cuerpo a tierra desaparece la tensión entre este y los cuerpos vecinos, esto quiere decir que la corriente eléctrica busca el punto donde existe menor resistencia eléctrica [6].

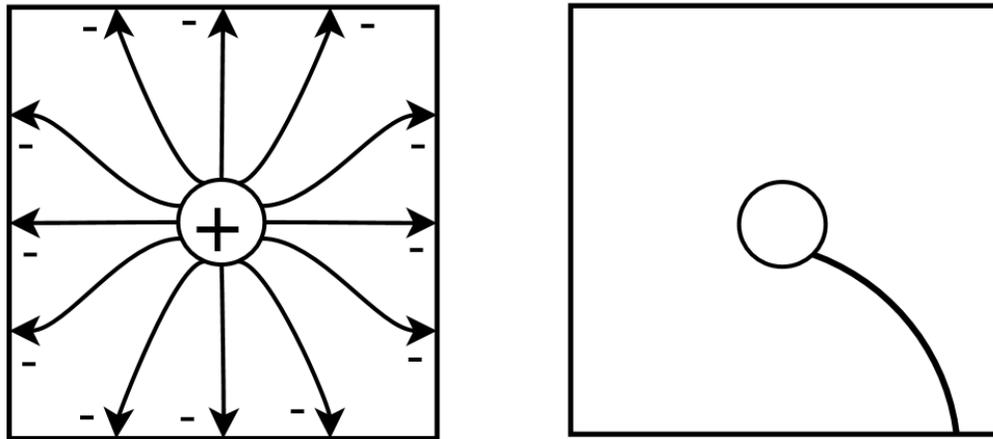


FIGURA 1.4 Al unir un conductor cargado con objetos aledaños conectados a tierra, desaparece la tensión, el campo eléctrico y la corriente eléctrica.

## 1.2 Elementos eléctricos

Un circuito eléctrico como ya se había mencionado anteriormente es la interconexión de elementos pasivos y elementos activos.

### 1.2.1 Los elementos pasivos

Los elementos pasivos, como su nombre lo dice, son aquellos que requieren energía eléctrica para realizar una función determinada. Se pueden clasificar los elementos pasivos en tres grupos que son: la resistencia eléctrica o resistor, el capacitor eléctrico o condensador y el inductor eléctrico o bobina.

#### a) Resistencia eléctrica:

La propiedad de un material de resistir el flujo de corriente eléctrica se llama resistividad. La resistencia eléctrica es el primer elemento que aparece en el área de electricidad y electrónica. Es un elemento de control de la transportación de la carga eléctrica, ya que de acuerdo del valor de la resistencia, la corriente puede tomar valores proporcionales al valor óhmico de dicho elemento.

En la figura 1.5 se muestra el símbolo de una resistencia y se denota con la letra “R”. Un resistor es un elemento de dos terminales que no tiene polaridad y es el único elemento que va a producir un trabajo disipando energía en forma de calor.

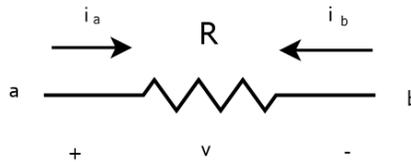


FIGURA 1.5 Resistor con corriente y voltaje correspondiente.

Un resistor se puede clasificar de acuerdo a su respuesta: respuesta lineal y respuesta no lineal. Como en la figura 1.5 se muestra que un resistor puede convertirse en no lineal estando fuera de su intervalo nominal de operación. Se observa en la gráfica que mayor a  $+ i_m$  y menor a  $- i_m$  pierde su linealidad el elemento. Por lo tanto, mientras el elemento opere dentro del rango de linealidad la resistencia eléctrica se puede modelar mediante la ley de Ohm.

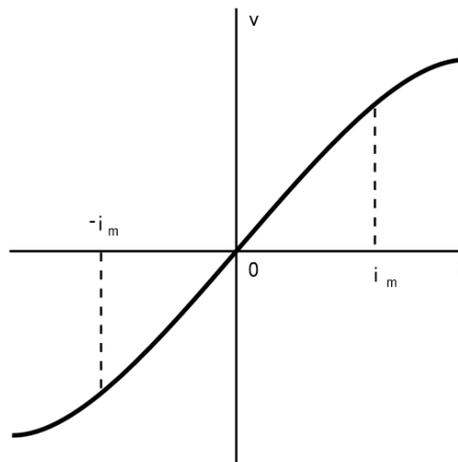


FIGURA 1.5 Un resistor que opere dentro de su intervalo especificado de corriente,  $\pm i_m$ , puede ser modelado mediante la ley de Ohm.

La dirección del voltaje se indica con una terminal marcada con + y la otra con - y la corriente pasa de la terminal + a la terminal -.

La ley de ohm establece que para un elemento puramente resistivo, la intensidad de corriente que circula por dicho elemento es directamente proporcional al valor del voltaje aplicado en sus extremos e inversamente proporcional al valor de su resistencia (magnitud en Ohm) que presente el elemento.

$$i_R = \frac{v_R}{R_r} [A]$$

De la cual despejamos el voltaje en la resistencia  $v_R$ , queda:

$$v_R = R_R i_R [V]$$

Para determinar el valor en Ohms de un elemento resistivo se pueden usar algunas formas indirectas que los fabricantes han generado para facilitar conocer el valor óhmico de un elemento resistivo, a través de un espectro visible de colores [10].

En la figura 1.6 se muestra un resistor donde las primeras dos franjas de colores definen el valor significativo, la tercer franja corresponde a un multiplicador en base 10 que define el valor de dicho elemento. La cuarta franja define la tolerancia del elemento resistivo.

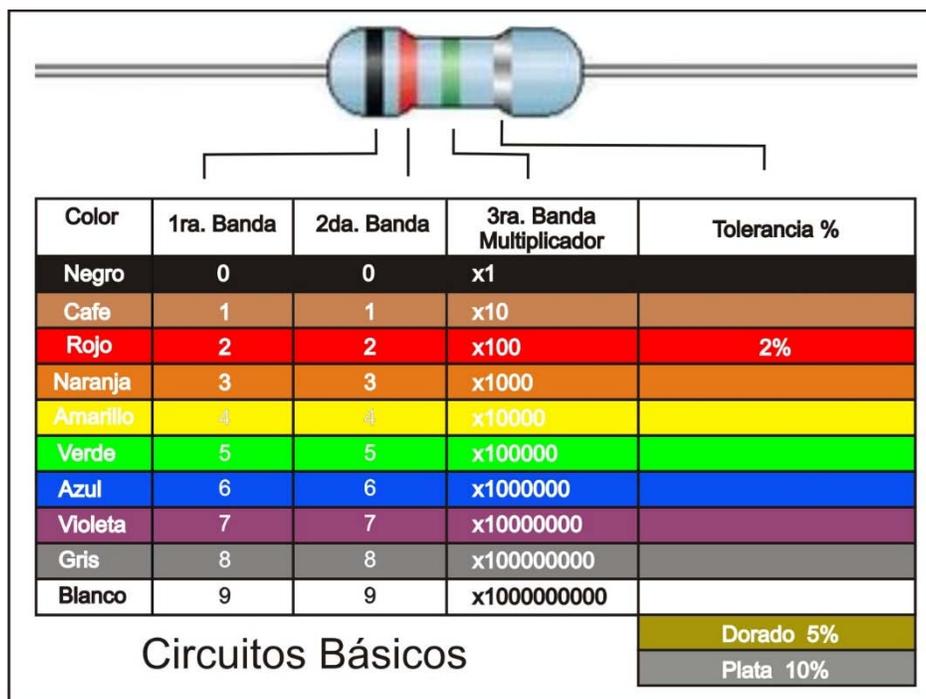


FIGURA 1.6 Cifrado de colores de los elementos resistivos.

También existen otro tipo de resistores que su valor óhmico es variable y se les denomina potenciómetros del cual sólo se define su rango superior y para saber su valor óhmico se puede hacer con ayuda de un multímetro.

b) Capacitor eléctrico:

Un capacitor es un elemento de dos terminales y en cada terminal se asocia una placa conductora, dichas placas a su vez se encuentran separadas a una cierta distancia. Por definición un capacitor es un elemento o dispositivo que permite almacenar carga eléctrica. El capacitor se puede representar como se muestra en la figura 1.7 conectado a una fuente de voltaje.

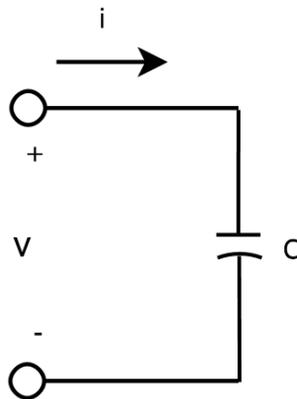


FIGURA 1.7 Símbolo del capacitor con su voltaje y corriente.

El capacitor asocia una propiedad denominada capacitancia la cual se define en función de la carga eléctrica y del potencial adquirido. Su unidad son los Faraday  $F$ .

$$C = \frac{Q_{neta}}{V_{neto}} [F]$$

La capacitancia se puede definir como la propiedad que tiene un elemento eléctrico de almacenar carga eléctrica y que se opone al cambio de voltaje en sus extremos en todo momento.

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$$

$$I_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt}$$

Finalmente nos queda:

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I_c(t) dt + C.I.$$

Para asegurar de que el capacitor puede ser visto como un elemento lineal debe cumplir:

$$v C = q$$

Donde  $C$  es la capacitancia.

Un capacitor se puede definir como un elemento de memoria ya que la energía almacenada entre sus placas nos da una condición inicial de operación para tiempos iguales a cero. Un capacitor actúa como un sistema de amortiguamiento ya que cuando llega a fallar el suministro de energía en el circuito eléctrico, la energía almacenada entre sus placas paralelas tratará de devolverlo al sistema que lo alimentó tratando de conservar las condiciones nominales [10].

#### c) Inductor eléctrico:

Un inductor es un elemento de dos terminales que permite almacenar energía, debido a la existencia de un campo magnético. La energía será representada a través de un pequeño voltaje que ha sido inducido al simular una corriente eléctrica a través de dicho elemento y a través del campo formado. El inductor tiene una propiedad denominada inductancia y corresponde a un parámetro de proporcionalidad. Su unidad son los henrys, en la figura 1.8 se muestra el símbolo del inductor y se denomina con la letra  $L$ .

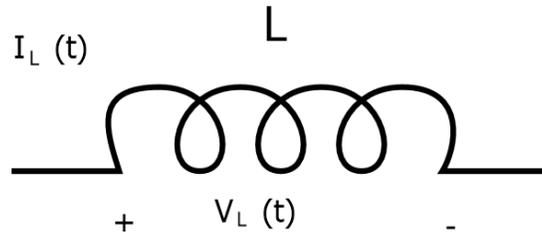


FIGURA 1.8 Inductor eléctrico.

La corriente en el inductor.

$$I_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L(t) dt + C.I.$$

Un inductor o también conocido como bobina es un elemento que actúa como un amortiguador de corriente, ya que si fue excitado esto pudo haber almacenado energía, debido a la aparición de un campo magnético y existencia de una corriente eléctrica. Cuando a dicho dispositivo se le quita la excitación este mantendrá entre espira y espira un pequeño potencial que quedó inducido cuando apareció el campo magnético, como se muestra en la figura 1.9. Ese pequeño potencial recibe el nombre de fuerza contra electromotriz.

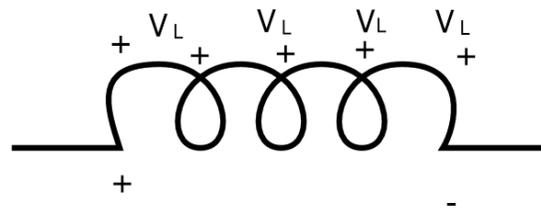


FIGURA 1.9 Fuerza contra electromotriz.

En un inductor el voltaje adelanta a la corriente en 90° [10].

### 1.2.2 Elementos activos

Un elemento activo corresponde a un dispositivo que proporciona energía a otros elementos que la requieren para producir o proporcionar un trabajo. Los elementos

activos también reciben el nombre de fuentes de generación o fuentes de excitación. Existen de dos tipos de fuentes de generación: voltaje y corriente eléctrica.

a) Fuente independiente de voltaje:

En la figura 1.8 se muestra el símbolo de una fuente de excitación de voltaje, también conocida como fuente independiente de voltaje. La cual es la que proporciona voltaje constante, es decir, mantiene un valor de voltaje pre-establecido entre sus terminales sin importar la corriente que le sea demandada [14].

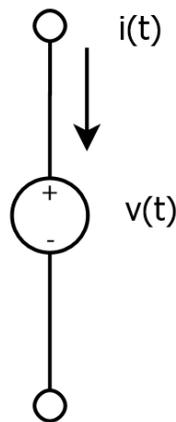


FIGURA 1.8 Fuente independiente de voltaje.

b) Fuente independiente de corriente:

En la figura 1.9 se muestra el símbolo de una fuente de excitación de corriente, también conocida como fuente independiente de corriente. La cual es la que mantiene constante un valor pre-establecido de corriente sin importar las variaciones que pudiera existir, debido al incremento o decremento de la carga en sus extremos [3].

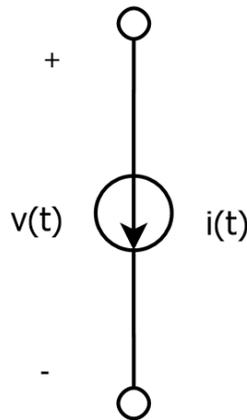


FIGURA 1.9 Fuente independiente de corriente.

### 1.2.3 Leyes de corriente de Kirchhoff (L.C.K.)

Establece que la sumatoria de corrientes en un punto nodal debe ser igual a cero. Puede ser interpretado como la sumatoria de las corrientes que entran a un punto nodal es igual a la sumatoria de las corrientes que salen del mismo punto nodal. Es decir:

$$\sum_{i=1}^n i_i = 0$$

La L.C.K. establece que la suma algebraica de las corrientes hacia un nodo es cero en todo instante [4].

### 1.2.4 Leyes de voltajes de Kirchhoff (L.V.K.)

Establece que un circuito eléctrico donde exista una trayectoria cerrada el voltaje aplicado a dicho circuito corresponderá a la sumatoria de cada uno de los potenciales que se asocian en los extremos de cada uno de los elementos que conforman la trayectoria cerrada. Es decir:

$$v_{fuente} = \sum_{i=1}^n v_i = 0$$

La L.V.K. establece que la suma algebraica de los voltajes alrededor de una trayectoria cerrada de un circuito tiene un valor de cero en cada instante [4].

### 1.3 Teoría del transformador

Un transformador es un dispositivo electromagnético transmisor de potencia eléctrica en corriente alterna.

En un transformador ideal, tanto la potencia  $P$  como el factor de potencia  $\cos\theta$  no se alteran de modo que los valores de entrada y de salida no se alteran. Pero un transformador real tiene pérdidas, de modo que los valores de salida con respecto a los de entrada difieren ligeramente.

Normalmente se usa la letra H para referirse al lado de mayor voltaje y la letra X para el lado de menor voltaje.

La potencia de entrada puede ser definida como:

$$P_{entrada} = V_H I_H \cos \theta$$

Los cuales transforma como:

$$P_{salida} = V_X I_X \cos \theta$$

En la figura 1.10 se muestra el diagrama de bloques donde se observa una señal de entrada en la parte del primario y en la parte del secundario se observa la señal transformada [7].



FIGURA 1.10 Diagrama de bloques con señal de entrada y de salida de un transformador.

En la figura 1.11 se puede observar el símbolo básico del transformador.

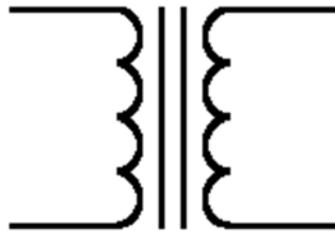


FIGURA 1.11 Símbolo del transformador.

### 1.3.1 Estructura

Un transformador consta de un núcleo de material ferromagnético en el cual se encuentran devanadas dos bobinas, generalmente de diferente número de vueltas.

Normalmente la bobina de mayor número de vueltas es la que trabaja con alta tensión (primario) y la del menor número de vueltas con baja tensión (secundario).

En la figura 1.12 se muestran dos tipos de núcleos diferentes para los transformadores, el núcleo comúnmente usado es el acorazado. Las bobinas que se muestran devanadas en los núcleos son representativas ya que en la realidad llegan a dar cientos y hasta miles de vueltas. Cuando se usa el núcleo acorazado la bobina de baja tensión suele devanarse sobre las de alta tensión, de manera que son concéntricas [9].

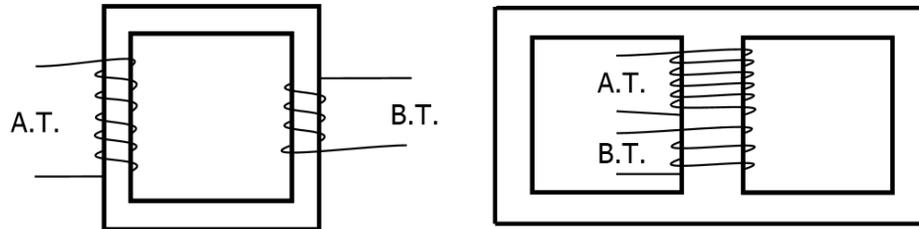


FIGURA 1.12 Estructura del transformador. Núcleo sencillo y núcleo acorazado respectivamente.

### 1.3.2 Excitación de la bobina primaria

En este caso se puede tomar cualquiera de las bobinas como primario. En la figura 1.13 se muestra sólo la mitad correspondiente al devanado primario que tomaremos para análisis.

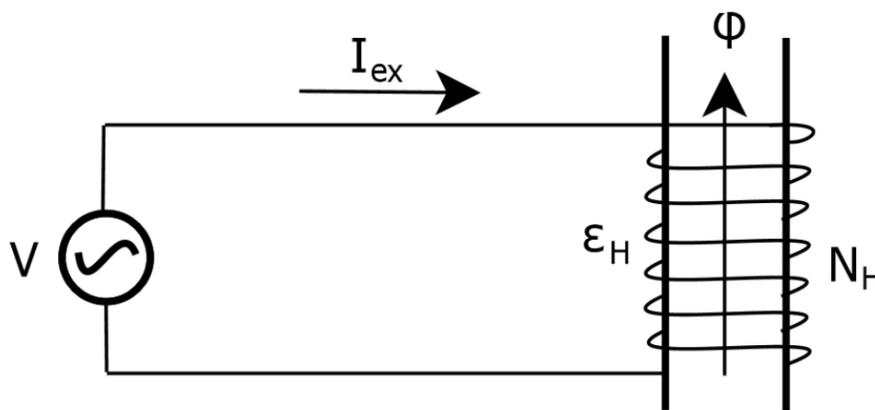


FIGURA 1.13 Excitación de la bobina primaria.

La bobina primaria se conecta a una fuente de excitación alterna  $v$  y  $N_H$  representa el número de vueltas.

$$v = V_{m\acute{a}x} \sin 2\pi ft$$

El voltaje alterno suministrado por  $v$  hace fluir en el circuito una corriente, la cual induce en el eje magnético de la bobina. Este induce en la bobina una fuerza electromotriz  $\epsilon_H$ , de acuerdo con la ley de Faraday:

$$\epsilon_H = -N_H \frac{d\varphi}{dt}$$

Se puede observar en la figura 1.13 que es un circuito cerrado, aplicando la L.V.K., queda:

$$v + \epsilon_H = 0$$

Sustituyendo:

$$V_{m\acute{a}x} \sin 2\pi ft - N_H \frac{d\varphi}{dt} = 0$$

Resolviendo la ecuación diferencial

$$\varphi = \frac{V_{m\acute{a}x}}{2\pi f N_H} [-\cos 2\pi ft] + C$$

La constante de integración  $C$  sólo es válida en los primeros ciclos después de cerrar el circuito, en estado estable  $C = 0$ . En función del valor eficaz

$$V_{m\acute{a}x} = \sqrt{2} V$$

Y simplificando las constantes

$$\frac{V_{m\acute{a}x}}{2\pi} = \frac{1}{4.44}$$

La expresión se reduce

$$\varphi = \frac{V}{4.44 N_H f} [-\cos 2\pi ft]$$

La magnitud de la cosenoide

$$|\varphi| = \frac{V}{4.44 N_H f}$$

Esto significa que el flujo en el núcleo es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la frecuencia.

Conocida la expresión de flujo, se puede calcular la fuerza electromotriz inducida en la bobina mediante la ley de Faraday [11].

$$\epsilon_H = -N_H \frac{d}{dt} \frac{V_{m\acute{a}x}}{2\pi f N_H} [-\cos 2\pi f t]$$

De donde

$$\epsilon_H = -V_{m\acute{a}x} \text{sen } 2\pi f t$$

Por lo tanto

$$\epsilon_H = -v$$

### 1.3.3 Fuerza electromotriz inducida en el secundario

Basándonos en un transformador con un núcleo acorazado para facilitar el razonamiento de la inducción en el secundario, como se muestra en la figura 1.14.

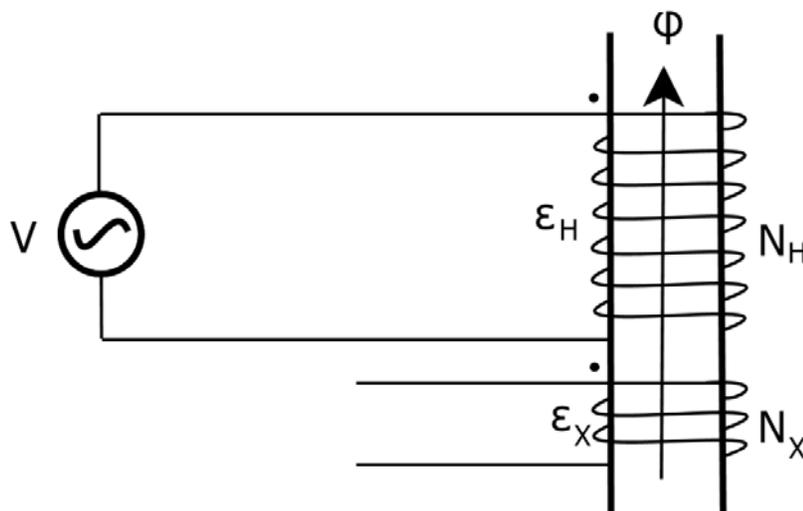


FIGURA 1.14 Inducción de fuerza electromotriz en el secundario.

En la figura 1.14 sólo aparece la columna central del núcleo y se puede observar que las bobinas están devanadas en el mismo sentido; solamente difieren en el

número de vueltas y en el calibre que se utiliza. Se observa que el flujo atraviesa las dos bobinas en el mismo sentido. Aplicando la ley de Faraday.

$$\epsilon_X = -N_X \frac{d}{dt} \frac{V_{m\acute{a}x}}{2\pi f N_H} [-\cos 2\pi f t]$$

Da como resultado.

$$\epsilon_X = -\frac{N_X}{N_H} V_{m\acute{a}x} \text{sen } 2\pi f t$$

Se puede observar que la fuerza electromotriz en el secundario es proporcional al de la fuerza electromotriz primaria y además se encuentran en fase [9].

### 1.3.4 Relación de transformación

Se considera que:

$$-V_{m\acute{a}x} \sin 2\pi f t$$

Es la fuerza electromotriz inducida en el primario, se tiene:

$$\epsilon_X = \frac{N_X}{N_H} \epsilon_H$$

Por lo tanto:

$$\frac{N_H}{N_X} = \frac{\epsilon_H}{\epsilon_X}$$

Equivalente a:

$$\frac{N_H}{N_X} = \frac{v_H}{v_X} = n$$

Donde n es la relación de transformación de la tensión entre la bobina primaria y la bobina secundaria. Se observa que depende del número de vueltas que tenga cada embobinado.

