



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Consideraciones y Recomendaciones para la Seguridad  
contra Riesgos Eléctricos en las Áreas de Atención al  
Paciente en un Hospital**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

PRESENTAN

**Juan Carlos Guzmán Licea  
Atanasio López Vivero  
Miriam Yeanelly Porta Nava**



Director de Tesis

Ing. Francisco Rodríguez Ramírez

México, D.F. Febrero de 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Consideraciones y Recomendaciones  
para la Seguridad contra Riesgos Eléctricos  
en las Áreas de Atención al Paciente en un Hospital

Por Guzmán Licea, Juan Carlos  
López Vivero, Atanasio  
Porta Nava, Miriam Yeanelly

Ing. Francisco Rodríguez Ramírez, Director de tesis

Sinodales:

Ing. Rafael Flores García

Ing. Hugo Alfredo Grajales Román

Ing. Sabino Ortega Monjarás

Ing. Juan Manuel Rojas Gómez

D.R. México, 2008

Agradezco a mis padres Augusto Guzmán Pérez y Rosa Licea Suaste por todo el apoyo que me brindaron para concluir con mis estudios y por todo su esfuerzo para darme una educación de calidad, como lo es la educación que brinda nuestra Universidad Nacional Autónoma de México y en particular la Facultad de Ingeniería.

También agradezco a mi hermano Ricardo Guzmán Licea por su apoyo incondicional y su aliento en cada momento, así como a mi tía Gloria Licea Suaste por ocuparse y creer en mi (se que aún esta conmigo y me apoya desde el cielo).

También mi sincero agradecimiento a los ingenieros Eduardo y Cesar Acosta Castro por abrirme las puertas en CONRABER y brindarme su apoyo para culminar con este trabajo de tesis.

Además hago extenso este agradecimiento a mi amigo el Ing. Ángel Pérez Nieto quien a sido un hermano para mi, al Ing. Francisco Rodríguez Ramírez por su invaluable apoyo, a los profesores que colaboraron para mi formación profesional y a todas las personas con quien pude establecer una relación de amistad en el desarrollo de mis estudios en la Facultad de Ingeniería.

A los ingenieros Rafael Flores, Hugo Grajales, Sabino Ortega, Juan Manuel Rojas por aceptar ser nuestros sinodales y dedicarnos su valioso tiempo.

A mis compañeros de tesis, Miriam y Atanasio por que juntos hicimos esto posible.

Finalmente quiero agradecer muy especialmente a la persona que siempre a creído en mi y me a apoyado desde el fondo de su corazón. Gracias mi princesa.

*Juan Carlos Guzmán Licea*

Agradezco:

A mis papás y hermanos que siempre han estado ahí en las buenas y en las malas, que me han brindado su confianza y cariño que es el mejor aliciente para culminar todas las cosas que nos proponemos.

A mi abuelita que siempre me habla de la importancia de Dios en la vida.

A mis profesores por transmitirme su conocimiento profesional y personal.

Al Ing. Francisco Rodríguez por guiarnos y ayudarnos en el proyecto profesional más importante en nuestra vida.

Al Ing. Saúl Treviño por ayudarnos tanto en la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Raúl Reyes por toda la confianza que ha tenido en mí.

A mis compañeros por culminar juntos un proyecto en equipo.

A todos mis seres queridos y amigos que no pude mencionar, muchas gracias por la confianza, el cariño y el respeto, una parte de este logro les corresponde, gracias de todo corazón :)

*Atanasio López Vivero*

**Dedico este trabajo a las personas que están presentes en mis pensamientos y en mi corazón:**

A Dios, por cuidar siempre de mi.

A mis padres, Celia y Raúl por su cariño, sus cuidados, sus consejos, sus invaluable enseñanzas y por apoyarme en cada decisión que he tomado.

A Luis Alberto Gamba, por ser mi entrañable amigo.

A Carlos, por ser parte importante en mi vida.

**Agradezco muy especialmente a las personas que me han acompañaron en momentos importantes:**

A Atanasio y Juan Carlos, por haber sido parte de este trabajo de tesis.

A Vianney Martínez, por ser mi mejor amiga.

A Jorge Hernández, por ocuparse de mí y aconsejarme.