## 1.4 Conceptos básicos de la medición

Los instrumentos de medición son una parte fundamental para el estudio de los fenómenos eléctricos y su cuantificación. Los instrumentos de medición no son ideales y por lo tanto tienen una serie de limitaciones que debemos tomar en cuenta para poder decidir si las mediciones tomadas son correctas.

### 1.4.1 Instrumento de medición

En la ingeniería se hace uso de instrumentos de medición para el estudio, cuantificación y análisis de los resultados obtenidos. No todos los instrumentos son necesariamente mecánicos o eléctricos. En la figura 1.15 se muestra un esquema de forma general de los instrumentos de medición.

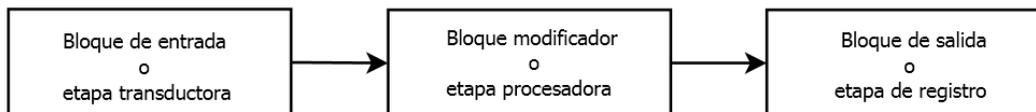


FIGURA 1.15 Bloques básicos de un instrumento de medición.

Los bloques representan a los instrumentos desde el punto de vista de las funciones que realizan y no siempre corresponden a un elemento o componente físico del instrumento de medición [15].

a) Bloque de entrada o etapa sensora-transductora.

Consiste en captar o detectar la presencia de una cantidad física para convertirla en otra señal que se pueda procesar, manipular, comparar o simplemente modificar con mayor facilidad. Con frecuencia, la cantidad física resulta ser eléctrica o mecánica. Existen varios tipos de transductores que nos convierte la medida física a cuantificar a una señal eléctrica. Todo depende al tipo de señal o aplicación en la cual se está trabajando.

b) Bloque modificador o etapa procesadora.

Este bloque consiste en manejar la cantidad física que proviene de la etapa transductora para amplificarla, atenuarla, filtrarla o convertirla en otra con características deseables y fáciles de detectar o registrar.

c) Bloque de salida o etapa de registro.

Las señales procesadas deben mostrarse de forma óptica, acústica, gráfica o a través de números impresos. Esta última etapa hace uso de las señales provenientes del bloque procesador para realizar una o varias de las funciones de presentación, ya sea en una pantalla digital, impresa en papel, alarma audible o visible etc. por mencionar algunos.

#### **1.4.2 Características estáticas de un instrumento de medición**

Características que indican cómo es un instrumento y qué puede esperarse del mismo. Las características son: gama o rango, resolución, legibilidad, precisión, exactitud y sensibilidad.

a) Gama o rango.

Intervalo de medición de un instrumento. Se define con dos valores, el menor y el mayor, ambos límites de la escala se usan.

b) Resolución.

Es el menor valor que puede registrar el instrumento con incertidumbre mínima.

c) Legibilidad.

Es el atributo del instrumento que indica la dificultad o facilidad con que un ser humano puede leer el registro.

d) Precisión.

Es un valor que indica la capacidad de un instrumento de repetir una misma lectura sucesivamente, cuando la cantidad que se detecta se mantiene constante.

e) Exactitud.

Es la característica de un instrumento de medición que permite obtener una lectura, de cierta cantidad física, lo más cercano al valor real o patrón.

f) Sensibilidad.

Es la respuesta que tiene el instrumento de medición a una entrada calibrada o de referencia. Se representa con letra S.

A lo largo de las mediciones pueden existir varios tipos de errores:

- a) Error de precisión, si al repetir sucesivamente una medida de una cantidad física fija, aquella se desvía una cantidad diferente en cada medición de la entrada o cantidad conocida como referencia o patrón. Este error se le puede llamar aleatorio.
- b) Error de exactitud, si al repetir sucesivamente una medida de una cantidad física fija, aquella se desvía consistentemente en una sola dirección del valor de la cantidad de referencia. A este error se le puede llamar sistemático.
- c) Incertidumbre, si no podemos calibrar o repetir alguna lectura pero podemos dar una estimación del error, al que creemos puede ser fijo, variable o una combinación de ellos. Puede darse como consecuencia de errores en todo proceso de medición y el valor que se dé puede ser a priori, es decir, antes de medir o bien a posteriori (corregido después de medir).

### **1.4.3 Curva de calibración**

Es la comparación de los datos que producen los registros de un instrumento de medición contra los valores aplicados al mismo. Esto permite analizar si el comportamiento de éste es suficiente bueno.

Hay dos formas de presentar los datos: en una tabla o en una gráfica con ejes perpendiculares. Ambos casos determinan lo que se llama curva de calibración [1].

## **Capítulo 2. Normas en un quirófano y tablero de aislamiento**

### **2.1 NOM-001-SEDE-2012**

En la legislación mexicana existen básicamente dos normas, las Normas Oficiales Mexicanas NOM y las Normas Mexicanas llamadas Normas MX. Las NOM son de carácter obligatorio y las Normas MX expresan una recomendación de parámetros o procedimientos.

Las Normas Oficiales Mexicanas conocidas como NOM son regulaciones de carácter obligatorio expedidas por las Dependencias de la Administración Pública Federal. Señalan reglas, especificaciones, atributos, directrices, características y prescripciones aplicables a un producto u operación.

#### **2.1.1 Introducción**

La composición de la NOM-001-SEDE-2012 (de aquí en adelante se mencionará como NOM) es creada bajo las necesidades técnicas requeridas para la utilización de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas en la República Mexicana. La NOM toma en cuenta el uso de vocablos y se representan términos habituales para no tener conflictos en los conceptos.

La NOM se elaboró por el Comité Consultativo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas y por la Dirección General de Distribución y Abastecimiento de Energía Eléctrica y Recursos Nucleares de la Secretaría de Energía con ayuda de las siguientes instituciones:

- Asociación Mexicana de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, AMDROC.
- Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, AMERIC.
- Asociación de Normalización y Certificación, A.C., ANCE.

- Cámara Nacional de la Industria de Desarrollo y Promoción de Vivienda, CANADEVI.
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación, CANACINTRA.
- Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas, CANAME.
- Confederación de Cámaras Nacionales de Comercio, Servicios y Turismo, CONCANACO.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE.
- Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos, CONCAMIN.
- Comisión Nacional de Vivienda, CONAVI.
- Federación de Colegios de Ingenieros Mecánicos y Electricistas de la República Mexicana, FECIME.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE.
- Instituto Politécnico Nacional, IPN.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX.
- Procuraduría Federal del Consumidor, PROFECO.
- Secretaría de Economía, SE.
- Secretaría de Gobernación, SEGOB.
- Secretaría de Salud, SALUD.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social, STPS.
- Secretaría de Turismo, SECTUR.

También contó con la colaboración del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, A.C., Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, A.C., Arquitectos y Especialistas en Protección Civil, A.C., el Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México y la Asociación Mexicana de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, A.C.

Con respecto al título 5 de la NOM se tradujeron partes del National Electric Code (NEC) y National Fire Protection Association (NFPA).

La NOM se encuentra dividida en 8 títulos:

- Títulos 1 y 2. Señala “el objetivo, campo de aplicación y referencias” a las que hace la NOM.
- Título 3. “Lineamientos para la aplicación de las especificaciones en las instalaciones eléctricas”. Metodología para la correcta aplicación de las disposiciones y contiene una guía general para su interpretación correcta.
- Título 4. “Principios fundamentales”, de los cuales no están sujetos a modificaciones en función de desarrollos tecnológicos.
- Título 5. “Especificaciones”, contiene los requisitos técnicos que tienen por objetivo asegurar un correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.
- Título 6, 7 y 8. “Vigilancia”, “bibliografía”, “concordancia con normas internacionales y normas mexicanas”.

### **2.1.2 Objetivo y campo de aplicación**

El objetivo de la NOM es establecer especificaciones y lineamientos técnicos que deben de satisfacer las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica, con el fin de que se tengan adecuadas condiciones de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a:

- Descargas eléctricas
- Efectos térmicos
- Sobrecorrientes
- Corrientes de falla
- Sobretensiones

El cumplimiento de la NOM fomenta el uso de la energía eléctrica en forma segura.

El campo de aplicación es en las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

- a) Propiedades industriales, comerciales, de vivienda, instalaciones en edificios de vivienda y oficinas, almacenes, estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación.
- b) Casas móviles, vehículos de recreo, construcciones flotantes, ferias, circos, exposiciones, lugares de reunión, lugares de atención a la salud, construcciones agrícolas, marinas y muelles.
- c) Instalaciones situadas fuera de edificios.
- d) Alambrado fijo para telecomunicaciones, señalización y control.
- e) Aplicaciones o modificaciones a las instalaciones.

### **2.1.3 Distribución de las características en el título 5 de la NOM**

El título 5 de la NOM se denomina “Especificaciones” y es donde se encuentran las características que debe tener una instalación eléctrica. Dicho título se encuentra dividido en 10 capítulos y cada capítulo está dividido por artículos seguido de un número asignado. Cada artículo trata de un tema específico.

En los capítulos 1, 2, 3 y 4 se encuentran los artículos de aplicación general; los capítulos 5, 6 y 7 se refieren a ambientes y equipos especiales. Estos últimos capítulos modifican o complementan los artículos de aplicación general. Asimismo, los capítulos 1, 2, 3 y 4 aplican a todo excepto a lo modificado por los capítulos 5, 6 y 7.

El capítulo 8 se refiere a las instalaciones para los sistemas de comunicación y es independiente de los demás con excepción de las referencias que haga de sí misma.

El capítulo 9 explica las disposiciones para instalaciones destinadas al servicio público, líneas aéreas, líneas subterráneas y subestaciones.

El capítulo 10 está compuesto por tablas de datos de conductores y de sus aislamientos.

Si un artículo es muy extenso se subdivide en partes identificándolas con una letra en orden sistemático.

Cada artículo se divide en secciones que se identifican con números y el nombre del tema principal. Además, una sección se puede desglosar en subsecciones con una letra entre paréntesis y cada subsección puede estar desglosada aún más con números entre paréntesis, como se muestra en la figura 2.1.

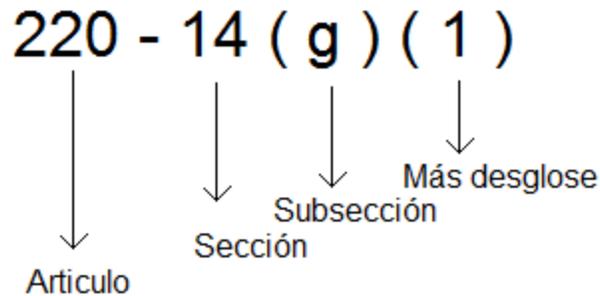


FIGURA 2.1 Composición de un artículo

Es importante que se haga referencia a la NOM especificando como se muestra en la figura 2.1.

En la NOM se encuentran excepciones que proporcionan alternativas a una disposición específica. Existen dos tipos de excepciones: de obligatoriedad y permisibles. Una excepción y una disposición de carácter obligatoria generalmente incluyen los términos “debe” o “no debe” y las excepciones de tipo permisible generalmente incluyen la expresión “se permite” o “no se exige”.

#### 2.1.4 Interpretación formal

Para resolver controversias en la interpretación de la NOM, la autoridad competente es la Secretaría de Energía a través de la Dirección General de Distribución y Abastecimiento de Energía Eléctrica y Recursos Naturales.

## 2.2 NFPA 99 2005

Desde 1896, la NFPA “National Fire Protection Association” (Asociación Nacional de Protección contra Incendios) se ha dedicado a salvaguardar vidas y bienes como consecuencia de los incendios y otros peligros a través de los códigos nacionales contra incendios de la NFPA.

Por su desarrollo profesional, educación, programas de asistencia a la comunidad e investigación, la NFPA es un asesoramiento a nivel mundial más usado en seguridad contra incendios, seguridad eléctrica y seguridad en la edificación.

Los códigos, normas, prácticas recomendadas y guías de la NFPA. Cada uno de los documentos antes mencionados, son desarrollados a través de un proceso aprobado por “The National Standards Institute”.

Este proceso reúne a voluntarios que representan distintos puntos de vista e intereses para archivar consensos contra incendios y otras cuestiones de seguridad. La NFPA administra el proceso y establece reglas para promover la equidad en el desarrollo de consensos.

La NFPA no se compromete a prestar servicios profesionales o de otro tipo para su ejecución y operación. Cualquier persona que use este documento debe de emplear su juicio propio, de lo contrario, se debe solicitar asesoramiento de un profesional competente para determinar la correcta interpretación y ejecución de este documento.

La NFPA es una asociación comercial de los Estados Unidos de Norteamérica, con miembros internacionales que crean y mantienen privadas bajo derecho de autor normas, códigos, guías y practicas recomendadas.

### **2.2.1 Introducción**

La NFPA 99 2005 “Standardt for Health Care Facilities” (Normas para Centros de Atención Médica) fue realizada por Comités Técnicos en:

- Administración
- Equipo Eléctrico
- Sistemas Eléctricos
- Equipos de Gas
- Cuidado de la Salud y Manejo de Emergencias
- Instalaciones Hiperbáricas
- Sistemas de tubería o canalización

La NFPA 99 2005 se publicó por “The Technical Correlatting Committee on Health Care Facilities” (Comité de Correlación Técnica de Centros de Atención Médica) en la reunión técnica de la asociación NFPA celebrada del 13 al 17 de noviembre de 2004 en Miami Beach, FL. Fue emitida por “The Stardart Council” (Consejo de Normas) el 14 de enero de 2005 con fecha de vigencia del 7 de febrero de 2005 reemplazando todas las anteriores y aprobada como Norma Nacional Americana.

### **2.2.2 Origen y desarrollo de la norma NFPA 99**

La idea de esta norma creció a medida que el número de documentos en el marco del comité original de la NFPA sobre hospitales creció. A finales de 1980, existían 12 documentos sobre una variedad de temas, 11 de ellos abordaban directamente problemas relacionados con el fuego y los centros de salud. Los documentos abarcaban la preparación e instalación para:

- La atención de salud en emergencia
- Anestésicos inhalatorios
- Terapia respiratoria
- Laboratorios de las instituciones relacionadas con la salud
- Instalaciones hiperbáricas
- Anestésicos inhalatorios en instalaciones de atención ambulatoria

- Uso doméstico de la terapia respiratoria
- Sistemas de aspiración medicó-quirúrgicas en hospitales
- Sistemas eléctricos esenciales para los centros de salud
- El uso seguro de la energía eléctrica en las áreas de atención de pacientes de centros de salud
- El uso seguro de la energía eléctrica de alta frecuencia en los centros de salud

En enero de 1982, se publicó una recopilación individual de cada uno de los 12 documentos bajo la jurisdicción del “Correlating Committee” (Comité de Correlación). Y fue nombrado como NFPA 99 “Health Care Facilities Code” (Códigos para Centros de Atención Médica).

En la edición de 1984 la NFPA 99 adicionó cambios: técnicos, administrativos y organizacionales. En esa edición se incluye por primera vez la NFPA 56F “Standard Nonflammable Medical Piped Gas System” (Norma para gases no inflamables en sistemas de tubería).

En la edición de 1987 la NFPA 99, concentró los documentos anteriormente publicados individualmente en un documento cohesivo.

A partir de la edición de 1987, el documento de la NFPA 99 era una norma de nivel nacional en Estados Unidos de América y donde sólo se empezaron a realizar algunos cambios técnicos, revisión de lo ya establecido, aclaración de donde se tiene que aplicar la NFPA 99. En las ediciones siguientes se podrá observar grandes cambios para seguridad eléctrica en los quirófanos: límites de corriente de los equipos médicos, límites de corriente de fuga del equipo médico relacionado con la atención quirúrgica, requerimientos para los interruptores y receptáculos en anestesia, entre otros cambios en torno a lugares de aplicaciones de la NFPA 99 en los quirófanos.

En la edición de 1990 la NFPA 99, se realizaron cambios estructurales y se añadieron algunas modificaciones con el fin de facilitar su aplicación. A su vez, se hicieron los siguientes cambios técnicos:

- Correlación con la norma NFPA 101 y “Life Safety Code” (Códigos de seguridad de vida).
- Cambios para el sistema de aire comprimido médico en el uso de dispositivos médicos con motor de gas que operan a una presión manométrica de 200 psi.
- Cambios en los sistemas de gas canalizado en general.
- Cambios en los límites de corriente eléctrica para equipos médicos de atención al paciente.
- Aclaración de las áreas de atención al paciente y lugares húmedos.
- Manual de orientación al personal en caso de un siniestro.

En la edición de 1993 la NFPA 99, se realizaron los siguientes cambios técnicos:

- Adición de requisitos y recomendaciones para evitar o minimizar los incendios en quirófanos.
- Cambios en los requisitos del capítulo 4 para instalar, inspeccionar, probar, verificar y mantener los sistemas de gas médico canalizado no inflamable.
- Se añadió una nueva sección sobre aire comprimido dental y los requisitos de tuberías de vacío en la área de dental, contenido en el capítulo 4
- Cambios en los límites de corriente de fuga de los equipos médicos relacionado con la atención quirúrgica.
- Revisión de requisitos de los laboratorios para la correlación con la norma NFPA 45 “Standart for Laboratories Using Chemical” (Norma para Laboratorios que Utilizan Sustancias Químicas).
- Cambios en los requisitos del sistema eléctrico esencial en clínicas de atención médica ambulatoria y consultorios médicos - dentales.
- Revisión de los requisitos de una cámara hiperbárica en el capítulo 19 de la NFPA 99.

Para la edición de 1996 la NFPA 99, se reestructuran los capítulos 3 y 4 de manera que los requisitos del sistema eléctrico y tuberías de gas y vacío se encuentren contenidas en una misma sección.

Cambios técnicos fueran los siguientes:

- Se mueven de ubicación en la NFPA 99 los requisitos correspondientes a los anestésicos inflamables y el uso de anestésicos inhalatorios inflamables a un nuevo apéndice.
- Se agrega el capítulo 18 para la atención médica en el hogar.
- Remarcar en la sección 1-1 que la NFPA 99 sólo aplica en instalaciones que atienden a seres humanos.
- En el capítulo 3, se revisaron las pruebas a seguir para los generadores de emergencia con respecto a la norma NFPA 110 “Standart for Emergency and Standby Power System” (Norma para Sistemas de Emergencia y de Energía de Reserva).
- Revisión de los criterios de iluminación de emergencia en quirófanos.
- En el capítulo 4 se revisaron los requisitos para los sistemas de aire comprimido de uso médico, sistemas de aire comprimido de uso dental y sistemas de eliminación de residuos de gases anestésicos.
- Revisión de los criterios para los sistemas de gas y vacío en los capítulos comprendidos entre el 12 y 18.
- En el capítulo 18 se adicionó criterios para instalaciones hiperbáricas móviles.

En la edición de 1999 se incluyeron algunos cambios técnicos:

- Los capítulos 13, 14 y 15 fueron sustituidos por el nuevo capítulo 13 que cubre los servicios de atención de salud en hospitales, hogares de ancianos y centros de atención como lo define el capítulo 2.
- En el capítulo 3 se modificaron las pruebas para las plantas de emergencia con carga que suministra al sistema eléctrico esencial.
- Hace aclaración de los interruptores de transferencia y el diagrama unifilar del sistema de emergencia.
- Aclaración de cuáles son las áreas que comprende el suministro de energía eléctrica de una planta de emergencia.

- Se revisó el orden de los requisitos de instalación y pruebas de los sistemas de gas y vacío entubado.
- En el capítulo 19 “Instalaciones Hiperbáricas” fue revisado en: áreas de cableado eléctrico, calidad del aire, iluminación, ventilación, comunicación y gestión de la seguridad.
- Se añadió un nuevo capítulo (Capítulo 20) “Auto soportados en Centros de Maternidad”.

En la edición 2002 incluyó un formato y revisión de técnicas. En abril de 2002 el manual de estilos emitido por la NFPA se aplicó en la NFPA 99. Los apéndices fueron designados como anexos. Y también se realizaron los siguientes cambios técnicos:

- En el capítulo 3 se revisaron las definiciones con respecto a otros documentos de la NFPA para su homogeneidad.
- Cambios en el capítulo 4 “Sistemas Eléctricos”, donde se abordaron temas de cableado eléctrico, interruptores de transferencia, inspección y aplicación.
- En el capítulo 11 “Laboratorios”, se explica: la protección estructural de las salidas y la intención de los extintores portátiles. También, se hicieron revisiones para el manejo de líquidos inflamables y combustibles.
- Capítulo 12 “Instalaciones Hiperbáricas”, se revisaron los requerimientos: de despresurización de emergencia, las responsabilidades que tiene el director de seguridad o similar y la ejecución del procedimiento de emergencia.

Finalmente los cambios realizados en la edición 2005 son principalmente en redacción y claridad de los requerimientos. Cambios técnicos son los siguientes:

- En el capítulo 3 se definen los diferentes tipos de gases.
- Los requerimientos para los interruptores y receptáculos en anestesia que se localizaban en el capítulo 4 se trasladan al capítulo 13 “Requisitos de un hospital”.

- Se actualiza el material extraído de la norma NFPA 110 “Standart for Emergency and Standby Power System” (Norma para Sistemas de Emergencia y Energía de Reserva).
- En el capítulo 5, las especificaciones para los materiales en la construcción se han cambiado para permitir a los fabricantes elegir los materiales en: filtros, secadores, reguladores y bombas de vacío.
- En el capítulo 12 se revisó la actualización de las técnicas utilizadas en la gestión de emergencias en los centros de salud.
- Se realizan correcciones de redacción en los capítulos 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19.
- Se revisan los requerimientos para las cámaras de calefacción y ventilación, así como los tipos de materiales que se permiten en dichas cámaras.

En la actualidad la NFPA 99 en su edición 2005 se encuentra en vigor.

### **2.3 Tablero de aislamiento**

En la actualidad la energía eléctrica es muy importante para la ayuda dentro de un quirófano, pero el uso puede representar un peligro potencial tanto al paciente que está siendo intervenido quirúrgicamente como para el personal que labora dentro del quirófano. Una persona en una intervención quirúrgica con tan solo 5 mV y 10  $\mu\text{A}$ <sup>1</sup> puede ocasionarle una fibrilación ventricular.

Actualmente se pone en riesgo la integridad física del paciente, debido a que últimamente se utiliza más equipo médico en las cirugías, por tal motivo es necesario establecer requerimientos de seguridad eléctrica que debe tener un quirófano o sala de emergencia para evitar una muerte.

El tablero de aislamiento o también conocido como sistema de energía aislado es de carácter obligatorio bajo la NOM, ya que nos ayuda a prevenir descargas eléctricas y a medir la corriente eléctrica que todo equipo eléctrico fugará a través de su gabinete, denominada como corriente de fuga. Dicha corriente puede ser muy

---

<sup>1</sup> NOM-001-SEDE-2012 517-11

peligrosa aplicada directamente al miocardio, entre 10 y 20  $\mu\text{A}$  puede inducir una fibrilación ventricular.

Como consecuencia de estos problemas, los hospitales del sector público y privado deben de respetar lo establecido en la legislación actual. La NOM señala:

“Los sistemas de energía aislados, se deben instalar en áreas de atención crítica de acuerdo a 517-11 (de la NOM-001-SEDE-2012), estas áreas son: Salas de operaciones (quirófanos), terapias intensivas, así como en áreas donde se practiquen rutinariamente cualesquier procedimiento invasivo en el que se pudiera involucrar el cuerpo y el corazón del paciente y en el que con el uso de un sistema de energía puesto a tierra o aterrizado, pudiera el paciente morir electrocutado. El sistema de energía aislado debe ser aprobado en conjunto con todas sus partes componentes ensambladas y contenidas dentro de su gabinete o envolvente metálica, para este propósito, el sistema debe ser seleccionado, diseñado, instalado, operado, conservado y probado cumpliendo con lo indicado en 517-160.”<sup>2</sup>

Un sistema de energía aislado salvaguarda la vida del paciente y del cuerpo médico que se encuentra laborando dentro de una sala de operación o quirófano. El sistema aislado reduce el riesgo de descarga eléctrica y la tierra es un elemento esencial para el buen funcionamiento del sistema.