A Luis Alberto Barroso e Israel Celedonio, por haberme permitido aprender de ellos y dejarme ser parte de SAE.

Al Lic. Rodolfo Aragón, por confiar en mis capacidades y permitirme apoyarlo en NFPA.

Al Ing. Ángel Estévez y su familia por brindarme su apoyo.

Al Ing. Saúl Treviño, por compartir sus conocimientos.

A la C.P. Elvia Mondragón, Lic. Eugenia Rodríguez, Lic. Liliana Rodríguez y el Ing. Darío Fabila, por integrarme a su equipo de trabajo.

Al Ing. Francisco Rodríguez por su desinteresado apoyo y por ser pieza importante en la culminación de este trabajo de tesis.

A los ingenieros Rafael Flores, Hugo Grajales, Sabino Ortega, Juan Manuel Rojas por dedicar parte de su vida a la noble labor de la docencia.

A todos aquellas personas que saben que hemos compartido momentos únicos.

Y por siempre a la Universidad Nacional Autónoma de México, por todo lo que me ha brindado y me sigue brindando.

*Miriam Yeanelly Porta Nava*

# INDICE

<b>Introducción</b>	<b>10</b>
<b>1. Choque Eléctrico</b>	<b>13</b>
1.1 Electrocución	13
1.2 Factores que intervienen en el riesgo de electrocución	14
1.2.1 Voltaje	15
1.2.2 Frecuencia	15
1.2.3 Tipo de corriente	16
1.2.4 Tiempo de contacto	18
1.2.5 Trayectoria de la corriente eléctrica	19
1.2.6 Resistencia eléctrica del cuerpo humano	19
1.3 Macrochoque y microchoque	21
1.4 Lesiones por electrocución	23
1.4.1 Calentamiento del tejido.-Quemaduras eléctricas	23
1.4.2 Estimulación del tejido nervioso y muscular	25
1.4.3 Parálisis respiratoria y asfixia	27
<b>2. Normatividad para los Lugares de Atención de la Salud</b>	<b>28</b>
2.1 Normatividad Nacional	29
2.1.1 NOM-178-SSA-1999: Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios	29
2.1.2 NOM-197-SSA-2000: Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada	30
2.1.3 NOM-001-SEDE-2005: Instalaciones Eléctricas (utilización)	31
2.2 Normatividad extranjera	32
2.2.1 NFPA 70: National Electrical Code	33
2.2.2 NFPA 99: Health Care Facilities	33
<b>3. Lugares de Atención de la Salud</b>	<b>35</b>
3.1 Clasificación de lugares de atención para la salud	35
3.1.1 Áreas de atención limitada	36
3.1.2 Centros Ambulatorios para la atención de la salud	36
3.1.3 Lugares de Atención Enfermerías	37
3.1.4 Hospital	38
3.2 Servicios que se brindan en los lugares de atención para la salud	38
3.2.1 Centros Ambulatorios	39
3.2.2 Hospitales y Consultorios de Especialidad	40
3.4.3 Clasificación de los Consultorios de Especialidad	46
<b>4. Áreas de Atención del Paciente</b>	<b>48</b>
4.1 Áreas de atención general	49

4.2 Áreas de atención crítica	49
4.3 Locales húmedos	50
4.4 Localización de la cama del paciente y Vecindad de un paciente	51
4.4.1 Localización de la cama del paciente	51
4.4.2 Vecindad de un paciente	52
<b>5. Medios de Protección al Paciente</b>	<b>54</b>
5.1 Diferencia entre el Conductor de Puesta a Tierra de los Equipos y el Conductor Puesto a Tierra	54
5.2 Receptáculos y Clavijas	55
5.3 Riesgos eléctricos para el paciente	56
5.3.1 Riesgo por Pérdida del Conductor de Tierra en el Cable de Alimentación	56
5.3.2 Riesgo ocasionado por la Existencia de Diferentes Circuitos de Tierra	59
5.3.3 Riesgo debido a Procedimientos de Cateterización Intravenosa	60
5.3.4 Riesgos relativos a los Marcapasos Externos.	61
5.3.5 Riesgo que pueden ocurrir durante el uso de Camas eléctricas y Cobertores eléctricos	61
5.4 Medios de protección al paciente	62
5.4.1 Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (ICFT)	62
5.4.2 Sistema Eléctrico Aislado No Aterrizado	64
5.4.3 Tablero de Aislamiento	67
5.4.4 Monitor de Aislamiento de Línea	69
5.4.5 Conexión Equipotencial a Tierra.	73
5.5 Caso de análisis.	74
<b>6. Secciones del Artículo 517 de la NOM 001 SEDE 2005 correspondientes a las Áreas de Atención del Paciente en un Hospital.</b>	<b>79</b>
6.1 Breve descripción del contenido de las secciones del 517 que refieren a los medios de protección en las áreas de atención al paciente.	80
6.1 Elección del medio de protección en las áreas de atención del paciente	97
<b>7. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>102</b>
7.1 Conclusiones	102
7.2 Recomendaciones	103
7.2.1 Áreas de atención general	103
7.2.2 Áreas de atención crítica	104
7.2.3 Locales húmedos	106
<b>8. Bibliografía y Mesografía</b>	<b>109</b>
<b>Apéndice A: Potenciales Bioeléctricos</b>	<b>112</b>
A.1 Fenomenología de la membrana celular	112

A.1.1 Teoría 1: Modelo de la bicapa	113
A.1.2 Teoría 2: Modelo de Danielli y Davson	114
A.1.3 Teoría 3: Modelo del mosaico fluido	115
A.2 Canales iónicos	115
A.3 Potenciales de difusión	116
A.4 Potenciales de equilibrio	116
A.5 Potenciales de membrana en reposo y potenciales de acción de la célula	117
A.5.1 Polarización, despolarización y repolarización de la célula	117
A.6 Propagación de los potenciales de acción	120
A.7 Potenciales de acción en células nerviosas y musculares	121
A.7.1 Potencial de acción tipo espiga	122
A.7.2 Potencial de acción tipo meseta	122
A.8 Estímulo umbral y potencial de umbral	123
A.9 Estímulos subumbrales y supraumbrales	123
A.10 Periodo refractario	124
<b>Apéndice B: Fibrilación Cardíaca</b>	<b>127</b>
B.1 El corazón	127
B.2 Actividad eléctrica del corazón	129
B.2.1 Potenciales de acción que dan origen al electrocardiograma	130
B.3 La Cateterización Cardíaca	131
B.4 Fibrilación	133
B.5 Periodo vulnerable del corazón a la fibrilación	134
<b>Apéndice C: Áreas de Servicio de un Hospital</b>	<b>136</b>
C.1 Recepción	136
C.2 Archivo Clínico	136
C.3 Trabajo Social	136
C.4 Consulta Externa	137
C.4.1 Salas de Espera	137
C.4.2 Consultorios de Medicina General	137
C.4.3 Consultorio de Ginecología y Obstetricia	138
C.4.4 Consultorio de Cirugía	138
C.4.5 Consultorio de Gastroenterología	138
C.4.6 Consultorio de Ortopedia-traumatología	138
C.4.7 Consultorio de Neumonología	138
C.4.8 Consultorio de Cardiología	139
C.4.9 Consultorio de Dermatología	139
C.4.10 Consultorio de Alergología	139
C.4.11 Consultorio de Urología	139
C.4.12 Consultorio de Proctología	139
C.4.13 Consultorio Dental	140

<i>C.4.14 Consultorio de Otorrinolaringología</i>	140
<i>C.5 Farmacia</i>	140
<i>C.6 Laboratorios Clínicos</i>	140
<i>C.7 Banco de Sangre</i>	140
<i>C.8 Radiodiagnóstico</i>	141
<i>C.9 Medicina Nuclear</i>	141
<i>C.10 Fisioterapia</i>	141
<i>C.11 Urgencias</i>	141
<i>C.12 Obstetricia</i>	142
<i>C.13 Cirugía</i>	142
<i>C.14 Central de Esterilización y Equipos</i>	143
<i>C.15 Admisión Hospitalaria</i>	143
<i>C.16 Hospitalización</i>	143
<i>C.17 Anatomía Patológica</i>	144
<i>C.18 Cocina General</i>	144
<i>C.19 Lavandería</i>	144
<i>C.20 Vestidores de personal</i>	144
<i>C.21 Locales diversos</i>	145
<i>C.21.1 Almacén</i>	145
<i>C.21.2 Departamento de Mantenimiento</i>	145
<i>C.22 Oficinas de Gobierno</i>	146
<i>C.23 Enseñanza</i>	146
<i>C.24 Habitaciones de Médicos</i>	146