### **2.3.1 Componentes de un tablero de aislamiento**

En la actualidad existen varios fabricantes de tableros de aislamiento aprobados por los laboratorios certificados que cumplen con las normas NOM-001-SEDE-2012 y NFPA 99 2005. En la figura 2.1 un tablero de “Post Glover /Life Link” y en la figura 2.2 un tablero de “Square D / Schneider Electric”.

---

<sup>2</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 - 19 (e).

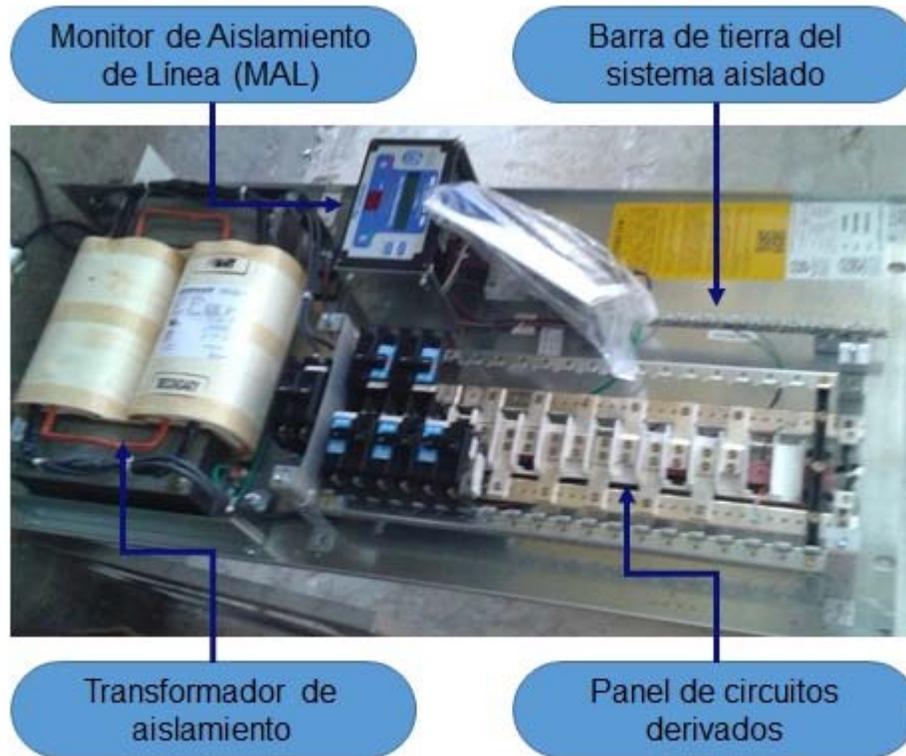


FIGURA 2.1 Tablero de aislamiento de Post Globber / Life Link.

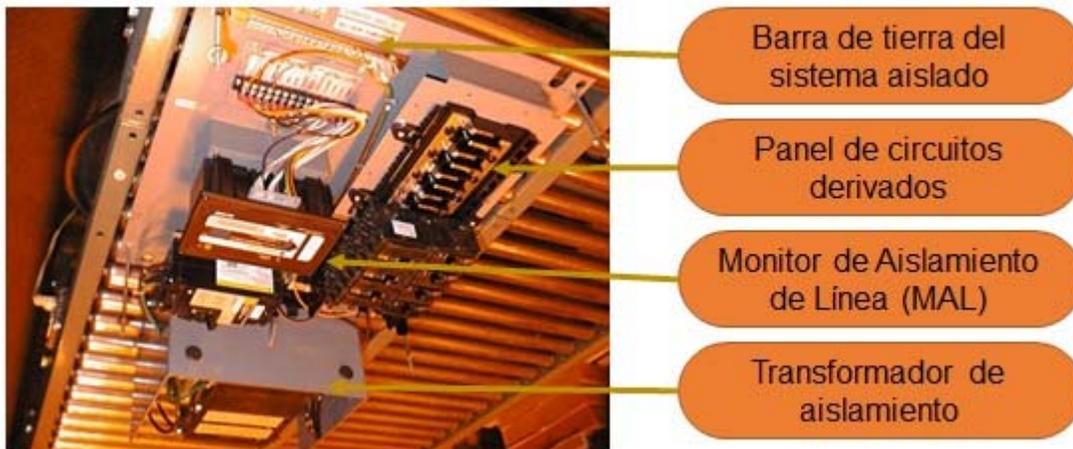


FIGURA 2.2 Tablero de aislamiento de Square D / Schneider Electric.

Ambos tableros contienen en esencia los mismos componentes:

- Transformador de aislamiento de baja corriente de fuga y blindado electrostáticamente. Capacidades nominales de 3, 5, 7.5 y 10 kVA. Tensión para primario 120 y 240 Volts CA y tensión para el secundario de 120 y 240 Volts CA.
- Monitor de aislamiento. La lectura del monitor siempre es visible en todo momento con una gama de medición de corriente peligrosa total de 0-2mA y 0-5mA.
- Centros de carga conforme a los requisitos de la NOM con interruptores derivados de dos polos (máximo de 16). Un interruptor general correspondiente a la alimentación del primario del transformador de aislamiento.
- Puerta con chapa para evitar operación por personal no autorizado.
- Barra de puesta a tierra que se utiliza para conectar todos los conductores de tierra derivado e interno.
- Caja en donde se encuentran todos los componentes del sistema. Elaborada de lámina de acero galvanizado y diseñada para montaje en pared.

### **2.3.2 Recomendaciones de instalación**

Para un buen funcionamiento de un tablero de aislamiento se deben de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones bajo la NOM.

Con respecto a los conductores empleados para la instalación entre los circuitos derivados y contactos grado hospital (ver imagen 2.3) la NOM señala:

“Se debe minimizar la longitud de los conductores de los circuitos derivados y se deben utilizar conductores con aislamiento que tengan una constante dieléctrica menor que 3.5 y una constante de aislamiento mayor a 6100 megaohm-metro (a 16 °C), con el objetivo de reducir la corriente eléctrica de

fuga de cada línea a tierra de toda la instalación terminada, reduciendo con esto la corriente peligrosa.”<sup>3</sup>

La NOM, para el uso de contactos grado hospital (ver imagen 2.3):

“Contacto grado hospital. Al dispositivo polarizado que debe contar con conectores para instalarle o fijarle los conductores de un circuito eléctrico, incluyendo el conductor con aislamiento de puesta a tierra para los equipos médicos, que debe servir para que se le enchufe una clavija que debe hacer una conexión efectiva por contacto mecánico y eléctrico de sus espigas con las mordazas del contacto. Además, debe estar identificado visiblemente en su parte frontal por un punto imborrable color verde, a este dispositivo deberán enchufarse sólo clavijas también identificadas grado hospital e igualmente polarizadas, con igual número de espigas y conectores para asegurar flujo de corriente eléctrica con un efectivo contacto con las mordazas del contacto, para minimizar la caída de tensión y asegurar la puesta a tierra de los equipos médicos. Los contactos grado hospital deben instalarse solamente dentro de la vecindad del paciente en las áreas de atención general y áreas críticas de pacientes.”<sup>4</sup>

Con respecto a la tierra redundante, la NOM indica:

“Puesta a tierra y puentes de unión en la vecindad del paciente. Dentro de la vecindad del paciente se debe instalar un punto de puesta a tierra dotado de conectores aprobados para puesta a tierra redundante de los equipos y dispositivos médicos, adicionalmente debe instalarse un puente de unión de tamaño nominal no menor de 5.26 mm<sup>2</sup> (10 AWG), para conectar la terminal de puesta a tierra de todos los contactos con terminal de puesta a tierra, con ese punto de referencia a tierra en la vecindad del paciente. El conductor para puesta a tierra mencionado, puede ser instalado en forma radial o en anillo, según convenga.”<sup>5</sup> (Ver figura 2.3)

---

<sup>3</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 - 160 (a) (7)

<sup>4</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 2 Definiciones

<sup>5</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 19 (c)

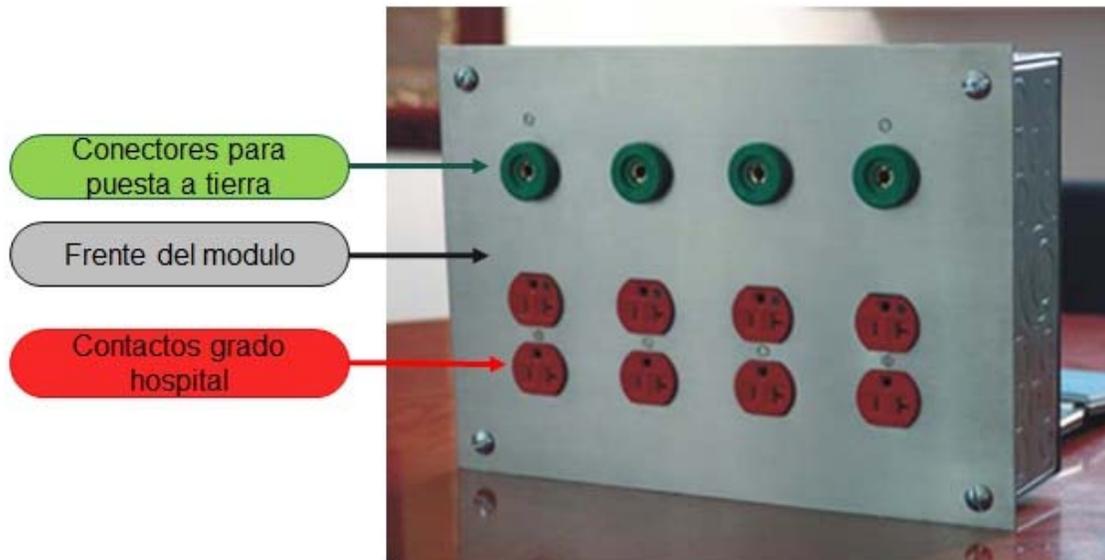


FIGURA 2.3 Módulo de fuerza y tierra.

La identificación de los conductores (ver figura 2.4) para los circuitos derivados y contactos grado hospital, la NOM especifica:

“Identificación de los conductores. Los conductores de los circuitos aislados deben identificarse como sigue: (1) Conductor con aislamiento 1: Color naranja con al menos una raya o banda continua de color distinto al verde, blanco o gris en toda la longitud del conductor. (2) Conductor con aislamiento 2: Color café con al menos una raya o banda continua de color distinto al verde, blanco o gris en toda la longitud del conductor.”<sup>6</sup>

Para sistemas eléctricos aislados trifásicos, el tercer conductor con aislamiento deberá identificarse en color amarillo.

Las distancias de las canalizaciones deben ser lo más directas y cortas posibles para reducir las corrientes de fuga.

<sup>6</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 160 (a) (5)

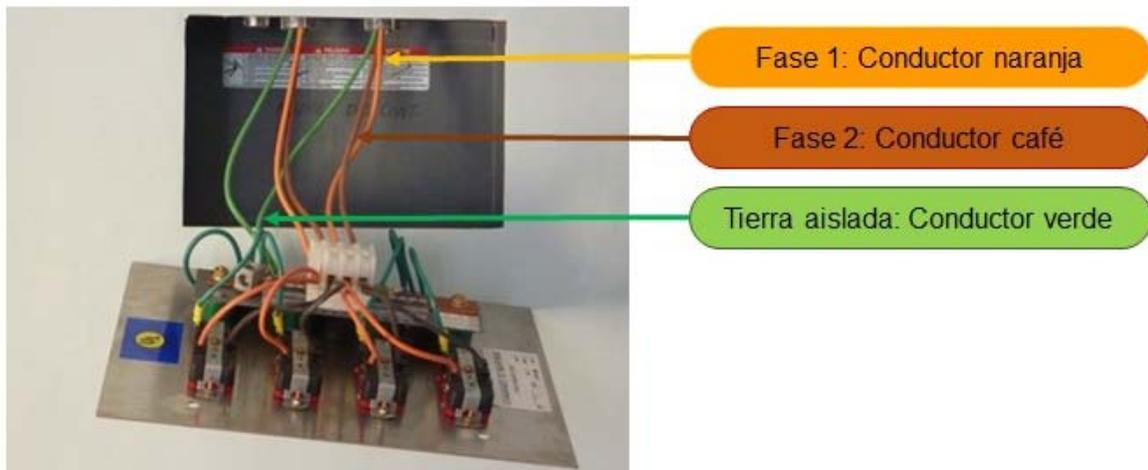


FIGURA 2.4 Identificación del cableado.

Para las canalizaciones, la NOM menciona:

“Canalizaciones metálicas no flexibles, cables del tipo MI, conduit de PVC Cédula 80. Las canalizaciones no metálicas no se deben usar para circuitos derivados que alimentan áreas de atención de pacientes.”<sup>7</sup>

Las canalizaciones no metálicas no se deben usar, se deben usar canalizaciones metálicas para poder crear tierra redundante en el sistema.

### 2.3.3 Funcionamiento del sistema

#### a) Transformador de aislamiento

Un circuito eléctrico con un transformador que no es de aislamiento, la energía eléctrica al no existir trayectoria efectiva hasta su fuente, la corriente tomará el camino de menor resistencia para llegar hasta su fuente y en ocasiones el camino más corto a tierra puede ser a través del cuerpo humano.

Por lo tanto si se utiliza un sistema aislado, las corrientes de fuga o falla del secundario del transformador de aislamiento, desde el envoltorio de los equipos

<sup>7</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 -30 (c) (3) (1)

médicos circularan por el conductor de puesta a tierra del equipo y por el conductor o tubería metálica que forman la redundancia, estas corrientes regresarán a su fuente que es el secundario del transformador de aislamiento pasando por el LIM (MAL) el cual indicará la intensidad de las corrientes de fuga o falla. De acuerdo con la NOM dichas corrientes no deben de exceder los 5 mA.<sup>8</sup>

b) Monitor de Aislamiento de Línea (MAL)

Monitor de Aislamiento de Línea (Line Isolation Monitors, LIM) mide las corrientes de fuga o de falla alternamente de cada línea, conectando una línea a la vez (cambiando 2.5 veces por segundo de línea) a la barra para puesta a tierra del tablero de aislamiento. La NOM define como Monitor de Aislamiento de Línea como:

“Un instrumento de medición diseñado para comparar continuamente la impedancia de cada conductor vivo aislado de tierra del circuito eléctrico aislado, equipado con circuito interconstruido para probar la alarma, sin incluir la corriente peligrosa de fuga del sistema aislado.”<sup>9</sup>

En la figura 2.5 se muestra un Monitor de Aislamiento de Línea MARK V de Post Glover.

En la figura 2.6 se muestra un Monitor de Aislamiento de Línea ISO-GARD SERIES 6 de Schneider Electric.

Ambos Monitores de Aislamiento de Línea contienen:

- Botón de test para simular una corriente de fuga sin incluir la corriente de fuga
- Botón de silenciar
- Alarma audible
- Lámpara verde y roja
- Display

---

<sup>8</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 160 (b) (3)

<sup>9</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 2. Definiciones



FIGURA 2.5 Monitor de Aislamiento de Línea MARK V de marca Post Glover.



FIGURA 2.6 Monitor de Aislamiento ISO-GARD SERIES 5 Schneider Electric.

La NOM menciona las características que debe de incluir el Monitor de Aislamiento de Línea.

“Además de los dispositivos de control y de protección por sobrecorriente normalmente utilizados, cada sistema eléctrico aislado debe incluir un monitor de aislamiento de línea (MAL) que opere continuamente, para monitorear la corriente de fuga o fallas de corriente eléctrica de cada conductor aislado de tierra e indique la corriente peligrosa total. El monitor debe estar diseñado de tal manera que una lámpara señalizadora de color verde pueda verse fácilmente por las personas dentro de la sala de operaciones o áreas de agentes anestésicos inhalatorios y permanecer iluminada cuando el sistema esté adecuadamente aislado de tierra. Además debe contener una lámpara color rojo señalizadora y una alarma audible, que deben energizarse cuando la corriente total peligrosa, que consiste en posibles corrientes de fuga resistivas o capacitivas de cualquier conductor aislado de tierra, alcance un valor cercano a 5 miliamperes bajo condiciones de tensión eléctrica normal. El monitor no debe alarmarse para valores menores a 3.7 miliamperes de corriente peligrosa de falla, ni para una corriente peligrosa total en el umbral de los 5 miliamperes.”<sup>10</sup>

Y la NFPA señala (traducción):

El monitor será diseñado de tal manera que una lámpara de luz verde, sea visible en el área donde el monitor de aislamiento de línea es utilizado, permanece iluminado cuando el sistema está adecuadamente aislado de la tierra; y junto una lámpara de luz roja y una señal acústica de precaución (remota si se desea) se activa cuando la corriente peligrosa total (que consta de posibles corrientes de fuga resistiva y capacitiva), desde cualquier conductor aislado con respecto a tierra alcanza un valor de umbral de 5,0 mA bajo condiciones normales de voltaje de línea. El monitor de aislamiento de

---

<sup>10</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – (b) (1)

línea no se debe alarmar para una corriente de falla peligrosa de menos de 3,7 mA.<sup>11</sup>

Ambos Monitores de Aislamiento deben de cumplir con las características especificadas bajo la NOM y ser aprobados por un laboratorio acreditado.

En caso de que se active la alarma audible y la visible (lámpara roja), significa que la corriente de fuga se ha incrementado de tal modo que es peligrosa para el paciente. Para esto, se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Silenciar la alarma audible.
2. El médico a cargo de la intervención quirúrgica deberá determinar si continuar con el procedimiento operatorio.
3. El área de ingeniería biomédica atenderá el evento lo antes posible y procederá a determinar la gravedad de los riesgos e indicará si es posible continuar.
4. De ser necesario, el personal de ingeniería biomédica y de enfermería que se encuentra laborando en ese momento deben de localizar el circuito o los circuitos derivados en los cuales se está generando mayor corriente de fuga o falla. Los debe identificar siguiendo procedimientos previamente establecidos para localizar el circuito o los equipos médicos que se encuentran en mal estado:
  - Con la información proporcionada al médico a cargo, se decidirá continuar o no con la intervención quirúrgica y todas las personas que se encuentren en el quirófano deben estar conscientes de los riesgos de proseguir o no con la intervención.
  - Una vez terminada la intervención quirúrgica se debe proceder a revisar y corregir detalladamente los puntos de falla detectados en todo el sistema eléctrico aislado, incluyéndose el alambrado, los contactos grado hospital y los equipos médicos utilizados durante la intervención.

---

<sup>11</sup> NFPA 99 2005 4.3.2.6.3.2

5. Detectando los problemas que activaron la alarma visible y audible del MAL (Monitor de Aislamiento de Línea) y en caso de que fuera uno o varios equipos médicos conectados en un contacto grado hospital, se procederá a lo siguiente:
  - Reponer inmediatamente el o los equipos médicos dañados o con altas corrientes de fuga por un equipo que este en perfectas condiciones para su uso. El equipo dañado debe ser reparado por personal calificado, verificando la integridad del mismo y la corriente de fuga de acuerdo a la NFPA 99.
  - En el caso de que se hayan desconectado todos los equipos médicos y el MAL aún se encuentre alarmado, se debe checar y corregir los defectos que se presenten en todo el alambrado y contactos grado hospital de toda la sala de operaciones, incluyendo el tablero del sistema aislado.
  - Un procedimiento sugerido para encontrar la falla es abrir todos los circuitos derivados e ir cerrando uno por uno. Así se puede detectar cual es el circuito derivado que más corriente de fuga tiene. Pudiera ser que un equipo este fugando corriente de falla pero no la suficiente para ser peligrosa por sí misma y la suma total de la corriente de fuga de todo el sistema sea lo suficiente para activar la alarma. De ser posible revisar el equipo médico conectado en los circuitos derivados que más corriente de fuga tiene y proceder a repararlos.
6. Aunque el MAL, el transformador de aislamiento y el panel de los circuitos derivados estén aprobados por un laboratorio de pruebas, alguno de ellos puede fallar por lo que será necesario sustituir el elemento dañado por partes originales y probar toda la instalación eléctrica nuevamente.

Es de mucha importancia que exista una constante comunicación entre el cuerpo de médicos, enfermería y el personal de ingeniería biomédica, ya que el buen funcionamiento de todo el sistema depende de que el personal médico, enfermeras e ingenieros biomédicos que laboran dentro del quirófano, estén capacitados en el funcionamiento, operación, mantenimiento y pruebas del tablero de aislamiento y

que a su vez estén capacitados sobre qué hacer o forma de proceder en caso de una eventualidad.

### **Capítulo 3. Situación actual de los quirófanos en el sector público y privado**

La NFPA y la IEEE STD 602 White Book han realizado estudios y especifican que con 10  $\mu\text{A}$  y 5 mV <sup>12</sup> un paciente puede morir electrocutado sujeto a un procedimiento médico invasivo.

Es de carácter obligatorio diseñar las instalaciones eléctricas (para las salas de operación o quirófanos) con: sistema eléctrico aislado, transformadores de aislamiento, circuitos derivados, monitor de aislamiento, conductores especiales, conectores para puesta a tierra y contactos grado hospital y a su vez deben cumplir con los niveles de corriente de fuga establecidos por la NFPA y NOM. Todo esto para evitar riesgos a la salud del paciente.

Es importante mencionar que la NOM-001-SEDE-2012 517 – 19 (e) “Técnicas de protección adicional en áreas de atención crítica (opcional)” determina:

“Los sistemas de energía aislados, se deben instalar en áreas de atención crítica de acuerdo a 517-11, estas áreas son: Salas de operaciones, terapias intensivas, así como en áreas donde se practiquen rutinariamente cualesquier procedimiento invasivo en el que se pudiera involucrar el cuerpo y el corazón del paciente y en el que con el uso de un sistema de energía puesto a tierra o aterrizado, pudiera el paciente morir electrocutado. El sistema de energía aislado debe ser aprobado en conjunto con todas sus partes componentes ensambladas y contenidas dentro de su gabinete o envolvente metálica, para este propósito, el sistema debe ser seleccionado, diseñado, instalado, operado, conservado y probado cumpliendo con lo indicado en 517-160.” <sup>13</sup>

Esto quiere decir que en una sala de operación o área de atención crítica se deben instalar los tableros de aislamiento.

---

<sup>12</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 11

<sup>13</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 19 (e)

La instalación de los tableros del sistema eléctrico aislado, deben de cumplir como lo establece la NOM:

“Ubicación de los sistemas eléctricos aislados. Cuando se utilice un sistema eléctrico aislado debe estar aprobado como tal. Se debe instalar un sistema eléctrico aislado y su circuito alimentador dentro del local de aplicación de anestesia, siempre que se localice por encima del área peligrosa (clasificada) o dentro del área distinta al área peligrosa (clasificada).”<sup>14</sup>

### **3.1 Áreas de atención crítica en los hospitales**

Son varias las áreas comprendidas dentro de un hospital, dentro de las cuales se encuentra el quirófano o sala de operación. La NOM las define como:

“Son los espacios de atención especial tales como: Terapia Intensiva (adulto, pediátrica y neonatal), Terapia Intermedia, Salas de Operaciones, Área de Recuperación, Cirugía de Corta Estancia, Urgencias, Tococirugía, Unidades de Cuidados Coronarios, Hemodiálisis y Diálisis Peritoneal, Área de Quemados, Salas de Angiografía, Salas de Tomografía Computarizada, Salas de Resonancia Magnética, Gabinete de Radioterapia, y/o áreas similares en las cuales los usuarios (pacientes) estén sujetos a procedimientos invasivos y conectados a equipos médicos de alta tecnología que estén energizados mediante contactos grado hospital. Para el caso de Laboratorios Clínicos, Laboratorios de Citología y/o áreas donde se almacenan reactivos, medicamentos, vacunas, sangre y hemoderivados serán también consideradas áreas de atención crítica.”<sup>15</sup>

Es importante definir la vecindad del paciente que es el área comprendida en la cercanía del paciente en intervención. La NOM la define como:

---

<sup>14</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 63 (e)

<sup>15</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 2

“Es el espacio dentro del cual el paciente puede estar en contacto con las superficies expuestas o algún asistente que pueda tocarlo. Típicamente la vecindad de un paciente comprende un espacio de al menos de 1.80 metros alrededor del perímetro de la cama o mesa de procedimientos o mesa quirúrgica hasta donde se encuentre una pared, mampara o cortina de separación. Extendiéndose además verticalmente, a no menos de 2.30 metros sobre el nivel del piso.”<sup>16</sup>

En la figura 3.1 se muestra gráficamente la vecindad del paciente.

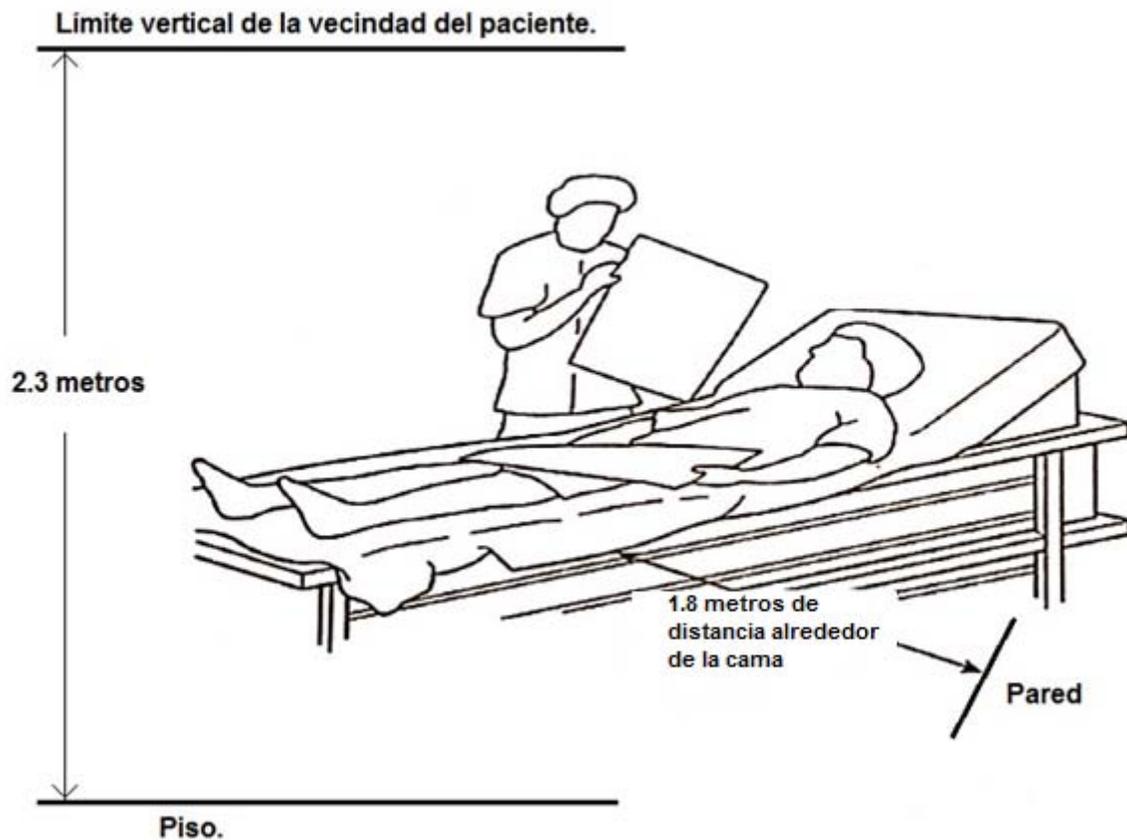


FIGURA 3.1 Vecindad del paciente.

<sup>16</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 - 3

### 3.1.1 Sala de operación o quirófano

Lugar en donde se realizan las intervenciones quirúrgicas y presentan las siguientes características:

- Control ambiental para disminuir la contaminación aérea
- Servicios para el equipamiento quirúrgico y anestésico
- Mesa de operaciones que permita el posicionamiento adecuado del paciente
- Iluminación artificial adecuada a los requerimientos quirúrgicos
- Medidas de seguridad para el enfermo y el personal sanitario.

Además, debe tener zonas adyacentes de preparación para la anestesia y el instrumental, así como servicios de esterilización y lavado quirúrgico.

El equipo médico empleado en un quirófano lo especifica la NOM-0016-SSA3-2012 en el apéndice H. Dicho listado especifica lo siguiente:

Equipo médico:

- Aspirador de succión regulable
- Equipo para anestesia
- Estetoscopio
- Esfigmomanómetro
- Lámpara para emergencias portátil
- Lámpara doble para cirugía
- Monitor de signos vitales: ECG, presión arterial por método no invasivo, temperatura y oxímetro
- Negatoscopio
- Reloj para sala de operaciones con segundero
- Unidad electro quirúrgica

El mobiliario empleado en un quirófano también lo especifica la NOM-0016-SSA3-2012 en el apéndice H. El listado de mobiliario con que debe contar la unidad quirúrgica, se especifica.

Mobiliario:

- Asiento
- Asiento giratorio con respaldo
- Banqueta de altura
- Bote para basura tipo municipal (bolsa de cualquier color, excepto rojo o amarillo)
- Bote para RPBI (bolsa roja)
- Brazo giratorio
- Cubeta de acero inoxidable de 12 litros
- Mesa carro anestesiólogo
- Mesa Mayo con charola
- Mesa quirúrgica
- Mesa riñón
- Mesa transportadora de material
- Porta cubeta rodable
- Porta lebrillo doble
- Riel portavenoclisis

La unidad quirúrgica es un área de circulación restringida, que a su vez, se integra de áreas con diferentes características y grados de restricción en la circulación, que requieren estar claramente delimitadas para que se mantengan las condiciones de asepsia y ambiente estéril que demandan cada una de ellas en particular. Debe contar con acceso controlado, tanto para el personal del área de la salud, como para pacientes.

La unidad quirúrgica requiere como mínimo de: un área de transferencia, vestidores para el personal del área de la salud masculino y femenino, pasillo de circulación

blanca, sala de operaciones (quirófanos), área gris y locales para guardar la ropa y equipos.

### 3.1.2 Corrientes tolerables por el cuerpo humano

Los efectos fisiológicos más comunes de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano en una persona que no está siendo intervenido quirúrgicamente, son determinados por el incremento de la corriente eléctrica. Los efectos se dividen en: umbral de la percepción, contracción muscular, pérdida del conocimiento, fibrilación del corazón, obstrucción respiratoria y quemaduras [4].

Dependiendo de la magnitud de corriente eléctrica el cuerpo experimenta diferentes efectos:

- Una corriente de 1  $mA$  sobre el cuerpo es conocida como umbral de percepción. Es la magnitud de corriente con la cual una persona es capaz de detectar una ligera sensación de hormigueo en las manos o en la punta de los dedos causada por la corriente que circula por el cuerpo humano en ese instante.
- Una corriente de 1 a 6  $mA$  se cataloga como corriente de liberación. Los efectos son desagradables de soportar pero no afectan la capacidad de una persona de controlar sus músculos para liberar un objeto energizado que se esté sosteniendo.
- Una corriente entre 9 y 25  $mA$  provoca en el cuerpo una sensación que tiende a ser dolorosa y dificulta o es casi imposible liberar objetos energizados sujetados con la mano. Debido a las corrientes elevadas, las contracciones musculares pueden dificultar la respiración. El efecto no es permanente y desaparece cuando se interrumpe el flujo de corriente eléctrica. En caso de que la corriente sea constante por algunos minutos, es necesario aplicar la resucitación artificial (primeros auxilios).

- Para corrientes que comprenden de 60 a 100 *mA* se presenta la fibrilación ventricular, el paro respiratorio o paro cardiaco. Este flujo de corriente ocasiona algún daño irremediable en el cuerpo humano e incluso la muerte.

Durante una cirugía el paciente por estar conectado al equipo médico, tiene una reducción importante de la resistencia eléctrica del cuerpo porque la piel del ser humano sirve como un dieléctrico natural. Al abrir el cuerpo la sangre es conductora de la corriente eléctrica y con tan solo 10  $\mu$ A y 5 mV un paciente puede morir electrocutado <sup>17</sup>. Por consiguiente, la corriente que afecta y puede provocar un paro cardiaco disminuye notoriamente. La NOM establece:

“Se presenta un problema especial en el paciente con una trayectoria conductiva directa desde el exterior hasta el músculo del corazón, en estas condiciones el paciente puede resultar electrocutado con diferencias de potencial de 5 milivolts y niveles de corriente tan bajos de 10 micro amperes, por lo que se requiere protección adicional en las instalaciones eléctricas con la utilización de los sistemas eléctricos aislados instalados en las áreas de atención críticas con procedimientos invasivos aplicados a los pacientes, esta protección adicional requiere incrementarse con la utilización de conductores, equipos y dispositivos eléctricos con bajas corrientes de fuga entre otras características de fabricación, los que deberán de instalarse de acuerdo a los métodos de alambrado seguros y con las conexiones y conductores para puesta a tierra redundante.”<sup>18</sup>

Tanto la NFPA 99, IEEE STD 602 WHITE BOOK y la NOM-001-SEDE-2012 establecen los valores de corriente y voltaje peligroso para un paciente en una intervención quirúrgica, con tan solo 5 *mV* y 10  *$\mu$ A* pueden inducir a una fibrilación ventricular. Se observa que los niveles de electrocución en el cuerpo humano bajan considerablemente con respecto a un ser humano que se no se encuentre en un procedimiento invasivo.

---

<sup>17</sup> NOM-001-SEDE-2012 517-11

<sup>18</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 11 NOTA

### 3.1.3 Contactos para puesta a tierra

Un sistema de tierras equipotencial consiste en un grupo de conductores que ponen a tierra todas las superficies conductoras en la vecindad del paciente.

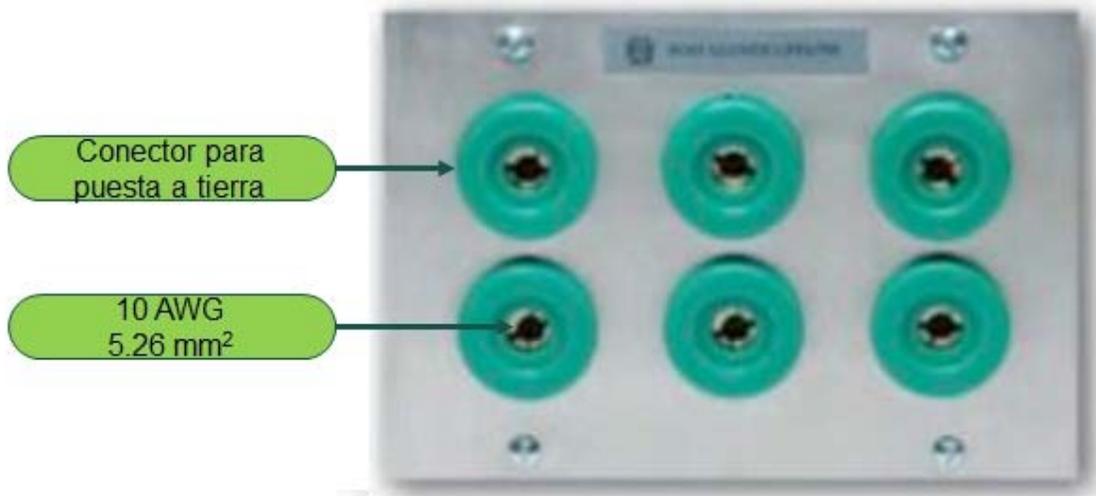


FIGURA 3.2 Módulo de conectores para puesta a tierra.

Poner a tierra todo el quirófano tiene por objetivo asegurar que toda superficie conductora expuesta tenga el mismo potencial y de que exista tierra redundante en el sistema. Para ello se instalan módulos de conectores para puesta a tierra redundante (véase figura 3.2).

Con respecto a esto la NOM señala:

“Dentro de la vecindad del paciente se debe instalar un punto de puesta a tierra dotado de conectores aprobados para puesta a tierra redundante de los equipos y dispositivos médicos, adicionalmente debe instalarse un puente de unión de tamaño nominal no menor de  $5.26 \text{ mm}^2$  (10 AWG), para conectar la terminal de puesta a tierra de todos los contactos con terminal de puesta a tierra, con ese punto de referencia a tierra en la vecindad del paciente. El

conductor para puesta a tierra mencionado, puede ser instalado en forma radial o en anillo, según convenga.”<sup>19</sup>

El propósito es minimizar la diferencia de potencial entre cualquier superficie conductora a menos de 5 mV (en caso de ocurrir una falla) y crear un sistema de tierra redundante. Por consiguiente, todo equipo médico y superficie conductora dentro del quirófano o sala de operación deberá ser puesto a tierra utilizando cables de tierra con aislamiento de color verde (figura 3.3).

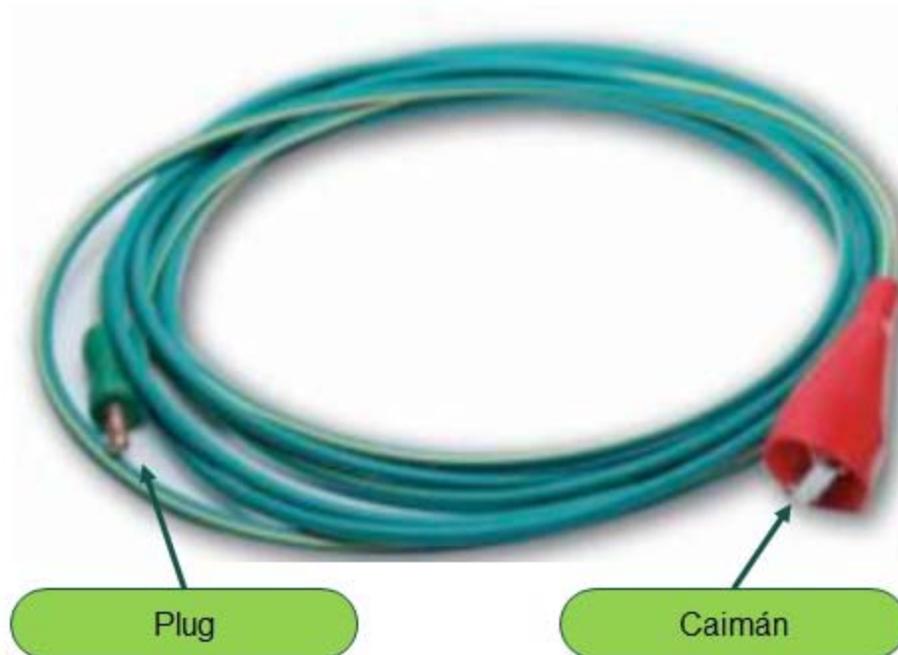


FIGURA 3.3 Cable de puesta a tierra

### 3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una actividad muy importante en todo tipo de instalación, ya que con ésta actividad se logrará la confiabilidad operativa de los equipos y sobre todo la seguridad de las personas. En este proceso se realiza la revisión de equipo médico e instalaciones eléctricas por parte de personal

<sup>19</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 19 (c)

especializado, buscando evitar anomalías e incidencias que puedan provocar un comportamiento imprevisto en los equipos médicos y en la instalación eléctrica.

Objetivos del mantenimiento:

1. Evitar, reducir y reparar fallas sobre los bienes.
2. Disminuir la gravedad de las fallas que no se logren evitar.
3. Evitar accidentes.
4. Evitar incidentes y aumentar la seguridad de las personas.
5. Conservar los bienes productivos en condiciones seguras.
6. Prolongar la vida útil de los bienes.
7. Seguridad para las personas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2012 establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada que es de carácter obligatorio para los establecimientos hospitalarios de los sectores público, social y privado que tengan como finalidad la atención de pacientes que se internen para su diagnóstico, tratamiento médico, quirúrgico o rehabilitación; así como para los consultorios de atención médica especializada de los sectores mencionados.

Dicha norma establece los lineamientos para el mantenimiento en el inmueble:

“Contar con acabados que no acumulen polvo, que sean de fácil limpieza y mantenimiento en los pisos, muros y plafones en las áreas de atención médica; además de que la superficie de los pisos deberá ser antiderrapante y en las áreas húmedas, las superficies serán de materiales repelentes al agua.”<sup>20</sup>

Mantenimiento preventivo y correctivo en equipamiento mecánico y electromecánico.

“Llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura física, instalaciones, equipamiento mecánico y electromecánico del

---

<sup>20</sup> NOM-016-SSA3-2012 5.1.7

establecimiento, de acuerdo con los estándares recomendados por el fabricante, su vida útil y las necesidades de la unidad operativa, asimismo, registrarlo en las bitácoras de control. El personal que opera los equipos, debe comprobar documentalmente haber recibido capacitación en el uso, conservación y mantenimiento de los equipos que opera, según corresponda."<sup>21</sup>

Mantenimiento preventivo y correctivo en equipo médico.

“El mantenimiento preventivo y correctivo del equipo médico, electromédico y de alta precisión, deberá llevarse a cabo de acuerdo con los estándares recomendados por el fabricante, su vida útil y las necesidades de la unidad hospitalaria, dichas acciones, deberán ser registradas en las bitácoras correspondientes.”<sup>22</sup>

Con respecto al mantenimiento, lo anterior mencionado es lo que se encuentra en dicha norma emitida por la Secretaría de Salud en el DIARIO OFICIAL el martes 8 de enero de 2013.

### **3.3 Muertes por microdescargas dentro de un quirófano**

Información en la literatura médica de Estados Unidos de América declara que 1200 incidentes por año se debieron a electrocuciones por microshock. Posteriormente, estas estadísticas se repitieron y se incrementaron hasta 5000 incidentes por año en los hospitales nacionales de Estados Unidos de América. Estas demandas fueron la fuerza principal para que el Comité de la NFPA 99 implementara los requisitos para los quirófanos, teniendo en cuenta principal salvaguardar la vida contra microdescargas [8].

En México no hay ninguna prueba de que el paciente haya muerto por una micro descarga ya que no se daña el tejido y la autopsia no revela evidencia de la micro

---

<sup>21</sup> NOM-016-SSA3-2012 5.1.13

<sup>22</sup> NOM-016-SSA3-2012 5.1.13.1

descarga. La falta de datos estadísticos en México no indica que el riesgo de muerte por una microdescarga dentro de un quirófano o sala de operación pueda suceder.

## CAPÍTULO 4. PRUEBAS A QUIRÓFANOS Y EQUIPO MÉDICO

Pruebas a efectuar dentro de un quirófano de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012 y NFPA 99 Health Care Facilities edición 2005 para salvaguardar la integridad física tanto de paciente como del personal que se encuentra laborando dentro de él. Todas las pruebas realizadas se deben hacer con equipos de alta precisión debidamente calibrados en laboratorios certificados.

### 4.1 Tablero de aislamiento e instalación eléctrica

**Prueba 1.** La impedancia capacitiva y resistiva a tierra de cualquier conductor de un sistema aislado debe de exceder de 200 k $\Omega$ .

Para esto la NFPA señala (traducción):

La impedancia (capacitiva y resistiva) a tierra de cualquiera de los conductores de un sistema aislado debe de exceder 200,000  $\Omega$  cuando se instala. La instalación en este punto debe incluir los contactos grado hospital, pero no está obligado a incluir los accesorios de iluminación o componentes de los aparatos. Este valor será determinado energizando el sistema y conectando un miliamperímetro de AC de baja impedancia (0 mA a 1 mA) entre el punto de referencia de conexión a tierra y cualquiera de los conductores en secuencia. Se permitirá realizar esta prueba con el monitor de aislamiento de línea (véase 4.3.2.6.3) conectado, previendo que la conexión entre el monitor de aislamiento de línea y el punto de referencia de puesta a tierra este abierta en el momento de la prueba. Una vez realizada la prueba, se retirará el miliamperímetro y se restablecerá la conexión a tierra del monitor de aislamiento de línea. Cuando la instalación esté completa, incluyendo los equipos que estarán conectados de forma permanente, la lectura en el monitor de aislamiento de línea corresponderá a la condición de línea sin carga. Esta lectura del medidor será registrada como una referencia

para posteriores evaluaciones de línea de impedancia. Esta prueba se llevará a cabo sin conductores de fase a tierra.<sup>23</sup>

La NOM señala:

“Características eléctricas del sistema eléctrico aislado. Se debe limitar el tamaño del transformador de aislamiento a 10 kilovoltamperes o menos y se deben utilizar conductores con aislamiento de baja corriente eléctrica de fuga, para que una vez instalados y conectados todos los circuitos, la impedancia resistiva y capacitiva total sea mayor a 200 000 ohms.”<sup>24</sup>

Para esta prueba, la NFPA nos sugiere un circuito que se muestra en la figura 4.1:

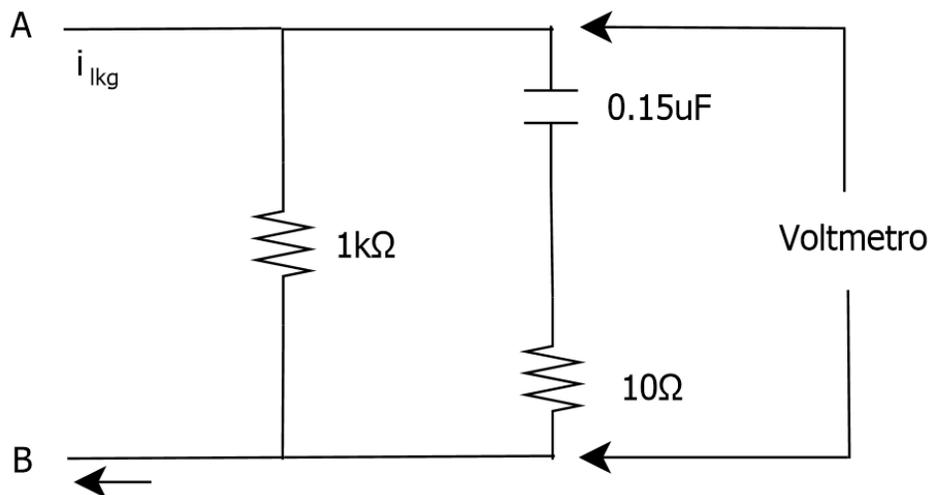


FIGURA 4.1 Circuito utilizado para medir la corriente de fuga<sup>25</sup>.

En la figura 4.1 se observa una corriente  $i_{lkg}$  que es correspondiente a la corriente de fuga a medir de un conductor o un conjunto de conductores. Se tiene que utilizar un voltmetro en la escala de mV en corriente alterna, tomando en cuenta que por cada  $mV$  registrado en el voltmetro es un  $1 \mu A$  de corriente de fuga<sup>26</sup>.

<sup>23</sup> NFPA 99 2005 ART. 4.3.2.6.2.1

<sup>24</sup> NOM-001-SEDE-2012 517 – 160 (a) (7)

<sup>25</sup> NFPA 99 2005 FIG A.4.3.1.3(a)

<sup>26</sup> NFPA 99 2005 FIG A.4.3.3.1.3

Esta prueba se realiza desde el tablero de aislamiento, ya que desde ahí se distribuyen tanto las tierras físicas y las fases de los módulos de contactos.