## Introducción

Se le llama “hospital” al establecimiento público, social o privado, cualquiera que sea su denominación, que tenga como finalidad la atención a enfermos que se internen para fines de diagnóstico, tratamiento o rehabilitación.

Un hospital moderno también se puede definir como un servicio industrial muy especializado donde hay equipos, empleados de la salud y pacientes, además, es un lugar donde existen peligros que pueden amenazar la vida de las personas que trabajan, visitan o se atienden en el hospital. Estos peligros se dan en parte por el uso de equipo electromédico utilizado en el tratamiento y diagnóstico de los pacientes. Las instalaciones eléctricas, movimientos mecánicos y otros dispositivos eléctricos relacionados con los equipos médicos proporcionan un riesgo adicional para el personal, sin olvidar la exposición a pacientes infecciosos o a compuestos químicos.

Dentro de los peligros más comunes en un hospital se encuentran los riesgos eléctricos que son originados por la acción de la corriente eléctrica. El riesgo eléctrico más común es la electrocución, el cual existe en el hogar, la industria y en el hospital. El peligro potencialmente letal al que están los pacientes expuestos y que es único en el ambiente hospitalario es el llamado microchoque.

Un microchoque es producido cuando una pequeña corriente eléctrica (de la magnitud de microamperes) es aplicada directamente en el corazón. Esta corriente puede producir fibrilación ventricular, y como consecuencia causar la muerte o daños cerebrales irreversibles en el paciente si no se corrige rápidamente. Este riesgo ocurre en específico en áreas donde se llevan a cabo procedimientos muy especiales donde se tiene la necesidad de conectar equipo electromédico al paciente como son durante las cirugías o en las áreas de cuidados intensivos.

Cabe mencionar que la seguridad absoluta contra riesgos eléctricos no existe, sin embargo es necesario tratar de minimizar sus efectos, corrigiendo las

causas generadoras de las fallas. Las principales causas de los accidentes eléctricos se pueden asociar al equipo (fallas internas o mal uso) y a las instalaciones eléctricas (causadas por deficiencias en los requerimientos técnicos de estas).

Para resolver los problemas de inseguridad eléctrica asociados con los equipos electromédicos y las instalaciones eléctricas, se han creado documentos técnicos y normas nacionales y extranjeras que contienen las especificaciones que pretenden reducir los riesgos eléctricos a los cuales se encuentra expuesto el paciente.

Dado que el ambiente hospitalario es un problema único a nivel instalación eléctrica, esta debe ser diseñada tomando en cuenta el tipo de servicio que habrá, el equipo a instalarse, los procedimientos que se practicarán, así como la normalización vigente que para el caso de las instalaciones eléctricas aplica la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones eléctricas (utilización).

En términos de salud se tienen varias Normas Oficiales Mexicanas pero para términos de equipamiento e infraestructura en establecimientos para la atención médica existe la Norma Oficial Mexicana NOM-178-SSA1-1998 “Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios” y la Norma Oficial Mexicana NOM-197-SSA1-2000 “Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada”. En general, estas normas plantean soluciones en el nivel más elemental de establecimientos de atención médica en cuanto a la adecuada integración de la infraestructura y el equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios, hospitales y consultorios de atención médica especializada.

Otros documentos que hacen referencia a las normas oficiales mexicanas y que involucran lugares de atención de la salud, como son los hospitales son la NFPA 99 “Health Care Facilities” y NFPA 70 “National Electrical Code” que nos dan importantes disposiciones que deben de cumplir este tipo de lugares.

Es necesario conocer los niveles de riesgo eléctrico en áreas de atención del paciente para saber el medio de protección eléctrico que debe utilizarse para disminuir el riesgo. Conociendo lo anterior, se pueden establecer las especificaciones técnicas (a nivel instalación eléctrica) y dispositivos de protección más convenientes y que estén encaminadas a controlar la existencia de aquellas corrientes que puedan causar choques eléctricos.