Procedimiento a seguir para esta prueba:

1. Desconectar totalmente el Monitor de Aislamiento de Línea, ya que por ende tiene una corriente de fuga que afectará a la medición.
2. Abrir todos los circuitos derivados que se encuentran en tablero de aislamiento y mantener cerrado el circuito general que alimenta al transformador de aislamiento.
3. Para medir la corriente de fuga de cada circuito derivado, tanto para la línea 1 y la línea 2 (L1 y L2), se debe usar el circuito de la figura 4.1. En el punto A y B se conecta L1 y tierra respectivamente, se cierra el circuito derivado 1 y se toma la lectura en el voltmetro, se abre el circuito derivado. Posteriormente se procede a realizar el mismo procedimiento pero ahora con L2. Así sucesivamente con cada uno de los circuitos derivados que contenga el tablero de aislamiento.
4. Para medir FHC “Fault Hazard Current” (Corriente Peligrosa de Falla), la cual es la corriente total de fuga sin considerar los equipos médicos que se encuentran conectados de forma permanente. En caso de que la lámpara quirúrgica se encuentre conectada de forma permanente a un circuito derivado del tablero de aislamiento, se debe desconectar solamente la lámpara pero para un quirófano en funcionamiento es difícil realizar ese procedimiento, por lo tanto, se puede mantener ese circuito derivado abierto mientras que los demás circuitos derivados que corresponde a contactos grado hospital y a módulos de contactos deben permanecer cerrados. Con ayuda del circuito de la figura 4.1 se realiza el paso 3.

Con el procedimiento 4 anteriormente descrito obtenemos la corriente  $i_{FHC}$  tanto para L1 y L2 (neutro). Con ayuda de la ley de Ohm:

$$v_{L1-L2} = R_T i_{FHC} [V]$$

Despejamos  $R_T$ :

$$R_{TLx} = \frac{v_{L1-L2}}{i_{FHC}} [\Omega]$$

Donde:

$R_{TLx}$  = Resistencia total para L1 y L2 respectivamente.

$v_{L1-L2}$  = Voltaje medido a la salida del transformador de aislamiento.

$i_{FCH}$  = Corriente de falla peligrosa obtenida en el paso 4.

**Prueba 2.** El Monitor de Aislamiento de Línea (MAL) no debe presentar alarmar para una Corriente Peligrosa de Falla (FHC) menor o igual a 3.7 mA o cuando el sistema está aislado de tierra. Cuando ambas condiciones ocurren al mismo tiempo el MAL (Monitor de Aislamiento de Línea) debe estar operando con una lámpara verde constante y alarmarse con una corriente peligrosa de falla comprendida entre 3.7 mA y 5 mA o que el sistema no se encuentre aislado a tierra y sea que ocurra uno de los dos casos o ambos al mismo tiempo, una lámpara roja constante junto con la alarma audible deben de estar encendidas.

Para esto la NFPA señala (traducción):

El monitor será diseñado de tal manera que una lámpara de luz verde, sea visible en el área donde el monitor de aislamiento de línea es utilizado, permaneciendo iluminado cuando el sistema está adecuadamente aislado de la tierra; y junto una lámpara de luz roja y una señal acústica de precaución (remota si se desea) se activa cuando la corriente peligrosa total (que consta de posibles corrientes de fuga resistiva y capacitiva), desde cualquier conductor aislado con respecto a tierra alcanza un valor comprendido entre 3.7mA y 5mA. El monitor de aislamiento de línea no se debe alarmar para una corriente de falla peligrosa de menos de 3.7 mA.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> NFPA 99 2005 ART. 4.3.2.6.3.2

Para esta prueba se simula una corriente de fuga con una resistencia de precisión conectada entre L1 y L2 a tierra.

Procedimiento a seguir en esta prueba:

1. El Monitor de Aislamiento de Línea debe estar conectado.
2. Investigar mediante el fabricante y el modelo, para que corriente de fuga se presenta la alarma en el MAL (Monitor de Aislamiento de Línea). Tomando en cuenta que el umbral correcto de alarma está comprendido entre 3.7 mA y 5 mA.
3. Con la resistencia de precisión, simular una corriente de fuga a tierra de 3.7 mA entre L1 y tierra del sistema aislado. Hacer un muestreo desde 3.7 mA a 0 mA. Bajo esas condiciones verificar que el MAL se encuentre con la lámpara verde encendida y sin la alarma audible. Repetir el mismo procedimiento con L2 (neutro).
4. Corroborar que tanto la lámpara roja y la alarma audible se activan cuando se supera el valor de corriente de fuga que el fabricante nos indica (valor investigado en el paso 2).
5. Conectar L1 a tierra con un cable conductor para simular que el sistema no se encuentra aislado de tierra. Hacer el mismo procedimiento para L2. En ambos casos la lámpara roja y la alarma audible deben encenderse.

**Prueba 3.** El circuito del monitor de aislamiento de línea debe ser probado antes y después de su instalación, para esto cada línea (tanto L1 y L2) energizada del sistema eléctrico aislado debe conectarse a tierra a través de una resistencia con valor de  $200\Omega$  por cada Volt medido en el secundario del transformador de aislamiento. La alarma audible y visible se deben activar.

Para esto la NFPA señala (traducción):

El monitor de aislamiento de línea (LIM) de circuito se probará tras su instalación y antes de ser puesto en servicio, poniendo a tierra sucesivamente

cada línea del sistema de distribución de energía a través de una resistencia de  $200 \times V$  ohmios, donde  $V$  es igual al voltaje medido de línea. Las alarmas visuales y audibles se activarán.<sup>28</sup>

Para esta prueba se necesita un voltmetro o multímetro y un potenciómetro de 50 k $\Omega$ .

Procedimiento a seguir en esta prueba:

1. Con el multímetro medir el voltaje entre L1 y L2 (secundario del transformador de aislamiento).
2. Con la ecuación 4.1 obtener la resistencia a utilizar para dicha prueba.
3. Igualamos el valor de resistencia obtenida en el paso anterior en el potenciómetro.
4. El potenciómetro se conecta entre L1 y la barra de tierra aislada. Se tienen que activar la alarma audible y visible. Se repite el mismo procedimiento para L2.

$$R = 200 V_{L1-L2} [\Omega]$$

Ecuación 4.1

Esta prueba se puede realizar en uno de los contactos grado hospital o directamente en el tablero de aislamiento.

---

<sup>28</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.3.2.1

## 4.2 Equipo médico

**Prueba 4.** El voltaje medido bajo no condiciones de falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no exceda de 20 mV.

Para esto la NFPA señala (traducción):

Mediciones de tensión. Las mediciones de voltaje se harán en condiciones de no falla entre un punto de referencia y las superficies conductoras expuestas de un equipo eléctrico fijo en la vecindad del paciente. Las mediciones de voltaje se harán con una precisión de  $\pm 20$  por ciento. Las mediciones de tensión para las placas frontales de dispositivos de cableado no serán requeridas.<sup>29</sup>

Límite de tensión será de 20 mV.<sup>30</sup>

Esta prueba es aplicable a todos los equipos médicos que se encuentren en la vecindad del paciente descritas en el capítulo 3.1.1 “Sala de operación o quirófano” bajo la NOM-0016-SSA3-2012.

Para esta prueba se recomienda un voltímetro o multímetro que sea de alta precisión con una resolución de 1 mV.

Procedimientos a seguir en esta prueba:

1. Una punta del multímetro se fija directamente en la barra de tierra que se localiza en el tablero de aislamiento.
2. La otra punta del multímetro se colocará en la parte conductiva (chasis) del equipo médico que este dentro de la vecindad del paciente.
3. El paso 2 se realizará por cada equipo médico que se encuentre en la vecindad del paciente.

---

<sup>29</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.1.2

<sup>30</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.1.6.1

**Prueba 5.** La corriente de fuga de los equipos eléctricos conectados de forma permanente dentro de la vecindad del paciente no exceda los 5 mA probados antes y después de su instalación.

Para esto la NFPA señala (traducción):

Los aparatos permanentemente conectados en la vecindad del paciente se someterán a pruebas antes de su instalación.<sup>31</sup>

La corriente de fuga desde la estructura de tierra de los equipos conectados permanentemente, instalados en áreas generales o áreas de atención críticas no debe de exceder 5 mA.<sup>32</sup>

Prácticamente esta prueba aplica para la lámpara quirúrgica que se encuentra conectada de forma permanente en un circuito derivado del tablero de aislamiento. Difícilmente esta prueba se realiza antes de la instalación de un equipo permanente (señala NFPA que se pruebe antes) pero después de su instalación se puede realizar.

Para realizar esta prueba se puede ocupar el circuito de la figura 4.1 anteriormente usado junto con un multímetro de precisión o con el Monitor de Aislamiento de Línea que se encuentra en el tablero de aislamiento.

Procedimientos a seguir en esta prueba con el circuito de la figura 4.1:

1. Abrir todos los circuitos derivados que se encuentran en tablero de aislamiento.
2. Cerrar el circuito derivado correspondiente a la lámpara quirúrgica y el circuito general que alimenta al transformador de aislamiento.
3. Para medir la corriente de fuga de la lámpara quirúrgica tanto para L1 y L2. Con el circuito de la figura 4.1, en el punto A y B se conectan a L1 y a tierra respectivamente, se toma la lectura en mV con el multímetro de precisión en

---

<sup>31</sup> NFPA 99 2005 8.4.1.3.4.1

<sup>32</sup> NFPA 99 2005 8.4.1.3.4.2

las terminales como se muestra en la figura 4.1. Se repite el mismo procedimiento pero ahora conectando L2 y desconectando L1.

Se debe de tomar en cuenta que por cada mV registrado en el multímetro de precisión es un 1  $\mu A$  de corriente de fuga.

Procedimiento a seguir en esta prueba con ayuda del Monitor de Aislamiento de Línea:

1. Abrir todos los circuitos derivados que se encuentran en tablero de aislamiento, exclusivamente tener el circuito derivado correspondiente a la lámpara quirúrgica cerrado y el circuito general que alimenta al transformador de aislamiento mantenerlo cerrado.
2. En la carátula del Monitor de Aislamiento de Línea aparece la corriente de fuga de la lámpara quirúrgica.

En este caso la corriente de fuga de la lámpara que aparece en el MAL está considerando la corriente de fuga propia del conductor y la corriente de fuga del MAL.

**Prueba 6.** Que la resistencia del conductor de puesta a tierra (contenido en el cable de alimentación) de los equipos médicos, medida entre la terminal de tierra de la clavija y el borne de punto de tierra del equipo (o chasis metálico en caso de que no contenga borne) no exceda  $0.15\Omega$  en equipo nuevo y  $0.50\Omega$  para equipo en uso.

Para esto la NFPA señala (traducción):

Resistencia. Para los aparatos que se utilizan en la vecindad del paciente la resistencia entre el chasis del equipo médico en uso, o cualquier superficie conductora expuesta del equipo, y el conector de tierra del enchufe de conexión deberá ser inferior a 0.50 ohmios.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> NFPA 99 2005 8.4.1.3.2

Resistencia. Para los aparatos que son usados en la vecindad del paciente, la resistencia entre el chasis del equipo médico nuevo o cualquier superficie conductora expuesta del equipo médico y el conector de tierra del enchufe de conexión deberá ser inferior a 0.15 ohmios.<sup>34</sup>

Para esta prueba se usa un óhmetro o un multímetro que mida la resistencia entre dos puntos con una precisión de  $\pm 1\%$  en un rango de  $0 - 1.99\Omega$ .

Esta prueba se aplica sólo a equipos médicos que usan tres hilos (tierra) en los cables de alimentación.

Procedimientos en esta prueba:

1. Una punta se conecta en la tierra de la clavija.
2. La otra punta se conecta en el borne de punto de tierra del equipo médico que se denota con el símbolo de la figura 4.2 y que comúnmente se encuentra en la parte posterior del equipo médico. En caso de que el equipo no cuente con ese borne de tierra se puede conectar la pinza al cualquier parte metálica del chasis.
3. Se repite el paso anterior para todos los equipos médicos.

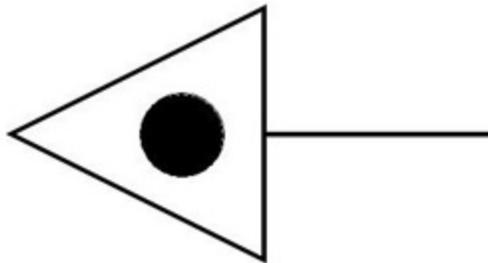


FIGURA 4.2 Símbolo de punto de tierra de un equipo.

---

<sup>34</sup> NFPA 99 2005 10.2.13.2

**Prueba 7.** Que la corriente de fuga de los equipos médicos conectados con cordón y clavija, que se usen en la vecindad del paciente no exceda los 300  $\mu$ A. Desde el chasis del equipo médico hasta la fuente de alimentación.

Para esto la NFPA señala (traducción):

Límites de Corriente de Fuga. La corriente de fuga de los aparatos conectados por cordones no excederá 300  $\mu$ A.<sup>35</sup>

Para la ejecución de dicha prueba, la NFPA señala:

Procedimiento de prueba de fuga de Chasis. Las mediciones se realizarán utilizando el circuito, como se ilustra en la Figura 8.4.1.3.5.5, con la tierra del aparato abierto en dos modos de funcionamiento como sigue:

(1) Enchufe de alimentación conectado normalmente con el aparato encendido.

(2) Enchufe de alimentación conectado normalmente con el aparato apagado (si está equipado con un interruptor de encendido / apagado).

(A) Si el aparato tiene conexión a tierra redundante (por ejemplo, permanentemente sujeto al sistema de puesta a tierra), la prueba de corriente de fuga del chasis se llevará a cabo con la puesta a tierra redundante.

(B) La prueba se hará con el switch A cerrado en la Figura 8.4.1.3.5.5.<sup>36</sup>

Esta prueba se aplica a todos los equipos médicos que se encuentran en la vecindad del paciente descritas en el capítulo 3.1.1 “Sala de operación o quirófano” de este trabajo. Y únicamente a los equipos médicos que usan tres hilos (tierra) en los cables de alimentación.

---

<sup>35</sup> NFPA 99 2005 8.4.1.3.5.1

<sup>36</sup> NFPA 99 2005 8.4.1.3.5.5

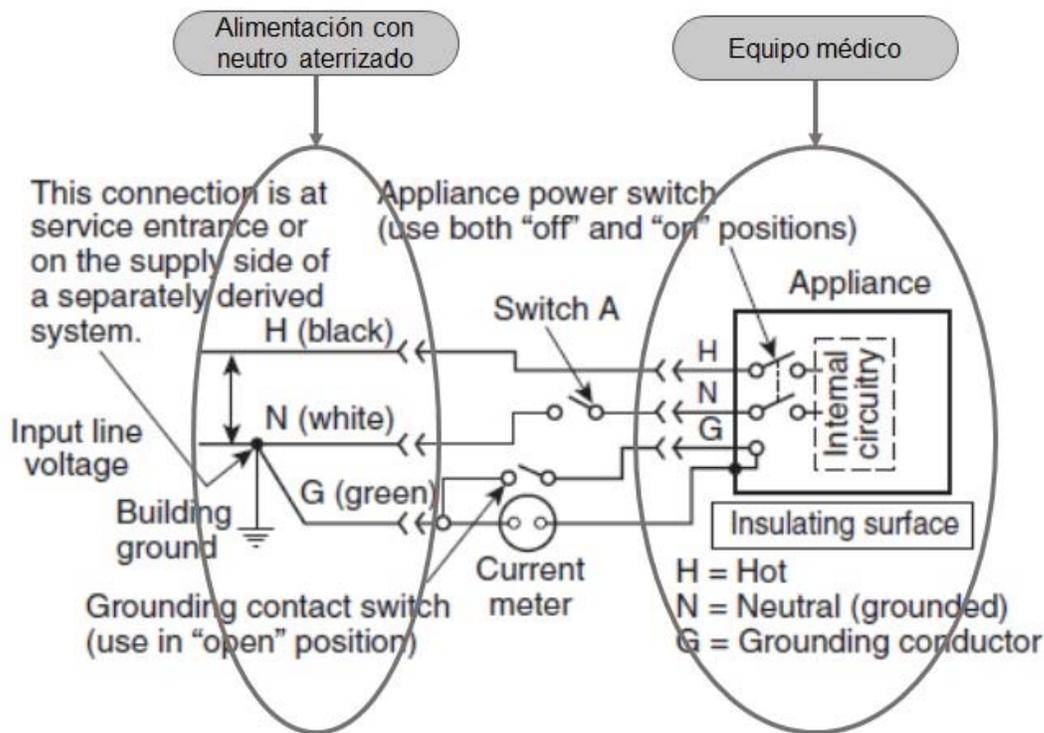


FIGURA 8.4.1.3.5.5 Circuito de prueba para medir corriente de fuga de chasis.<sup>37</sup>

Se desea obtener la corriente de fuga que circula por la tierra redundante (conductor verde para puesta a tierra redundante) desde el chasis del equipo hasta la fuente de suministro. Para esto la NFPA en el artículo 8.4.1.3.5.5 señala que dicha prueba debe realizarse con el equipo médico conectado a una alimentación con el neutro aterrizado, con el equipo médico encendido y apagado y polaridad normal e invertida.

Para esta prueba se usa un amperímetro o multímetro que mida la corriente eléctrica con una resolución de 1  $\mu$ A.

<sup>37</sup> NFPA 99 2005 Figure 8.4.1.3.5.5

Procedimientos en esta prueba:

1. Conectar el equipo médico a una fuente de alimentación con el neutro aterrizado.
2. Conectar el multímetro entre el chasis o punto de tierra (figura 4.2) y la barra de tierra física o tierra aislada en caso de que se utilice el tablero de aislamiento como fuente de alimentación (si se utiliza el tablero de aislamiento se debe de cortocircuitar neutro y tierra).
3. Realizar las mediciones de la corriente de fuga en todas las combinaciones existentes entre polaridad normal, polaridad invertida, L2 abierto (equipo "OFF") y L2 cerrado (equipo "ON").
4. Realizar los pasos 1, 2 y 3 por cada uno de los equipos médicos que se encuentran en la vecindad del paciente.

### 4.3 Piso conductor

**Prueba 8.** Que el piso conductor tenga una resistencia promedio comprendida entre 1, 000,000  $\Omega$  y 25,000  $\Omega$ .

Para esto la NFPA señala (traducción):

La resistencia del piso conductor será menor al promedio de 1,000,000 ohmios, medida de acuerdo con E.6.6.8.2.7.<sup>38</sup>

La resistencia del piso será mayor en promedio de 25,000 ohmios, medida de acuerdo con E.6.6.8.2.7.<sup>39</sup>

El artículo E.6.6.8.2.7 señala para la medición del piso conductor:

Se utilizará el siguiente método:

---

<sup>38</sup> NFPA 99 2005 E.6.6.8.2.3

<sup>39</sup> NFPA 99 2005 E.6.6.8.2.4

(1) El piso debe estar limpio y seco, y la habitación debe estar libre de mezclas de gases inflamables.

(2) Cada electrodo pesará 5 libras (2.268 kg) y tendrá un área de contacto seca, plana y circular de 2 ½ pulgadas (6,35 cm) de diámetro, que comprenderá una superficie de aluminio o de estaño, 0,0005 pulgadas (0,013 mm) a 0,001 pulgadas (0,025 mm) de espesor.

(3) La resistencia se medirá mediante un ohmetro adecuadamente calibrado que tendrá una tensión de salida en circuito abierto nominal de 500 V de corriente continua y una resistencia interna nominal no inferior a 100.000 ohmios, con la tolerancia definida de la siguiente manera:

(a) Corriente de cortocircuito de 2,5 mA a 5 mA.

(b) Para cualquier valor de la resistencia conectada,  $R_x$ , la tensión en bornes,  $V$ , será:

$$\frac{R_x}{R_x + \text{resistencia interna}} \times 500v \pm 15 \%$$

(4) Las mediciones se efectuarán entre cinco o más pares de puntos en cada habitación y se promedian los resultados. Para el cumplimiento de E.6.6.8.2.3 en este anexo, el promedio debe estar dentro de los límites especificados y ningún valor de medición individual deberá ser superior a 5 megaohmios, medida entre dos electrodos colocados 3 pies (91 cm.) de distancia en cualquier punto en el suelo. Para el cumplimiento de E.6.6.8.2.4, el valor promedio no será inferior a 25 000 ohmios con ninguno de los valores de medición individual inferior a 10.000 ohmios medido entre la conexión a tierra y un electrodo colocado en cualquier punto en el suelo, y también como medida entre dos electrodos colocados 3 pies (91 cm.) de separación en cualquier punto en el suelo. No hay límite superior de la resistencia para una medición entre una conexión a tierra y un electrodo colocado en el piso conductivo.

Tenga en cuenta que si la resistencia cambia apreciablemente durante el tiempo de una medición, el valor observado después de que la tensión se ha aplicado durante unos 5 segundos puede ser considerado como el valor medido.<sup>40</sup>

Para esta prueba se recomienda usar un medidor de aislamiento que cumpla con la norma NFPA 99 2005, anexo E.6.6.8.2.7.

Previo a la prueba se debe de recubrir los dos electrodos del megohmetro con una superficie de aluminio de gramaje comprendida entre 0.013 *mm* a 0.025 *mm*.

Procedimientos a seguir en esta prueba:

1. Verificar de que el suelo en donde se van a realizar la mediciones se encuentre limpio y seco.
2. Que los electrodos tengan una lámina de aluminio en la superficie inferior y que no se encuentre corrugada, de ser así, se recomienda que se sustituya.
3. Se realizarán 5 mediciones en la vecindad del paciente recordando que la distancia de los electrodos debe ser de 91 cm entre sí (como se muestra en la figura 4.3). Se recomiendan las siguientes zonas:
  - Cabecera de la cama
  - Lateral izquierda de la cama
  - Lateral derecha de la cama
  - Pies de la cama
  - Parte media de la cama
4. Se promedian las 5 mediciones.

---

<sup>40</sup> NFPA 99 2005 E.6.6.8.2.7

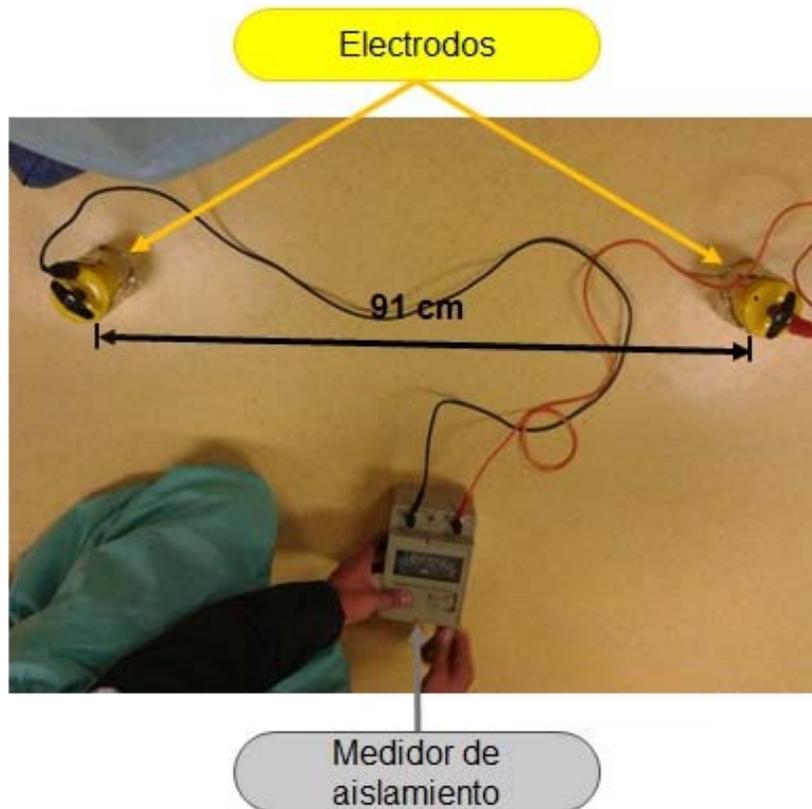


FIGURA 4.3 Electrodos y medidor de aislamiento.

#### 4.4 Contactos y equipos no aterrizados a tierra

**Prueba 9.** Los interruptores de falla a tierra GFCI y receptáculos con este tipo de protección opere a 6 mA.

Para esto la NFPA señala (traducción):

Cuando la interrupción de energía bajo la primera condición de falla (falla de línea a tierra) es tolerable, el uso de un interruptor de circuito de falla a tierra (GFCI) se permitirá como medio de protección que monitorea la corriente real de falla a tierra e interrumpe la alimentación cuando la corriente excede 6 mA.<sup>41</sup>

<sup>41</sup> NFPA 99 2005 4.3.2.2.8.5

La NOM señala:

“Un sistema eléctrico aislado puesto a tierra, en el cual se debe instalar un dispositivo para que desconecte los equipos médicos automáticamente en el caso de que la corriente de falla a tierra exceda un valor de 6 miliamperes.”<sup>42</sup>

No en todos los quirófanos o salas de operación se encuentran este tipo de interruptores de falla a tierra (GFCI) que en caso de que la corriente de fuga rebase los 6 mA la alimentación será interrumpida hacia los equipos médicos que se encuentren ahí conectados.

Procedimiento a seguir en esta prueba:

1. El interruptor o los interruptores deben estar previamente alimentados desde el circuito derivado correspondiente que se localiza en el tablero de aislamiento.
2. Se debe de simular una corriente de fuga con ayuda de una resistencia de precisión conectada entre L1 y tierra. Verificar que cuando para una corriente de fuga comprendida entre 0 mA y 6 mA el interruptor de falla a tierra (GFCI) mantenga la alimentación a los receptáculos. Repetir el mismo procedimiento para L2.
3. Simular una corriente de fuga igual y superior a los 6 mA y verificar que el interruptor de falla a tierra interrumpa la alimentación del contacto. Realizar el mismo procedimiento para L2.
4. Realizar los pasos 1, 2 y 3 para cada interruptor que se encuentre en el quirófano.

**Prueba 10.** El límite de impedancia entre la barra de tierra aislada del tablero y la tierra de los contactos y conectores para puesta a tierra redundante no deben exceder de 0.1  $\Omega$  y 0.2  $\Omega$  respectivamente.

---

<sup>42</sup> NOM-001-SEDE-2012 ART. 517 – 20 (a) (2)

Para esto la NFPA señala (traducción):

Mediciones de impedancia. La medición de la impedancia se realiza con una precisión de  $\pm 20$  por ciento. La medición de impedancia se realizará entre el punto de referencia y el contacto de tierra de todos los receptáculos en la vecindad del paciente.<sup>43</sup>

Límite de Impedancia será 0.2 ohms para sistemas de tierra redundante y 0.1 ohms para todos los demás.<sup>44</sup>

Esta prueba se aplica a toda terminal de tierra de todos los receptáculos que se encuentren en el quirófano o en la sala de operación.

Para esta prueba se puede usar un óhmetro o multímetro de alta precisión que contenga una función que reste la resistencia de sus propias puntas (en caso de que se utilicen diferentes puntas de las propias del multímetro), los conductores de prueba o puntas pueden agregar un error de 0.1  $\Omega$  a 0.2  $\Omega$  a las mediciones de la resistencia.

Procedimiento a seguir en esta prueba, con puntas propias del multímetro:

1. Una punta del multímetro se fija directamente en la barra de tierra que se localiza en el tablero de aislamiento. Ese será nuestro punto de referencia.
2. Se juntan las puntas del multímetro para verificar que la resistencia de las puntas (conductor) sea cero.
3. Se mide la resistencia de todos puntos de referencia de tierra de los contactos grado hospital, incluyendo los conectores para puesta a tierra redundante figura 4.4.

---

<sup>43</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.1.4

<sup>44</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.1.6.2

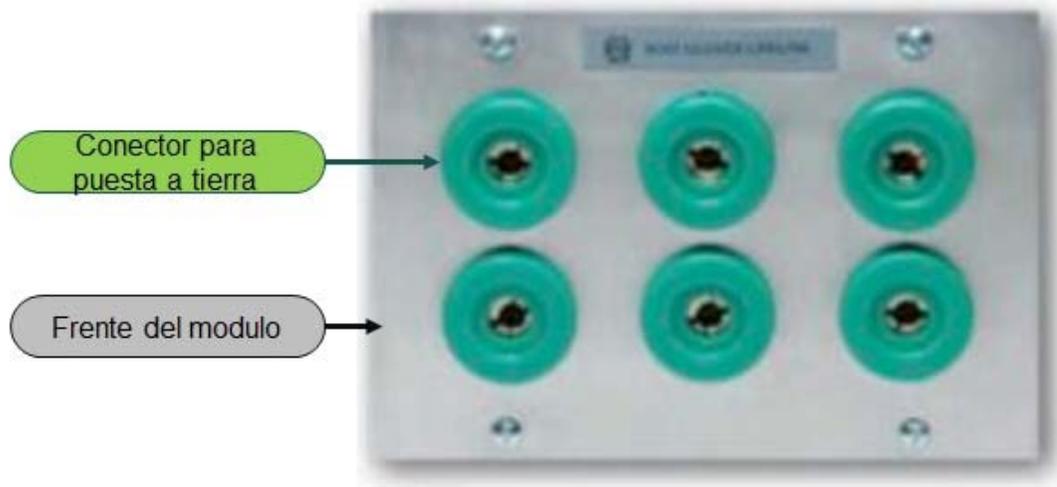


FIGURA 4.4 Conectores para puesta a tierra.

**Prueba 11.** Que se mantenga la misma polaridad en todos los contactos grado hospital y que la fuerza de retención en las cuchillas de fase, neutro y tierra debe ser de 115 gramos (4.0 OZ). Realizar una inspección física visual a los contactos. Continuidad eléctrica entre la tierra del contacto grado hospital y la barra de tierra del tablero de aislamiento.

Para esto la NFPA señala (traducción):

La integridad física de cada contacto será confirmada mediante inspección visual.<sup>45</sup>

Verificar la continuidad del circuito de puesta a tierra en cada contacto eléctrico.<sup>46</sup>

Confirmar la polaridad correcta de las conexiones de fase y neutro en cada contacto eléctrico.<sup>47</sup>

La fuerza de retención de la cuchilla de puesta a tierra de cada contacto eléctrico (excepto los contactos de tipo de bloqueo) no deberá ser inferior a 115 g (4 oz).<sup>48</sup>

<sup>45</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.2.1

<sup>46</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.2.2

<sup>47</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.2.3

<sup>48</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.2.4

Con ayuda de un probador de polaridad como el de la figura 4.5, un probador de fuerza de retención para contactos como se muestra en la figura 4.6 y un multímetro que mida la continuidad eléctrica, se realizará esta prueba.

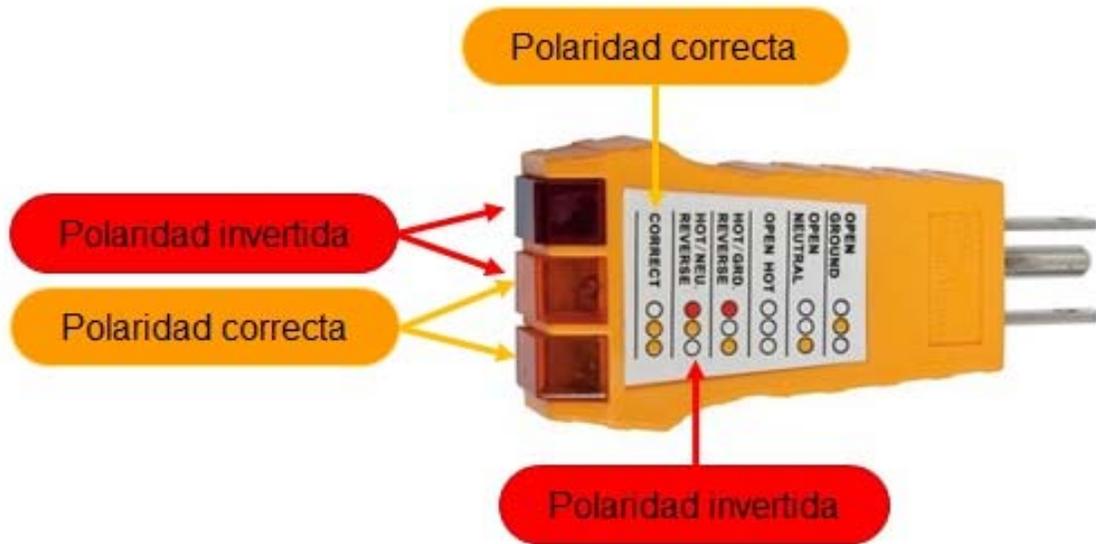


FIGURA 4.5 Probador de polaridad.

Procedimiento a seguir para la polaridad en contactos grado hospital:

1. Verificar que no se encuentre conectado ningún equipo eléctrico en los contactos.
2. En el tablero de aislamiento tener todos los circuitos derivados cerrados correspondientes a los contactos grado hospital.
3. Con un conductor, hacer un puente entre fase 2 (conductor café) y la barra de tierra aislada (en el tablero de aislamiento).
4. Con el probador de polaridad, verificar que todos los contactos grados hospital conectados en el tablero de aislamiento se encuentre con polaridad correcta como se muestra en la figura 4.7.
5. Retirar el puente.



FIGURA 4.6 Medición de la fuerza de retención en la fase, neutro y tierra.

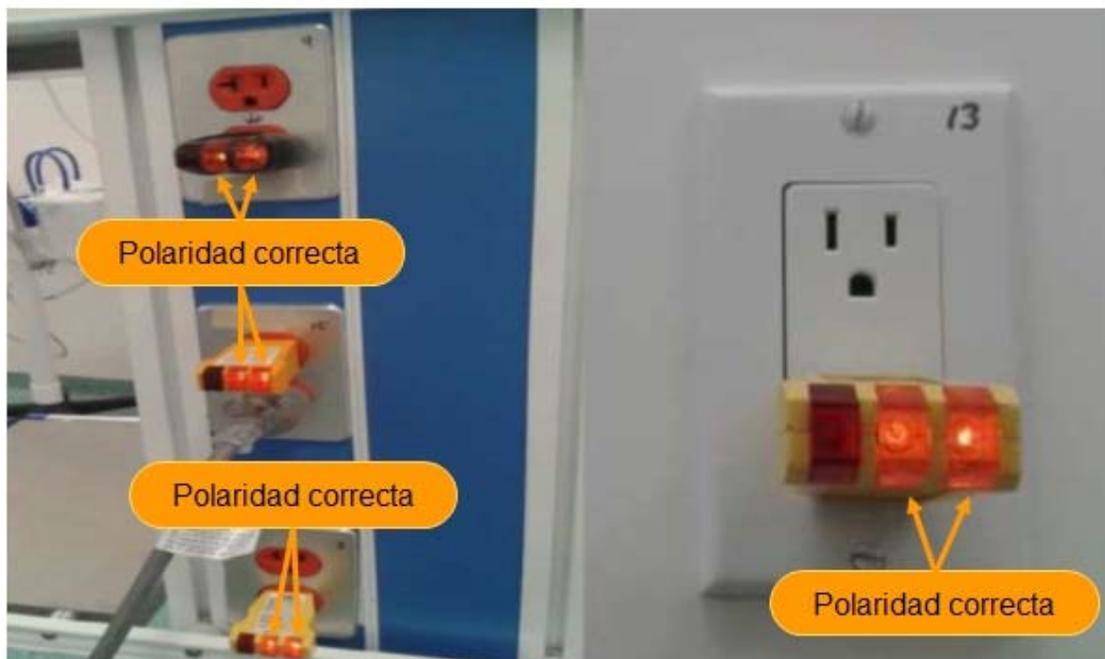


FIGURA 4.7 Polaridad correcta.

Procedimiento a seguir para la fuerza de retención de la fase, neutro y tierra:

1. Abrir todos los circuitos derivados correspondientes a los contactos grado hospital y a los módulos de contactos en el tablero de aislamiento, para evitar algún accidente al momento de realizar la prueba.
2. Introducir totalmente las espadas de fase y neutro en el contacto.
3. Retirar suavemente y de forma perpendicular al contacto el probador de fuerza de retención (figura 4.6). Realizar esta prueba en todos los contactos del quirófano.
4. Realizar los pasos 2 y 3 pero ahora con la espada de tierra.
5. Cerrar todos los circuitos derivados.

Procedimiento a seguir con la continuidad eléctrica entre el receptáculo de tierra del contacto grado hospital y la barra de tierra del tablero de aislamiento.

1. Seleccionar en el multímetro continuidad eléctrica.
2. Fijar una punta del multímetro en la barra de tierra del tablero de aislamiento.
3. Con la otra punta del multímetro verificar que exista continuidad eléctrica en la tierra de todos los contactos grado hospital.

**Prueba 12.** Que se mantenga continuidad eléctrica entre la barra de tierra aislada (punto de referencia) y todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente y conectores para puesta a tierra redundante.

Para esto la NFPA señala (traducción), con respecto al punto de referencia:

Punto de Referencia. Las mediciones de voltaje y de impedancia se tomarán con respecto a un punto de referencia. El punto de referencia será uno de los siguientes:

- (1) Un punto de conexión a tierra de referencia.
- (2) Un punto de conexión a tierra cerca de la sala bajo prueba, que es eléctricamente remoto de los conectores.

(3) El contacto de puesta a tierra de un receptáculo que se alimenta de otro circuito distinto del conector bajo prueba.<sup>49</sup>

La NFPA señala (traducción), con respecto a la continuidad eléctrica.

Se debe verificar la continuidad del circuito de puesta a tierra en cada conector eléctrico.<sup>50</sup>

Para esta prueba se utilizará un multímetro que mida la continuidad eléctrica. Dicha medición se realizará en partes metálicas en la vecindad del paciente como:

- Brazo articulado (figura 4.8)
- Tapas de los contactos grado hospital (figura 4.6)
- Frente del tablero de aislamiento
- Frente del módulo de contactos grado hospital (figura 2.3)
- Frente de módulo de conectores para puesta a tierra (figura 4.4)
- Mobiliario que se encuentra descrito en el capítulo 3.1.1 “Sala de operación o quirófano” de este trabajo y que se encuentre en la vecindad del paciente
- Conectores para puesta a tierra redundante (figura 3.2)
- Partes metálicas expuestas de los equipos médicos en la vecindad del paciente

Procedimiento a seguir en esta prueba:

1. Seleccionar en el multímetro continuidad eléctrica.
2. Fijar una punta del multímetro en la barra de tierra del tablero de aislamiento.
3. Con la otra punta del multímetro verificar que exista continuidad eléctrica en todas las partes metálicas y todos los receptáculos para puesta a tierra redundante.

---

<sup>49</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.1.2

<sup>50</sup> NFPA 99 2005 4.3.3.2.2



FIGURA 4.8 Brazo articulado.

Parte metálica que no se encuentre aterrizada a tierra en la vecindad del paciente deberá ser puesta a tierra, utilizando cables de tierra con aislamiento de color verde, como se explica en la sección 3.1.3 de este trabajo. Incluyendo partes metálicas expuestas de equipos médicos se deben aterrizar a tierra para crear redundancia.

### 4.5 Formato propuesto para las pruebas

Es importante llevar una bitácora de todos los resultados obtenidos en la realización de las pruebas. Se sugiere un formato de llenado para tener un orden cronológico de las pruebas y tener ordenada la información para futuras consultas.

**Pruebas a efectuar dentro de un quirófano de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012 y NFPA 99 Health Care Facilities edición 2005**

Datos generales		
<b>Hospital:</b>		<b>Fecha</b>
<b>Área a revisar:</b>		

Datos tablero de aislamiento				
	Polos	Amperes	Tipo	Cantidad de int. derivados
Interruptor general:				
Interruptor derivado:				
Datos transformador de aislamiento		Datos Monitor de Aislamiento de Línea		
Catalogo:		Marca MAL:		
Capacidad [kVA]:		No. Serie:		
Voltaje primario:		Voltaje alimentación:		
Voltaje secundario:		Frecuencia:		
Voltaje medido en el transformador de aislamiento				
Voltaje primario:		Voltaje L1-Tierra:		
Voltaje secundario:		Voltaje L2-Tierra:		
Observaciones				

**Pruebas tablero de aislamiento e instalación eléctrica**

Prueba 1. La impedancia capacitiva y resistiva a tierra de cualquier conductor de un sistema aislado debe de exceder de 200 kΩ.

Circuito	L1 [uA]	L2 [uA]	Circuito derivado correspondiente a:
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
FHC			Int. derivados cerrados, MAL desconectado y lamp. Quirúrgica o int. derivado correspondiente abierto.
VL1-L2		RFHC-L1	RFHC-L2

Prueba 2. El Monitor de Aislamiento de Línea no debe presentar alarmar para una Corriente Peligrosa de Falla (FHC) menor o igual a 3.7 mA o cuando el sistema está aislado de tierra, cuando ambas condiciones ocurren al mismo tiempo el MAL debe estar operando con una lámpara verde constante. Y alarmarse con una corriente peligrosa de falla comprendida entre 3.7 mA y 5 mA o que el sistema no se encuentre aislado a tierra, ya sea que ocurra uno de los dos casos o ambos al mismo tiempo, una lámpara roja constante junto con la alarma audible deben de estar encendidas.

		Alarma audible	Lámpara verde	Lámpara roja
Línea 1	0 < i < 3.7 mA			
	i > 5 mA			
Línea 2	0 < i < 3.7 mA			
	i > 5 mA			
Corriente mayor a la que señala el fabricante	Línea 1			
	Línea 2			
Línea 1 puentado a tierra				
Línea 2 puentado a tierra				

Prueba 3. El circuito del monitor de aislamiento de línea debe ser probado antes y después de su instalación, para esto cada línea (tanto L1 y L2) energizada del sistema eléctrico aislado debe conectarse a tierra a través de una resistencia con valor de  $200\Omega$  por cada Volt medido en el secundario del transformador de aislamiento. La alarma audible y visible se deben activar.

		Se alarma el MAL	
V <sub>L1-L2</sub>		Línea 1	
R <sub>calculada</sub>		Línea 2	

**Equipo médico**

Prueba 4. El voltaje medido bajo no condiciones de falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no exceda de 20 mV.

Equipo eléctrico fijo	mV	Equipo eléctrico fijo	mV

Prueba 5. La corriente de fuga de los equipos eléctricos conectados de forma permanente dentro de la vecindad del paciente no exceda los 5 mA probados antes y después de su instalación.

Equipo eléctrico permanente	L1 [A]	L2 [A]

Prueba 6. Que la resistencia del conductor de puesta a tierra (contenido en el cable de alimentación) de los equipos médicos, medida entre la terminal de tierra de la clavija y el borne de punto de tierra del equipo (o chasis metálico en caso de que no contenga borne) no exceda  $0.15\Omega$  en equipo nuevo y  $0.50\Omega$  para equipo en uso.

Equipo médico	$\Omega$	Equipo médico	$\Omega$

Prueba 7. Que la corriente de fuga de los equipos médicos conectados con cordón y clavija, que se usen en la vecindad del paciente no exceda los 300  $\mu\text{A}$ . Desde el chasis del equipo médico hasta la fuente de alimentación.

Equipo médico	L2 Cerrado $\mu\text{A}$		L2 Abierto $\mu\text{A}$	
	Normal	Invertida	Normal	Invertida

**Piso conductor**

Prueba 8. Que el piso conductor tenga una resistencia promedio comprendida entre 1,000,000  $\Omega$  y 25,000  $\Omega$ .

No.	Descripción de la zona	$\Omega$
1		
2		
3		
4		
5		
Promedio		

**Contactos y equipos no aterrizados a tierra**

Prueba 9. Los interruptores de falla a tierra GFCI y receptáculos con este tipo de protección operen a menos a menos de 6 mA.

Ubicación contacto	mA	Ubicación contacto	mA



Contacto	Polaridad	Fuerza de retención [OZ]							
		Superior				Inferior			
		Neutro	Fase	Tierra		Neutro	Fase	Tierra	
				Retención	Continuidad			Retención	Continuidad
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

Prueba 12. Que se mantenga continuidad eléctrica entre la barra de tierra aislada (punto de referencia) y todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente y conectores para puesta a tierra redundante.

Parte metálica o receptáculo	Continuidad	Parte metálica o receptáculo	Continuidad

Notas:	





## **CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Mantenimiento preventivo con respecto a las 12 pruebas sugeridas en el capítulo 4 de este trabajo para salvaguardar la vida del paciente y el personal médico que se encuentra laborando.

### **5.1 Tablero de aislamiento e instalación eléctrica**

#### **Prueba 1. Prueba del sistema aislado.**

De acuerdo al artículo 4.3.2.6.2.1 de la NFPA 99 2005 y el artículo 517-160.7 de la NOM-001 SEDE 2012. La impedancia capacitiva y resistiva a tierra de cualquier conductor de un sistema aislado debe de exceder de 200 k $\Omega$ .

Para ello se realiza la medición de la Corriente Peligrosa de Falla (FHC, Fault Hazard Current) con los interruptores derivados cerrados, LIM desconectado y circuito de la lámpara quirúrgica abierto (en caso de que no se pueda desconectar).

En caso de que se superen los 200 k $\Omega$  se recomienda para mejorar la corriente peligrosa de falla, que los circuitos derivados disponibles y alambrados permanezcan abiertos para que exista un decremento en la corriente. Si no existen circuitos derivados disponibles y alambrados se sugiere revisar la instalación eléctrica principalmente el segmento correspondiente al circuito derivado que haya registrado mayor corriente de fuga.

#### **Prueba 2. Prueba del monitor de aislamiento.**

De acuerdo artículo 4.3.2.6.3.2 de la NFPA 99 2005. El Monitor de Aislamiento de Línea no debe de alarmarse para una Corriente Peligrosa de Falla (FHC) menor o igual a 3.7 mA o cuando el sistema está aislado de tierra, cuando ambas condiciones ocurren al mismo tiempo el MAL debe estar operando con una lámpara

verde constante. Y alarmarse con una corriente peligrosa de falla comprendida entre 3.7 mA y 5 mA o que el sistema no se encuentre aislado a tierra, ya sea que ocurra uno de los dos casos o ambos al mismo tiempo, una lámpara roja constante junto con la alarma audible deben de estar encendidas.

Para ello se simula una corriente de fuga, conectando una resistencia tanto en L1 a tierra y L2 a tierra.

Condiciones en las cuales se activa la lámpara verde:

1. La corriente es menor a la corriente de alarma que nos marca el fabricante, teniendo en cuenta que ésta debe de comprender entre 3.7 mA y 5.0 mA.
2. La corriente es menor a 3.7 mA.
3. El sistema está aislado de tierra.

Condiciones en las cuales se activa la lámpara roja y la alarma audible:

1. La corriente es mayor a la corriente de alarma que nos marca el fabricante, teniendo en cuenta que ésta debe de comprender entre 3.7 mA y 5.0 mA.
2. La corriente es mayor a 5.0 mA.
3. El sistema no está aislado a tierra.
4. El MAL pierde la referencia de tierra aislada.