Si se tiene el conocimiento de los riesgos eléctricos, del lugar de atención del que se trata, el tipo de área de atención y la normatividad aplicable, hará que la vida de los pacientes se encuentren a salvo de riesgos que son ajenos a sus padecimientos de salud, y que los hace estar dentro de los lugares de atención de la salud.

# 1. Choque Eléctrico

Para ubicar en una perspectiva adecuada la seguridad eléctrica de un hospital, es importante comprender que las formas de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación han sufrido cambios radicales en los últimos tiempos.

Un hospital requiere de especificaciones eléctricas especiales debido al tipo de equipos que contiene y a los procedimientos que en él se practican. El diagnóstico de cateterización cardíaca y marcapaso en la actualidad es muy común; además que no es raro que los pacientes en las salas de operación y unidades de cuidados intensivos se vean rodeados de aparatos electromédicos. Esto trae como consecuencia que se presenten problemas de seguridad eléctrica particulares y únicos si se le compara con el ambiente industrial.

Cabe mencionar que accidente eléctrico se puede originar por fallas técnicas pero en ocasiones también por la excesiva confianza, el descuido, la ignorancia, la imprudencia y la falta de prevención en el manejo o uso de la energía eléctrica.

Un prominente cirujano norteamericano estimó que anualmente existían 1200 electrocuciones de pacientes en hospitales de su país que no son detectadas. En consecuencia, surgió un debate profesional con respecto a las disposiciones de seguridad eléctrica que debían considerarse, ya que los 1200 norteamericanos fueron electrocutados durante procedimientos de diagnóstico y tratamiento. Esta cifra no fue y no puede ser documentada, ya que una autopsia no puede revelar ninguna evidencia patológica de electrocución.

## 1.1 Electrocutación

La electrocución consiste en la posibilidad de circulación de una corriente eléctrica a través del cuerpo humano y surge cuando éste entra a formar parte de un circuito eléctrico cerrado, donde exista una diferencia de potencial.

El efecto fisiológico de la electrocución se denomina choque eléctrico y depende de la densidad de la corriente para causar diferentes tipos de lesiones.

La corriente eléctrica puede afectar a los tejidos vivos fundamentalmente de dos maneras diferentes:

- Por calentamiento resistivo del tejido (quemadura).
- Por estimulación nerviosa y muscular.

Los lugares de atención para la salud como cualquier industria que utiliza energía eléctrica, están sometidos a la posibilidad del riesgo de la electrocución. El paciente hospitalizado o el ambulatorio es mucho más vulnerable al riesgo de electrocución debido a que se encuentra disminuido físicamente, normalmente hay mayor aumento de la transpiración, se encuentra anestesiado, existen electrodos sobre su piel y catéteres dentro del cuerpo, hay una gran variedad de aparatos electromédicos a su alrededor o conectados a él.

### **1.2 Factores que intervienen en el riesgo de electrocución**

Los efectos del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano pueden varían de persona a persona, ya que existen factores que intervienen en la electrocución. Estos factores son los siguientes:

- Voltaje.
- Intensidad de corriente.
- Tipo de corriente.
- Frecuencia.
- Tiempo de contacto.
- Trayectoria de la corriente eléctrica.
- Resistencia eléctrica del cuerpo humano.

### **1.2.1 Voltaje**

Por mucho tiempo se supuso que el voltaje era la responsable de los efectos que la energía eléctrica causaba en el cuerpo humano. Se pensaba que el bajo voltaje no podía implicar ningún riesgo para la persona, pero al ocurrir accidentes en instalaciones de bajo voltaje y la salvación de algunos accidentados en instalaciones de alto voltaje, fue que se despertó el interés de investigar cual era la causa real de éstos efectos. De ésta forma se logra determinar que el causante de los problemas era el paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano.