Si las condiciones anteriores suceden sin sus respectivas alarmas, se debe de contactar al fabricante del Monitor de Aislamiento de Línea para su calibración, reparación o sustitución.

### **Prueba 3. Prueba circuito del MAL.**

De acuerdo con los artículos 4.3.2.6.3.2 y 4.3.3.3.2.1 de la NFPA 99 2005. El circuito del monitor de aislamiento de línea debe de ser probado antes y después de su instalación, para esto cada línea (tanto L1 y L2) energizada del sistema eléctrico aislado debe conectarse a tierra a través de una resistencia con valor de  $200\Omega$  por cada volt medido en el secundario del transformador de aislamiento. La alarma audible y visible (lámpara roja) se deben activar.

Para ello se calcula el valor de la resistencia y se coloca entre L1 a tierra y L2 a tierra (una línea a la vez a tierra). Dicha resistencia nos inducirá una corriente de fuga a tierra de 5 mA.

En caso de que la alarma visible (lámpara roja) y la alarma audible no se activen, se debe contactar al fabricante del Monitor de Aislamiento de Línea para su calibración, reparación o sustitución.

## **5.2 Equipo médico**

### **Prueba 4. Prueba en vecindad del paciente.**

De acuerdo con los artículos 4.3.3.1.3 y 4.3.3.1.6.1 de la NFPA 99 2005. El voltaje medido bajo no condiciones de falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no exceda de 20 mV.

Con un voltmetro o multímetro con una resolución de 1 mV se mide el voltaje de la superficie metálica expuesta en la vecindad del paciente tomando como referencia la barra de tierra aislada.

En caso de que algún equipo médico exceda los 20 mV, se recomienda contactar al fabricante.

Mediante los cables de puesta a tierra aterrizar el chasis y así crear una superficie equipotencial (y tierra redundante).

### **Prueba 5. Prueba de corriente de fuga en equipos conectados de forma permanente.**

De acuerdo a los artículos 8.4.1.3.4.1 y 8.4.1.3.4.2 de la NFPA 99 2005. La corriente de fuga de los equipos eléctricos conectados de forma permanente dentro de la vecindad del paciente no exceda los 5 mA probados antes y después de su instalación.

Se mide la corriente de fuga de los equipos que se encuentran conectados de forma permanente en el quirófano, prácticamente esta prueba se realiza a la lámpara quirúrgica.

En caso de que los equipos conectados de forma permanente rebasen los 5 mA se sugiere cambiarlos por equipos de baja corriente de fuga, de no ser así, el Monitor de Aislamiento de Línea permanecerá con alta corriente total de falla y posiblemente se activen las alarmas.

### **Prueba 6. Prueba de la resistencia del conductor de puesta a tierra de los equipos**

De acuerdo al artículo 10.2.13.2 de la NFPA 99 2005. La resistencia del conductor de puesta a tierra (contenido en el cable de alimentación) de los equipos médicos, medida entre la terminal de tierra de la clavija y el borne de punto de tierra del equipo (o chasis metálico en caso de que no contenga borne) no exceda  $0.15\Omega$  en equipo nuevo y  $0.50\Omega$  para equipo en uso.

Para esta prueba se usa un óhmetro o un multímetro con una precisión de  $\pm 1\%$ , la resistencia es medida entre los extremos del conductor del cable del equipo médico.

En caso de que un equipo médico exceda los estándares permitidos se recomienda contactar al fabricante del equipo médico o reemplazar el cordón por uno de baja impedancia.

### **Prueba 7. Corriente de fuga no exceda los 300 $\mu\text{A}$ en los equipos médicos.**

De acuerdo a los artículos 8.4.1.3.5.1 y 8.4.1.3.5.5 de la NFPA 99 2005. La corriente de fuga de los equipos médicos conectados con cordón y clavija que se usen en la vecindad del paciente no debe de exceder de 300  $\mu\text{A}$ .

Con un amperímetro o multímetro con una resolución de 1  $\mu\text{A}$  se mide la corriente de fuga de regreso por el cable verde para puesta a tierra redundante desde el chasis del equipo médico hasta la fuente de alimentación. Realizar las mediciones

de la corriente de fuga en todas las combinaciones existentes entre polaridad normal, polaridad invertida, L2 abierto (equipo "OFF") y L2 cerrado (equipo "ON").

En caso de que algún equipo médico exceda los 300  $\mu\text{A}$  se recomienda contactar al proveedor del equipo para que corrija dicha corriente de fuga.

### **5.3 Piso conductor**

#### **Prueba 8. Prueba del piso conductivo**

De acuerdo a los anexos E.6.6.8.2.3, E.6.6.8.2.4 y E.6.6.8.2.7 de la NFPA 99 2005. Que el piso conductor tenga una resistencia promedio comprendida entre 1, 000,000  $\Omega$  y 25,000  $\Omega$ .

Para ello se usa un medidor de aislamiento que cumpla con la norma NFPA 99 2005, anexo E.6.6.8.2.7. Tomando el promedio de cinco puntos diferentes en la vecindad del paciente.

En caso de que la resistencia sea menor a 25,000  $\Omega$  o mayor a 1, 000,000  $\Omega$  se recomienda contactar al proveedor de los pisos conductivos para verificar si hay algún tipo de tratamiento para el piso que permita cambiar su conductividad o de ser necesario reemplazarlo. Si el piso no es conductor se recomienda instalarlo.

### **5.4 Contactos y equipos no aterrizados a tierra**

#### **Prueba 9. Prueba de GFCI.**

De acuerdo con el artículo 4.3.2.2.8.5 de la NFPA 99 2005 y NOM-001-SEDE 2012 artículo 517.20 (a). Los interruptores de falla a tierra GFCI y receptáculos con este tipo de protección operen a menos de 6 mA.

Para esta prueba se simula una corriente de fuga entre L1 - tierra y L2 - tierra con un valor de 0 a 6 mA y cuando la corriente de fuga sea mayor a los 6 mA el interruptor GFCI se active.

En caso de que el interruptor no se active pasando los 6 mA se recomienda cambiar el interruptor GFCI.

**Prueba 10. Prueba de impedancia en la tierra aislada dentro de la vecindad del paciente.**

De acuerdo al artículo 4.3.3.1.4 y 4.4.3.1.6.2 de la NFPA 99 2005 y el artículo 517.19 (c) de la NOM 001 SEDE 2012 el límite de la impedancia entre un punto de referencia a tierra y la terminal para conexión a tierra de los receptáculos en la vecindad del paciente sea de  $0.1\Omega$  y  $0.2\Omega$ , para receptáculos de puesta a tierra y tierra redundante respectivamente.

Para esta prueba se utiliza un óhmetro o multímetro de alta precisión, y se mide la resistencia de todo receptáculo de puesta a tierra y de todas las tierras redundantes, tomando como referencia la barra de tierra del sistema aislado.

En caso de que exceda los límites permitidos, se recomienda revisar el apriete tanto en el receptáculo como en la barra de tierra. Si persiste el error, verificar que el conductor utilizado sea con aislamiento, que tenga una constante dieléctrica menor a 3.5 y una constante de aislamiento mayor a 6100 megaohm-metro (de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 517-160 (a) (7)), de ser necesario se recomienda cambiar el conductor.

**Prueba 11. Prueba de polaridad en contactos grado hospital y fuerza de retención.**

De acuerdo al artículo 4.3.3.2.3 de la NFPA 99 2005 que se mantenga la misma polaridad en los todos los contactos grado hospital y que la fuerza de retención en las cuchillas de fase, neutro y tierra debe ser de 115 gramos (4.0 OZ). Realizar una inspección física visual a los contactos. Continuidad eléctrica entre la tierra del contacto grado hospital y la barra de tierra del tablero de aislamiento.

Para esta prueba se usa un probador de polaridad y un medidor de fuerza de retención de los contactos.

En caso de que se encuentre algún contacto grado hospital con la polaridad invertida se debe de corregir intercambiando L1 por L2 (directamente en el contacto) para tener en todos los contactos la misma polaridad.

Si algún contacto grado hospital no cumple con la fuerza de retención mínima de 115g se recomienda cambiar el contacto.

Si no hay continuidad eléctrica entre la tierra del contacto y la barra de tierra, se recomienda revisar que el conductor se encuentre en buen estado y que esté haciendo contacto tanto en la clavija como en la barra de tierra del tablero de aislamiento.

### **Prueba 12. Prueba de continuidad eléctrica en la vecindad del paciente.**

De acuerdo al artículo 8.4.1.3.4.1 y 8.4.1.3.5.5 de la NFPA99 2005. Que se mantenga continuidad eléctrica entre la barra de tierra aislada (punto de referencia) y todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente y conectores para puesta a tierra.

Con un multímetro en la opción de continuidad eléctrica se verifica que exista continuidad en todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente y conectores para puesta a tierra redundante, tomando como referencia la barra de tierra del tablero de aislamiento. Incluyendo partes metálicas expuestas de equipos médicos.

Parte metálica que no éste aterrizada a tierra aislada en la vecindad del paciente deberá ser puesta a tierra, utilizando cables de tierra con aislamiento de color verde, como se explica en la sección 3.1.3 de este trabajo.

Si en el conector para puesta a tierra redundante no hay continuidad, se recomienda checar que el conductor se encuentre en buen estado y que esté haciendo contacto tanto en el conector como en la barra de tierra del tablero de aislamiento.

Si algún equipo médico no da continuidad se debe reportar al departamento de ingeniería biomédica para su reparación por parte de personal calificado y autorizado. O en su defecto el cambio del equipo por uno nuevo.

## CAPÍTULO 6. APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS EN QUIRÓFANOS ACTUALMENTE EN USO

Las pruebas descritas en el capítulo 4 de este trabajo, las apliqué en quirófanos actualmente en uso. El equipo empleado fue:

- Multímetro FLUKE 87V de alta precisión con resolución de 1 mV
- Megohmetro Yokowaga 2404, Insulation Tester
- FLUKE DALE 601, precisión  $\pm 1\%$  en un rango de 0 – 1.99  $\Omega$  y resolución de 1  $\mu A$  en un rango de 0 – 1999  $\mu A$
- Probador de polaridad, STEREN Her-258

### 6.1 Clínica Thiers

<b>Pruebas a efectuar dentro de un quirófano de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012 y NFPA 99 Health Care Facilities edición 2005</b>
--

Datos generales		
<b>Hospital:</b>	Clínica Thiers	<b>Fecha</b>
<b>Área a revisar:</b>	Quirófano en emergencia	21-nov-14

Datos tablero de aislamiento				
	Polos	Amperes	Tipo	Cantidad de int. derivados
Interruptor general:	2	30	OC	
Interruptor derivado:	2	20	BAB202	8
Datos transformador de aislamiento		Datos Monitor de Aislamiento de Línea		
Catalogo:	210544L	Marca MAL:	MARK IV	
Capacidad [kVA]:	5	No. Serie:	19880	
Voltaje primario:	220	Voltaje alimentación:	120	
Voltaje secundario:	120	Frecuencia:	60	
Voltaje medido en el transformador de aislamiento				
Voltaje primario:	227	Voltaje L1-Tierra:	57.93	
Voltaje secundario:	126.5	Voltaje L2-Tierra:	65.48	
Observaciones				

**Pruebas tablero de aislamiento e instalación eléctrica**

Prueba 1. La impedancia capacitiva y resistiva a tierra de cualquier conductor de un sistema aislado debe de exceder de 200 kΩ.

Circuito	L1 [uA]	L2 [uA]	Circuito derivado correspondiente a:		
1	55.1	53.1	Contacto Negatoscopio		
2	39.6	39.4	Módulo 1 Contacto 1		
3	42.2	39.4	Módulo 1 Contacto 2		
4	39.1	38.7	Módulo 1 Contacto 3		
5	38.6	40.3	Módulo 1 Contacto 4		
6	77.1	42.8	Lámpara quirúrgica		
7	51.6	50.5	Módulo 2 Contacto 1		
8	52.4	50.7	Módulo 2 Contacto 2		
9	51.7	48	Módulo 2 Contacto 3		
10	52.1	48.9	Módulo 2 Contacto 4		
11	67.4	59.7	Módulo 3 y 4 Contacto 1		
12	65.2	65.3	Módulo 3 y 4 Contacto 2		
13	62.2	60	Módulo 3 y 4 Contacto 3		
14	64.7	64.3	Módulo 3 y 4 Contacto 4		
15			Sin alambrar		
16			Sin alambrar		
FHC	316.6	280.1	Int. derivados cerrados, MAL desconectado y lamp. Quirúrgica o int. derivado correspondiente abierto.		
$V_{L1-L2}$	126.5 V	$R_{FHC-L1}$	399.5 Ω	$R_{FHC-L2}$	451.6 Ω

Prueba 2. El Monitor de Aislamiento de Línea no debe presentar alarma para una Corriente Peligrosa de Falla (FHC) menor o igual a 3.7 mA o cuando el sistema está aislado de tierra, cuando ambas condiciones ocurren al mismo tiempo el MAL debe estar operando con una lámpara verde constante. Y alarmarse con una corriente peligrosa de falla comprendida entre 3.7 mA y 5 mA o que el sistema no se encuentre aislado a tierra, ya sea que ocurra uno de los dos casos o ambos al mismo tiempo, una lámpara roja constante junto con la alarma audible deben de estar encendidas.

		Alarma audible	Lámpara verde	Lámpara roja
Línea 1	$0 < i < 3.7 \text{ mA}$	NO	SI	NO
	$i > 5 \text{ mA}$	SI	NO	SI
Línea 2	$0 < i < 3.7 \text{ mA}$	NO	SI	NO
	$i > 5 \text{ mA}$	SI	NO	SI
Corriente mayor a la que señala el fabricante	Línea 1	SI	NO	SI
	Línea 2	SI	NO	SI
Línea 1 puenteadado a tierra		SI	NO	SI
Línea 2 puenteadado a tierra		SI	NO	SI

Prueba 3. El circuito del monitor de aislamiento de línea debe ser probado antes y después de su instalación, para esto cada línea (tanto L1 y L2) energizada del sistema eléctrico aislado debe conectarse a tierra a través de una resistencia con valor de  $200\Omega$  por cada volt medido en el secundario del transformador de aislamiento. La alarma audible y visible se deben activar.

		Se alarma el MAL	
$V_{L1-L2}$	126.5 V	Línea 1	SI
Rcalculada	23.5 k $\Omega$	Línea 2	SI

### Equipo médico

Prueba 4. El voltaje medido bajo no condiciones de falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no exceda de 20 mV.

Equipo eléctrico fijo	mV	Equipo eléctrico fijo	mV
<b>Lámpara quirúrgica</b>	<b>21.2</b>	Negatoscopio	0.3
Electrocauterizador	11.5		
Equipo de anestesia	1.5		
<b>Lámpara quirúrgica portátil</b>	<b>65.5</b>		
Cama eléctrica	9.5		

Prueba 5. La corriente de fuga de los equipos eléctricos conectados de forma permanente dentro de la vecindad del paciente no exceda los 5 mA probados antes y después de su instalación.

Equipo eléctrico permanente	L1 [A]	L2 [A]
Lámpara quirúrgica	77.1	42.8

Prueba 6. Que la resistencia del conductor de puesta a tierra (contenido en el cable de alimentación) de los equipos médicos, medida entre la terminal de tierra de la clavija y el borne de punto de tierra del equipo (o chasis metálico en caso de que no contenga borne) no exceda  $0.15\Omega$  en equipo nuevo y  $0.50\Omega$  para equipo en uso.

Equipo médico	$\Omega$	Equipo médico	$\Omega$
Electrocauterizador	0.48		
Equipo de anestesia	0.35		
Select Agent	0.17		
Negatoscopio	0.06		

Prueba 7. Que la corriente de fuga de los equipos médicos conectados con cordón y clavija, que se usen en la vecindad del paciente no exceda los 300  $\mu$ A. Desde el chasis del equipo médico hasta la fuente de alimentación.

Equipo médico	L2 Cerrado $\mu$ A		L2 Abierto $\mu$ A	
	Normal	Invertida	Normal	Invertida
<b>No se realizó</b>				

**Piso conductor**

Prueba 8. Que el piso conductor tenga una resistencia promedio comprendida entre 1, 000,000  $\Omega$  y 25,000  $\Omega$ .

No.	Descripción de la zona	$\Omega$
1	Pies cama	150,000
2	Lateral izquierda cama	300,000
3	Cabecera cama	250,000
4	Lateral derecha cama	280,000
5	Parte media cama	125,000
Promedio		221,000

**Contactos y equipos no aterrizados a tierra**

Prueba 9. Los interruptores de falla a tierra GFCI y receptáculos con este tipo de protección operen a menos a menos de 6 mA.

Ubicación contacto	mA	Ubicación contacto	mA
<b>NO EXISTEN INTERRUPTORES GFCI</b>			

Prueba 10. El límite de impedancia entre la barra de tierra aislada del tablero y la tierra de los contactos y conectores para puesta a tierra redundante no deben exceder de 0.1  $\Omega$  y 0.2  $\Omega$  respectivamente

Descripción de la tierra	$\Omega$	Descripción de la tierra	$\Omega$
<b>Contactos módulo 3</b>	<b>0.2</b>		
Los demás contactos	0.1		

Prueba 11. Que se mantenga la misma polaridad en los todos los contactos grado hospital y que la fuerza de retención en las cuchillas de fase, neutro y tierra debe ser de 115 gramos (4.0 OZ). Realizar una inspección física visual a los contactos. Continuidad eléctrica entre la tierra del contacto grado hospital y la barra de tierra del tablero de aislamiento.

Contacto	Ubicación del contacto	Circuito tablero de aislamiento
1	Contacto negatoscopio	1
2	Módulo 1 contacto 1	2
3	Módulo 1 contacto 2	3
4	Módulo 1 contacto 3	4
5	Módulo 1 contacto 4	5
6	Módulo 2 contacto 1	7
7	Módulo 2 contacto 2	8
8	Módulo 2 contacto 3	9
9	Módulo 2 contacto 4	10
10	Módulo 3 contacto 1	11
11	Módulo 3 contacto 2	12
12	Módulo 3 contacto 3	13
13	Módulo 3 contacto 4	14
14	Módulo 4 contacto 1	11
15	Módulo 4 contacto 2	12
16	Módulo 4 contacto 3	13
17	Módulo 4 contacto 4	14

Contacto	Polaridad	Fuerza de retención [OZ]							
		Superior				Inferior			
		Neutro	Fase	Tierra		Neutro	Fase	Tierra	
				Retención	Continuidad			Retención	Continuidad
1	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
2	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
3	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
4	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
5	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
6	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
7	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
8	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
9	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
10	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
11	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
12	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
13	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI



### 6.1.1 Recomendaciones clínica Thiers

1. Adquirir cables de puesta a tierra redundante para superficies metálicas no aterrizadas y equipo médico, ya que el quirófano con cuenta con ellos..
2. De acuerdo con los artículos 4.3.3.1.3 y 4.3.3.1.6.1 de la NFPA 99 2005, el voltaje medido bajo condiciones de no falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no debe exceder de 20 *mV*. La lámpara quirúrgica portátil y la lámpara quirúrgica registraron 65.5 *mV* y 21.2 *mV* respectivamente. Se recomienda contactar al fabricante o mediante los cables de puesta a tierra aterrizar el chasis y así crear una superficie equipotencial (y tierra redundante).
3. De acuerdo al artículo 4.3.3.1.4 y 4.4.3.1.6.2 de la NFPA 99 2005 y el artículo 517.19 (c) de la NOM 001 SEDE 2012 el límite de la impedancia entre un punto de referencia a tierra y la tierra de los contactos y los conectores para puesta a tierra en la vecindad del paciente no deben exceder de 0.1 $\Omega$  y 0.2 $\Omega$  respectivamente. La tierra del contacto correspondiente al módulo 3 registró 0.2 $\Omega$ . Se recomienda revisar el apriete tanto en el receptáculo como en la barra de tierra. Si persiste el error, verificar que el conductor utilizado sea con aislamiento, que tenga una constante dieléctrica menor a 3.5 y una constante de aislamiento mayor a 6100 megaohm-metro (de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 517-160 (a) (7)), de no ser así, se recomienda cambiar el conductor.
4. De acuerdo al artículo 8.4.1.3.4.1 y 8.4.1.3.5.5 de la NFPA99 2005 que se mantenga continuidad eléctrica entre la barra de tierra aislada (punto de referencia) y todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente, receptáculos de tierra de los contactos grado hospital y conectores para puesta a tierra. La mesa quirúrgica no se encuentra aterrizada a tierra. Se recomienda aterrizar la mesa quirúrgica mediante los cables para puesta a tierra redundante, previo a una intervención quirúrgica.

## 6.2 Hospital regional de Tlalnepantla

Las pruebas descritas en el capítulo 4 son aplicables no sólo a quirófanos, sino también a todas las áreas de atención crítica en general y áreas similares en las cuales los usuarios (pacientes) estén sujetos a procedimientos invasivos y conectados a equipos médicos de alta tecnología, que estén energizados mediante contactos grado hospital. Por lo cual en el hospital regional de Tlalnepantla se realizaron estas pruebas en:

- Tococirugía
- Sala de cirugía ambulatoria 1
- Sala de cirugía ambulatoria 2
- Sala de expulsión 1
- Sala de expulsión 2
- Sala de cirugía 1
- Sala de cirugía 2
- Sala de cirugía 3

A continuación se muestra el trabajo que realicé en la sala de expulsión 1. Se empleó el mismo equipo que se usó en la clínica Thiers.

**Pruebas a efectuar dentro de un quirófano de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012 y NFPA 99 Health Care Facilities edición 2005**

<b>Datos generales</b>		
<b>Hospital:</b>	Hospital regional de Tlalnepantla	<b>Fecha</b>
<b>Área a revisar:</b>	Sala de expulsión 1	03-ago-15

<b>Datos tablero de aislamiento</b>				
	Polos	Amperes	Tipo	Cantidad de int. derivados
Interruptor general:	2	30	HIDHACR	
Interruptor derivado:	2	20	THQB LM	10
<b>Datos transformador de aislamiento</b>		<b>Datos Monitor de Aislamiento de Línea</b>		
Catalogo:	21-0501L	Marca MAL:	MARK V	

Capacidad [kVA]:	5	No. Serie:	18365
Voltaje primario:	208	Voltaje alimentación:	120
Voltaje secundario:	120	Frecuencia:	60
<b>Voltaje medido en el transformador de aislamiento</b>			
Voltaje primario:	224.7 V	Voltaje L1-Tierra:	59.5 V
Voltaje secundario:	131.8 V	Voltaje L2-Tierra:	48.2 V
<b>Observaciones</b>			

<b>Pruebas tablero de aislamiento e instalación eléctrica</b>
---

<p>Prueba 1. La impedancia capacitiva y resistiva a tierra de cualquier conductor de un sistema aislado debe de exceder de 200 kΩ.</p>					
Circuito	L1 [uA]	L2 [uA]	Circuito derivado correspondiente a:		
1	69	71	Contacto 40 cm a suelo terminado izquierdo.		
2	78	73	Contacto brazo articulado 1 izquierdo.		
3	80	87	Contacto brazo articulado 2 izquierdo.		
4	79	79	Contacto brazo articulado 3 izquierdo.		
5	93	86	Contacto 40 cm a suelo terminado derecho.		
6	84	80	Contacto brazo articulado derecho.		
7	58	56	Alambrado y disponible.		
8	94	93	Contacto 1.2 m de suelo terminado.		
9	76	79	Alambrado y disponible.		
10	346	352	Lámpara quirúrgica.		
11					
12					
13					
14					
15					
16					
FHC	400	379	Int. derivados cerrados, MAL desconectado y lámp. Quirúrgica o int. derivado correspondiente abierto.		
VL1-L2	138.1 V	RFHC-L1	329.5 kΩ	RFHC-L2	347.7 kΩ

Prueba 2. El Monitor de Aislamiento de Línea no debe presentar alarma para una Corriente Peligrosa de Falla (FHC) menor o igual a 3.7 mA o cuando el sistema está aislado de tierra, cuando ambas condiciones ocurren al mismo tiempo el MAL debe estar operando con una lámpara verde constante. Y alarmarse con una corriente peligrosa de falla comprendida entre 3.7 mA y 5 mA o que el sistema no se encuentre aislado a tierra, ya sea que ocurra uno de los dos casos o ambos al mismo tiempo, una lámpara roja constante junto con la alarma audible deben de estar encendidas.