### **1.2.2 Frecuencia**

Las altas frecuencias son menos peligrosas que las bajas, a medida que la frecuencia aumenta, disminuye el riesgo de choque eléctrico, llegando a ser prácticamente inofensivas para valores superiores a 100 KHz produciendo sólo efectos de calentamiento sin ninguna influencia nerviosa, mientras que para 10 kHz la peligrosidad es similar a la corriente continua, provocándose calentamiento de los tejidos por donde pasa la corriente.

Los humanos son muy vulnerables a los efectos de corriente eléctrica en las frecuencias de 10 Hertz a 1 kHz, debido a la susceptibilidad del corazón, desafortunadamente, la frecuencia de línea de 60 Hertz se encuentra dentro de este intervalo de máxima susceptibilidad.

En la Figura 1.1. podemos observar la relación que existe entre el efecto de la corriente y su frecuencia. Esta curva fue elaborada por Dalziel de manera experimental donde las personas fueron sometidas a los valores de frecuencia y corriente mostradas en la gráfica:

- *Curva 1:* es el límite de los valores de corriente que no dan lugar normalmente a ninguna reacción,
- *Curva 2:* representa el umbral de percepción para el 50% de las personas examinadas, el porcentaje restante no percibió nada.

- *Curva 3*: es el umbral de percepción para el 99.5% de las personas examinadas, el 0.5% no percibió nada.
- *Curva 4*: es la corriente limite en donde el 99.5% de las personas pueden soltarse del electrodo y el resto no.
- *Curva 5*: el 50% de las personas pueden soltar el electrodo y el resto no.
- *Curva 6*: el 99.5% no puede soltar el electrodo.

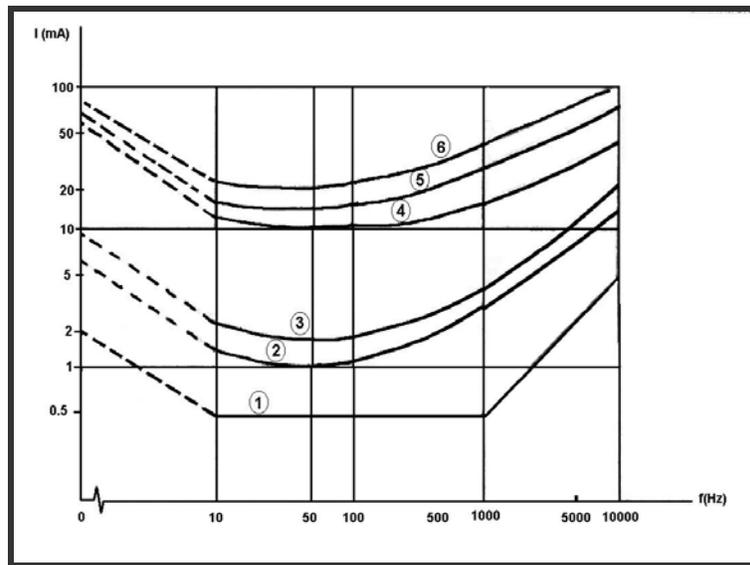


Figura 1.1. Relación entre el efecto de la corriente y su frecuencia

Sin embargo estos valores corresponden a individuos adultos, sanos, con capacidad de reacción normal a los estímulos exteriores y medidos con la corriente aplicada en sus extremidades.

Los valores para este factor como para todos los demás que mencionaremos, cambia notablemente para los pacientes, ya que se encuentran disminuidos físicamente por encontrarse anestesiados, bajo el efecto de algún medicamento, con un catéter, etc.

### 1.2.3 Tipo de corriente

Como se mencionó con anterioridad, en un choque eléctrico, es la intensidad de la corriente eléctrica y no el voltaje lo que produce el daño por lesiones a su paso.

La corriente continua, en general, no es tan peligrosa como la alterna, ya que el umbral de fibrilación ventricular es mucho más elevado que en corriente alterna.

La corriente alterna representa el peligro eléctrico más común, ya que los sistemas de generación, transmisión y distribución en su mayoría son de este tipo, además de existir muchos equipos que funcionan con este tipo de corriente

La corriente alterna de baja frecuencia produce sobre todo contracción muscular por estimulación nerviosa, si la amplitud de la corriente aumenta puede acarrear asfixia, quemaduras y un ritmo desordenado del corazón (fibrilación).