		Alarma audible	Lámpara verde	Lámpara roja
Línea 1	$0 < i < 3.7 \text{ mA}$	NO	SI	NO
	$i > 5 \text{ mA}$	SI	NO	SI
Línea 2	$0 < i < 3.7 \text{ mA}$	NO	SI	NO
	$i > 5 \text{ mA}$	SI	NO	SI
Corriente mayor a la que señala el fabricante	Línea 1	SI	NO	SI
	Línea 2	SI	NO	SI
Línea 1 puenteado a tierra		SI	NO	SI
Línea 2 puenteado a tierra		SI	NO	SI

Prueba 3. El circuito del monitor de aislamiento de línea debe ser probado antes y después de su instalación, para esto cada línea (tanto L1 y L2) energizada del sistema eléctrico aislado debe conectarse a tierra a través de una resistencia con valor de  $200\Omega$  por cada volt medido en el secundario del transformador de aislamiento. La alarma audible y visible se deben activar.

		Se alarma el MAL	
$V_{L1-L2}$	131.8 V	Línea 1	SI
Rcalculada	26.2 k $\Omega$	Línea 2	SI

**Equipo médico**

Prueba 4. El voltaje medido bajo no condiciones de falla entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de un equipo eléctrico fijo localizado en la vecindad del paciente no exceda de 20 mV.

Equipo eléctrico fijo	mV	Equipo eléctrico fijo	mV
Lámpara de exploración 1	6	Lámpara quirúrgica	0.8
Cama hidráulica	1.8	Lámpara de emergencia	14.3
Brazo articulado	1		
Lámpara de exploración 2	16		
Cuna de calor radiante	0.8		

Prueba 5. La corriente de fuga de los equipos eléctricos conectados de forma permanente dentro de la vecindad del paciente no exceda los 5 mA probados antes y después de su instalación.

Equipo eléctrico permanente	L1 [A]	L2 [A]
Lámpara quirúrgica	346	352

Prueba 6. Que la resistencia del conductor de puesta a tierra (contenido en el cable de alimentación) de los equipos médicos, medida entre la terminal de tierra de la clavija y el borne de punto de tierra del equipo (o chasis metálico en caso de que no contenga borne) no exceda 0.15Ω en equipo nuevo y 0.50Ω para equipo en uso.

Equipo médico	Ω	Equipo médico	Ω
Lámpara de exploración 1	0.07		
Lámpara de exploración 2	0.09		
Cuna de calor radiante	0.7		
Lámpara de emergencia	0.13		

Prueba 7. Que la corriente de fuga de los equipos médicos conectados con cordón y clavija, que se usen en la vecindad del paciente no exceda los 300 μA. Desde el chasis del equipo médico hasta la fuente de alimentación.

Equipo médico	L2 Cerrado μA		L2 Abierto μA	
	Normal	Invertida	Normal	Invertida
Lámpara de exploración 1	165	170	112	91
Lámpara de exploración 2	181	180	120	98
Cuna de calor radiante	135	135	50	88
Lámpara de emergencia	1012	1006	915	266

**Piso conductor**

Prueba 8. Que el piso conductor tenga una resistencia promedio comprendida entre 1, 000,000 Ω y 25,000 Ω.

No.	Descripción de la zona	Ω
1	Pies cama	500,000
2	Lateral izquierda cama	350,000
3	Lateral derecha cama	1,000,000
4	Cabecera cama	1,125,000
5	Parte media cama	1,500,000
Promedio		920,000

**Contactos y equipos no aterrizados a tierra**

Prueba 9. Los interruptores de falla a tierra GFCI y receptáculos con este tipo de protección operen a menos a menos de 6 mA.

Ubicación contacto	mA	Ubicación contacto	mA
<b>NO EXISTEN INTERRUPTORES GFCI</b>			

Prueba 10. El límite de impedancia entre la barra de tierra aislada del tablero y la tierra de los contactos y conectores para puesta a tierra redundante no deben exceder de 0.1  $\Omega$  y 0.2  $\Omega$  respectivamente

Descripción de la tierra	$\Omega$	Descripción de la tierra	$\Omega$
Contacto 40cm suelo terminado izq.	0.1	Contacto 40cm suelo terminado der.	0.2
Brazo articulado 1 izquierdo	0.2	Brazo articulado derecho	0.2
Brazo articulado 2 izquierdo	0.2	Contacto 1.2 m suelo terminado	0.1
Brazo articulado 3 izquierdo	0.2		

Prueba 11. Que se mantenga la misma polaridad en los todos los contactos grado hospital y que la fuerza de retención en las cuchillas de fase, neutro y tierra debe ser de 115 gramos (4.0 OZ). Realizar una inspección física visual a los contactos. Continuidad eléctrica entre la tierra del contacto grado hospital y la barra de tierra del tablero de aislamiento.

Contacto	Ubicación del contacto	Circuito tablero de aislamiento
1	Contacto 40cm suelo terminado izq.	1
2	Brazo articulado 1 izquierdo	2
3	Brazo articulado 2 izquierdo	3
4	Brazo articulado 3 izquierdo	4
5	Contacto 40cm suelo terminado der.	5
6	Brazo articulado derecho	6
7	Contacto 1.2 m suelo terminado	8
8		
9		
10		
11		
12		

Contacto	Polaridad	Fuerza de retención [OZ]							
		Superior				Inferior			
		Neutro	Fase	Tierra		Neutro	Fase	Tierra	
				Retención	Continuidad			Retención	Continuidad
1	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
2	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
3	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
4	<b>invertida</b>	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
5	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
6	<b>invertida</b>	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
7	normal	+24	+24	+24	SI	+24	+24	+24	SI
8									
9									
10									
11									
12									

Prueba 12. Que se mantenga continuidad eléctrica entre la barra de tierra aislada (punto de referencia) y todas las partes metálicas expuestas en la vecindad del paciente y conectores para puesta a tierra redundante.

Parte metálica o receptáculo	Continuidad	Parte metálica o receptáculo	Continuidad
Tapa contacto brazo izq. 1	SI		
Tapa contacto brazo izq. 2	SI		
Tapa contacto brazo izq. 3	SI		
Tapa contacto brazo derecho	SI		
Mesa brazo articulado	SI		

Notas:	

Observaciones:
Contacto a 40 cm de suelo terminado no está en el sistema de tierra aislada.
Tablero de aislamiento en pasillo, sala carece de alarma remota.
La sala carece de módulo de receptáculos de puesta a tierra y de cables de puesta a tierra.

**6.2.1 Recomendaciones sala de expulsión 1**

1. De acuerdo al artículo 517.41 (e) de la NOM 001 SEDE 2012, se recomienda verificar la procedencia del receptáculo que se encuentra a 40 cm de suelo terminado ya que no se encuentra alambrado en el sistema de tierra aislado, de no ser localizada su procedencia se sugiere que se cancele.
2. Dicha sala carece de alarma remota ya que el tablero de aislamiento se encuentra en el pasillo, de acuerdo al artículo 517.160.7-b-3 de la NOM-001 SEDE 2012 nos indica que dentro de la sala debe de existir una alarma visible y audible para el personal, que indique cuando la corriente total de falla rebasa los estándares permitidos. Se recomienda instalar una alarma remota dentro de la sala, ya que en caso que la corriente de fuga total de uno o varios equipos rebasa los 5mA el personal que se encuentre dentro de la misma no se daría cuenta de la falla poniendo en riesgo la vida del paciente y del personal médico.
3. La sala carece de módulo de conectores para puesta a tierra redundante para aterrizar tanto el chasis del equipo médico así como las superficies metálicas no aterrizadas dentro de la vecindad del paciente, a su vez, carece de cables de puesta a tierra redundante. De acuerdo al artículo 517-19 c y 517-11 de la NOM-001-SEDE-2012 se recomienda realizar la instalación de

dichos conectores ya que de no hacerlo el paciente puede quedar sujeto a diferencias de tensión y corrientes eléctricas que pongan en riesgo su vida.

4. De acuerdo al artículo 4.3.3.1.4 y 4.4.3.1.6.2 de la NFPA 99 2005 y el artículo 517.19 (c) de la NOM 001 SEDE 2012 el límite de la impedancia entre un punto de referencia a tierra y la tierra de los contactos y los conectores para puesta a tierra en la vecindad del paciente no deben exceder de  $0.1\Omega$  y  $0.2\Omega$  respectivamente. La tierra de los contactos correspondientes a los circuitos 2, 3, 4, 5 y 6 registraron  $0.2\Omega$ . Se recomienda revisar el apriete tanto en el receptáculo como en la barra de tierra. Si persiste el error, verificar que el conductor utilizado sea con aislamiento, que tenga una constante dieléctrica menor a 3.5 y una constante de aislamiento mayor a 6100 megaohm-metro (de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 517-160 (a) (7)), de no ser así, se recomienda cambiar el conductor.
5. De acuerdo al artículo 4.3.3.2.3 de la NFPA 99 2005 se recomienda cambiar la polaridad de los receptáculos correspondientes a los circuitos derivados 4 y 6, de haber una falla a tierra en el sistema aislado se energizará el neutro del equipo médico.
6. De acuerdo a los artículos 8.4.1.3.5.1 y 8.4.1.3.5.5 de la NFPA 99 2005 se recomienda contactar al proveedor de la lámpara de emergencia debido a que la corriente de fuga excede por mucho los  $300\ \mu\text{A}$ .



## Conclusiones

En la actualidad existen quirófanos sin medidas que garanticen una seguridad eléctrica para el paciente en una intervención quirúrgica. Los antecedentes estadísticos muestran que han aumentado las muertes por corrientes de fuga en las salas de operación[8], estos lamentables hechos se deben a que día con día se utiliza más equipo médico en cirugías.

Información en la literatura médica de Estados Unidos de América declaran que sucedieron 1200 incidentes por año [8], debido a electrocuciones por una corriente de fuga. Posteriormente estas electrocuciones se repitieron y se incrementaron hasta 5000 por año en los hospitales nacionales de Estados Unidos.

Se establecen los requerimientos de seguridad eléctrica dentro de los quirófanos mediante pruebas aplicables al equipo médico, tablero de aislamiento, contactos grado hospital, piso conductor y superficies metálicas de los hospitales del sector público y privado que se encuentran activos. Todo esto a consecuencia de que en la actualidad existen quirófanos en uso sin medidas de mantenimiento que garanticen una seguridad eléctrica (muerte por corriente de fuga), poniendo en riesgo la vida del paciente.

Durante la investigación y desarrollo de mi trabajo me encontré con deficiencias de nuestra norma mexicana (NOM-001-SEDE-2012) en cuanto a requerimientos eléctricos con los que debe de contar un quirófano para salvaguardar a un paciente de muerte por microdescarga.

Una persona que está siendo intervenida quirúrgicamente puede morir con una corriente de  $10 \mu\text{A}$  y una diferencial de potencial de  $5 \text{ mV}$ . Por lo general una persona soporta hasta  $25 \text{ mA}$  a  $5 \text{ mV}$ . En México no hay ninguna prueba ni estadística de que el paciente haya muerto por una microdescarga, ya que no se daña el tejido y una autopsia no puede revelar evidencia de ello.

El hecho de no aplicar las pruebas mencionadas, conlleva a que una corriente de fuga pueda recorrer el cuerpo del paciente, la cual le causaría una fibrilación ventricular potencialmente mortal para la persona que está siendo intervenida.

Las 12 pruebas garantizan que un quirófano se encuentre en óptimas condiciones para proteger la vida del paciente y resguardar la integridad física del personal médico que labora.

## Bibliografía consultada

- [1] Doebelin, "Diseño y Aplicación de Sistemas de Medición", Diana, México 1980.
- [2] Dorf Richard C. y James A. Svoboda, "Circuitos Eléctricos", Alfa Omega, 2011.
- [3] Hayt T. H. Jr., Kemmerly J. E. y Durbin S. M., "Análisis de Circuitos en Ingeniería", Mc Graw Hill, México, 2003.
- [4] Hernández Hernández Ricardo, "Sistema de Tierras Aplicado a una Subestación Eléctrica de potencia 230/23kV", IPN ESIME, México, 2009.
- [5] Jaramillo M. Gabriel A. y Alvarado C. Alfonso A., "Electricidad y Magnetismo", Trillas, México, 2004.
- [6] Kalashnikov S. G., "Electricidad", Grijalbo, México, 1959.
- [7] Langsdorf A. S., "Teoría de las máquinas de CA", McGraw Hill, México, 1967.
- [8] Melissa K., Joel E. y Russell A., "Evaluation of Health Care Operating Rooms as Wet/Dry Locations", The Fire Protection Research Foundation, 2012.
- [9] Pérez Amador Barrón Víctor, "Generadores, Motores y Transformadores Eléctricos", FI UNAM, México, 1992.
- [10] Ramírez H. Benjamín, "Apuntes de Análisis de Circuitos Eléctricos", FI UNAM.
- [11] Ras Enrique, "Transformadores", Alfa Omega, España, 1991.
- [12] Richard S. Figliola y Donald E. Beasley, "Mediciones Mecánicas, Teoría y Diseño", Alfa Omega, México 2003.
- [13] Sears Francis W., Zemansky Mark W., Young Hugh D. y Freedman Roger A., "Física Universitaria con Física Moderna", Pearson Educación, México, 2005.
- [14] Serway Raymond A., "Electricidad y Magnetismo", McGraw Hill, México, 2000.
- [15] Takahashi, "Apuntes de Física Experimental", FI UNAM.

## **Mesografía**

- [www.nfpa.org](http://www.nfpa.org)
- [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)

## **Normas**

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012
- NFPA 99 2005, Health Care Centers
- NOM-016-SSA3-2012

## **Anexos. Norma NFPA 99, artículos idioma original**

### **NFPA 99, 2005 Health Care Centers.**

**4.3.2.2.8.5** Where power interruption under first fault condition (line-to-ground fault) is tolerable, the use of a ground-fault circuit interrupter (GFCI) shall be permitted as the protective means that monitors the actual ground-fault current and interrupts the power when that current exceeds 6 mA.

**4.3.2.6.2.1\*** The impedance (capacitive and resistive) to ground of either conductor of an isolated system shall exceed 200,000 ohms when installed. The installation at this point shall include receptacles but is not required to include lighting fixtures or components of fixtures. This value shall be determined by energizing the system and connecting a low-impedance ac milliammeter (0 mA to 1 mA scale) between the reference grounding point and either conductor in sequence. This test shall be permitted to be performed with the line isolation monitor (see 4.3.2.6.3) connected, provided the connection between the line isolation monitor and the reference grounding point is open at the time of the test. After the test is made, the milliammeter shall be removed and the grounding connection of the line isolation monitor shall be restored. When the installation is completed, including permanently connected fixtures, the reading of the meter on the line isolation monitor, which corresponds to the unloaded line condition, shall be made. This meter reading shall be recorded as a reference for subsequent line-impedance evaluation. This test shall be conducted with no phase conductors grounded.

**4.3.2.6.3.2** The monitor shall be designed such that a green signal lamp, conspicuously visible in the area where the line isolation monitor is utilized, remains lighted when the system is adequately isolated from ground; and an adjacent red signal lamp and an audible warning signal (remote if desired) shall be energized when the total hazard current (consisting of possible resistive and capacitive leakage currents) from either isolated conductor to ground reaches a threshold value of 5.0

mA under normal line voltage conditions. The line isolation monitor shall not alarm for a fault hazard current of less than 3.7 mA.

**4.3.3.1.2 Reference Point.** The voltage and impedance measurements shall be taken with respect to a reference point. The reference point shall be one of the following:

- (1) A reference grounding point (*see Chapter 3, Definitions*).
- (2) A grounding point, in or near the room under test, that is electrically remote from receptacles, for example, an all-metal cold-water pipe.
- (3) The grounding contact of a receptacle that is powered from a different branch circuit from the receptacle under test.

**4.3.3.1.3\* Voltage Measurements.** The voltage measurements shall be made under no-fault conditions between a reference point and exposed fixed electrical equipment with conductive surfaces in a patient care vicinity. The voltage measurements shall be made with an accuracy of  $\pm 20$  percent. Voltage measurements for faceplates of wiring devices shall not be required.

**4.3.3.1.4\* Impedance Measurements.** The impedance measurement shall be made with an accuracy of  $\pm 20$  percent. For new construction, the impedance measurement shall be made between the reference point and the grounding contact of 10 percent of all receptacles in each patient care vicinity. The impedance measurement shall be the ratio of voltage developed (either 60 Hz or dc) between the point under test and the reference point to the current applied between these two points.

**4.3.3.1.6.1** Voltage limit shall be 20 mV.

**4.3.3.1.6.2** Impedance limit shall be 0.2 ohms for quiet ground systems, and 0.1 ohms for all others.

**4.3.3.2.1** The physical integrity of each receptacle shall be confirmed by visual inspection.

**4.3.3.2.2** The continuity of the grounding circuit in each electrical receptacle shall be verified.

**4.3.3.2.3** Correct polarity of the hot and neutral connections in each electrical receptacle shall be confirmed.

**4.3.3.2.4** The retention force of the grounding blade of each electrical receptacle (except locking-type receptacles) shall be not less than 115 g (4 oz).

**4.3.3.3.2.1** The Line Isolation Monitor (LIM) circuit shall be tested after installation, and prior to being placed in service, by successively grounding each line of the energized distribution system through a resistor of  $200 \times V$  ohms, where  $V$  equals measured line voltage. The visual and audible alarms (see 4.3.2.6.3.2) shall be activated.

**8.4.1.3.4.1** Permanently wired appliances in the patient care vicinity shall be tested prior to installation while the equipment is temporarily insulated from ground.

**8.4.1.3.4.2** The leakage current from frame to ground of permanently wired appliances installed in general or critical patient care areas shall not exceed 5.0 mA with all grounds lifted.

**8.4.1.3.2\* Resistance.** For appliances that are used in the patient care vicinity the resistance between the appliance chassis, or any exposed conductive surface of the appliance, and the ground pin of the attachment plug shall be less than 0.50 ohm under the following conditions:

- (1) The cord shall be flexed at its connection to the attachment plug or connector.
- (2) The cord shall be flexed at its connection to the strain relief on the chassis during the resistance measurement.

*Exception: The requirement shall not apply to escutcheons or nameplates, small screws, and so forth, that are unlikely to become energized.*

**8.4.1.3.5.1\* Leakage Current Limits.** The leakage current for cord-connected appliances shall not exceed 300  $\mu$ A.

**8.4.1.3.5.5 Chassis Leakage Test Procedure.** Measurements shall be made using the circuit, as illustrated in Figure 8.4.1.3.5.5, with the appliance ground broken in two modes of appliance operation as follows:

- (1) Power plug connected normally with the appliance on
- (2) Power plug connected normally with the appliance off (if equipped with an on/off switch)

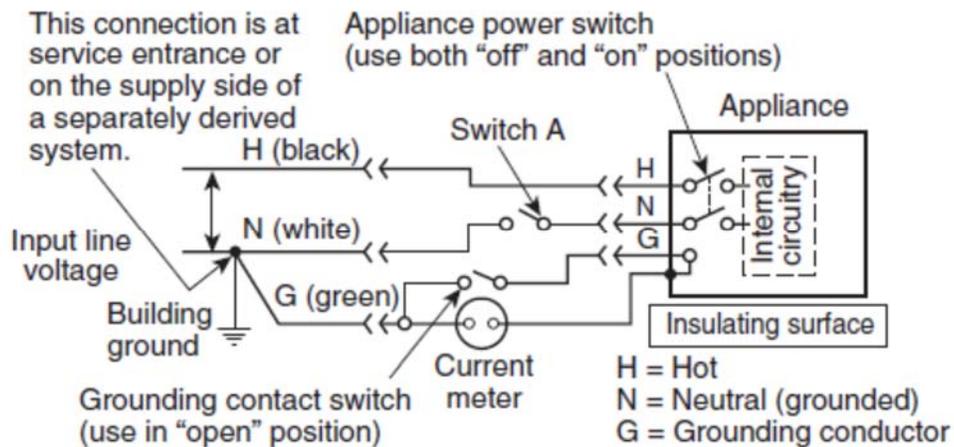


FIGURE 8.4.1.3.5.5 Test Circuit for Measuring Chassis Leakage Current.

(A) If the appliance has fixed redundant grounding (e.g., permanently fastened to the grounding system), the chassis leakage current test shall be conducted with the redundant grounding intact.

(B) Test shall be made with Switch A in Figure 8.4.1.3.5.5 closed.

**10.2.13.2 Grounding Circuit Continuity — Measurement of Resistance.** For appliances that are used in the patient care vicinity, the resistance between the appliance chassis or any exposed conductive surface of the appliance and the ground pin of the attachment plug shall be less than 0.15 ohm under the following conditions:

- (1) The cord shall be flexed at its connection to the attachment plug or connector.
- (2) The cord shall be flexed at its connection to the strain relief on the chassis during the resistance measurement.

**E.6.6.8.2.3** The resistance of the conductive floor shall be less than an average of 1,000,000 ohms, as measured in accordance with E.6.6.8.2.7.

**E.6.6.8.2.4** The resistance of the floor shall be more than an average of 25,000 ohms, as measured in accordance with E.6.6.8.2.7.

**E.6.6.8.2.7** The following test method shall be used (see E.6.6.12):

- (1) The floor shall be clean and dry, and the room shall be free of flammable gas mixtures.
- (2) Each electrode shall weigh 5 lb (2.268 kg) and shall have a dry, flat, circular contact area 2½ in. (6.35 cm) in diameter, which shall comprise a surface of aluminum or tin foil 0.0005 in. (0.013 mm) to 0.001 in. (0.025 mm) thick, backed by a layer of rubber ¼ in. (6.4 mm) thick and measuring between 40 and 60 durometer hardness as determined with a Shore Type A durometer (ASTM D2240-91).
- (3) Resistance shall be measured by a suitably calibrated ohmmeter that shall have a nominal open circuit output voltage of 500 V dc and a nominal internal resistance of not less than 100,000 ohms, with tolerance defined as follows:
  - (a) Short-circuit current of from 2.5 mA to 5 mA.
  - (b) At any value of connected resistance,  $R_x$ , the terminal voltage,  $V$ , shall be:

$$\frac{R_x}{R_x + \text{internal resistance}} \times 500V \pm 15\%$$

- (4) Measurements shall be made between five or more pairs of points in each room and the results averaged. For compliance with E.6.6.8.2.3 in this annex, the average shall be within the limits specified and no individual measurement value shall be greater than 5 megohms, as measured between two electrodes placed 3 ft (91 cm) apart at any points on the floor. For compliance with E.6.6.8.2.4, the average value shall be no less than 25,000 ohms with no individual measurement's value less than 10,000 ohms as

measured between a ground connection and an electrode placed at any point on the floor, and also as measured between two electrodes placed 3 ft (91 cm) apart at any points on the floor. There is no upper limit of resistance for a measurement between a ground connection and an electrode placed on the conductive floor.

Note that if the resistance changes appreciably with time during a measurement, the value observed after the voltage has been applied for about 5 seconds can be considered to be the measured value.