Investigaciones llevadas a cabo por Dalziel y otros, llevaron a determinar que el valor de la Intensidad, para la cual se podía presentar fibrilación ventricular respondía a la ecuación  $I = K / \sqrt{T}$

Siendo K, una constante que dependía del peso del cuerpo, T el tiempo de paso de corriente expresado en segundos. El desarrollo experimental de esta función dio lugar a la obtención de diversos valores para hombres y mujeres, para corrientes alternas y continuas, y para frecuencias industriales y altas frecuencias. La tabla 1.1 resume los valores obtenidos por Dalziel y se refieren a un contacto con la corriente de manera externa sobre el cuerpo humano.

INTENSIDAD (mA)				EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO
c.c.		c.a. (60Hz)		
HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	
1	0.6	0.4	0.3	Ninguna sensación
5.2	3.5	1.1	0.7	Umbral de percepción
76	51	16	10.5	Umbral de intensidad límite
90	60	23	15	Choque doloroso y grave (contracción muscular y dificultad respiratoria)
200	170	50	35	Principio de fibrilación ventricular
500	500	100	100	Fibrilación ventricular posible en choques cortos: Duración 3 segundos

Tabla 1.1. Efectos sobre el organismo.

### 1.2.4 Tiempo de contacto

En general, mientras más dure la intensidad de corriente circulando a través del cuerpo, más graves serán las lesiones, por lo cual es uno de los factores que más inciden en los efectos y lesiones ocasionados en el accidente eléctrico. Es tal la importancia del tiempo de contacto que no se puede hablar del factor intensidad sin referenciar el tiempo de contacto, ya que una intensidad de corriente menor aplicada por un tiempo prolongado puede ocasionar daños severos.

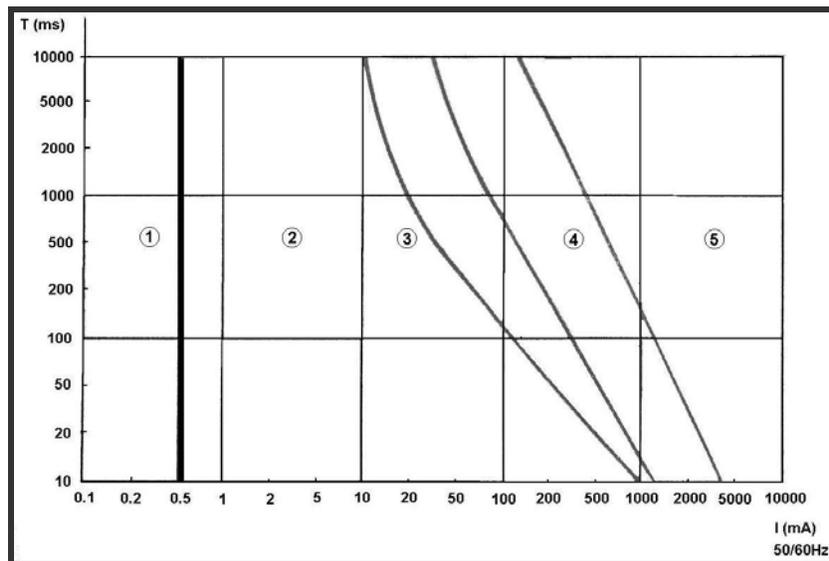


Figura 1.2: Relación entre el efecto de una corriente y el tiempo que está aplicada.

Con relación a los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano Dalziel obtuvo la gráfica que se ilustra en la figura 1.2; la cual corresponde al paso de una corriente eléctrica entre 50 y 60 Hz a través de las extremidades del cuerpo humano, con un peso superior a los 50kg.

En dicha gráfica se marcan estas zona:

- **Zona 1:** No aparece ninguna reacción. Está limitado superiormente por 0.5 mA y es independiente del tiempo de actuación.
- **Zona 2:** La corriente es percibida, produciendo cosquilleo e incluso dolor, pudiendo el paciente soltarse del electrodo. Esta zona es función del tiempo de aplicación, a partir de los 10 mA y puede llegar a los 900 mA sin

salirse de este riesgo si el límite del tiempo de aplicación de la corriente a 10 ms. Es de notar que ya a partir de esta zona el paciente empieza a tener dificultades o no puede separarse de los electrodos.

- *Zona 3:* No presenta habitualmente ningún riesgo de fibrilación ventricular. Sus límites superiores van de 1.25 A durante 10 ms a unos 10 mA durante 10s.
- *Zona 4:* Existe riesgo de fibrilación ventricular. Sus límites superiores van de más de 3 A durante 10ms a 45 mA durante 10 s.
- *Zona 5:* Es probable la aparición de fibrilación ventricular.

### **1.2.5 Trayectoria de la corriente eléctrica**

Otro factor que va a definir la gravedad de las lesiones es el recorrido que haga la corriente eléctrica a través del cuerpo humano. La impredecible dirección que la corriente tomará a través del cuerpo hace difícil predecir el daño que un accidente eléctrico puede causar. Generalmente la corriente ingresa al cuerpo a través de la piel. En tanto la humedad y la piel transpirada presenten una resistencia baja, la piel seca presenta una más alta. Al disminuir la resistencia de la piel la corriente ingresará de una manera más sencilla. Si la corriente llegase a atravesar la piel, buscaría el paso de menor resistencia pudiendo ser este los nervios, venas, arterias o músculos debido a su contenido conductor.

### **1.2.6 Resistencia eléctrica del cuerpo humano**

La resistencia eléctrica del cuerpo es difícil de determinar, ya que la resistencia del cuerpo depende de factores como la constitución física del individuo, su estado de salud, su estado emocional, humedad y condiciones de la piel. La piel es el elemento esencial para ofrecer resistencia al paso de la corriente a través del cuerpo humano. La resistencia de la piel se encuentra notablemente disminuida en individuos enfermos, sobre todo si tienen lesiones en la piel, además, los pacientes al estar acostados e inmóviles presentan un aumento en la transpiración, lo que provoca la disminución en los valores de la resistencia.

<b>Resistencia de la piel [kΩ]</b>	<b>Área de contacto y condición</b>
200	Yema callosa y seca de un dedo
15	Yema callosa y seca de un dedo tocando un conductor húmedo
8	Dedos de una mano seca
5	Pies húmedos
1.6	Mano seca fuertemente empuñada
1	Mano húmeda o electrodo

Tabla 1.2: Valores de resistencia aproximados como una función de la condición y área de contacto de la piel

En términos generales los tejidos que ofrecen la más alta resistencia al flujo eléctrico son los huesos, los tendones y el tejido graso, los tejidos que ofrecen la menor resistencia al flujo de corriente eléctrica son los nervios, la sangre, los músculos y las membranas mucosas, por último el tejido que ofrece un nivel medio de resistencia es la piel seca. Ahora bien, si se usa una abertura natural, o si se corta la piel y se realiza algún procedimiento médico invasivo, como por ejemplo por el uso de equipo urológico, equipo laparoscópico, o catéteres intracardiacos, la resistencia de la piel queda totalmente eliminada y los pacientes se ven privados de la protección natural contra los peligros eléctricos que normalmente ofrece la piel.

Todos los factores anteriores pueden hacer que la percepción o el efecto a la corriente eléctrica sea variable, por esta razón se tienen valores estadísticos y curvas que muestran de manera resumida y en general los efectos fisiológicos más importantes que son provocados por la corriente eléctrica. Como veremos adelante, la aplicación de una corriente eléctrica a un tejido biológico puede tener dos efectos principales que son el calentamiento resistivo del tejido y la estimulación del tejido nervioso y muscular. El daño provocado dependerá de los factores anteriormente descritos

### 1.3 Macrochoque y microchoque

Cuando se aplica una corriente en forma externa como se muestra en la figura 1.3 sólo una pequeña porción de la corriente total aplicada pasa por el corazón. Cualquier choque recibido cuando cualquiera de los puntos de contacto se conecta directamente con el corazón se denomina *macrochoque*. Para que esto ocurra tiene que existir una fuente generadora de corriente, por ejemplo un equipo electromédico con fugas ( pérdida de aislamiento ) y dos puntos de contacto sobre la superficie del cuerpo humano. La corriente eléctrica para hacer fibrilar el corazón se ha establecido en 100 mA.

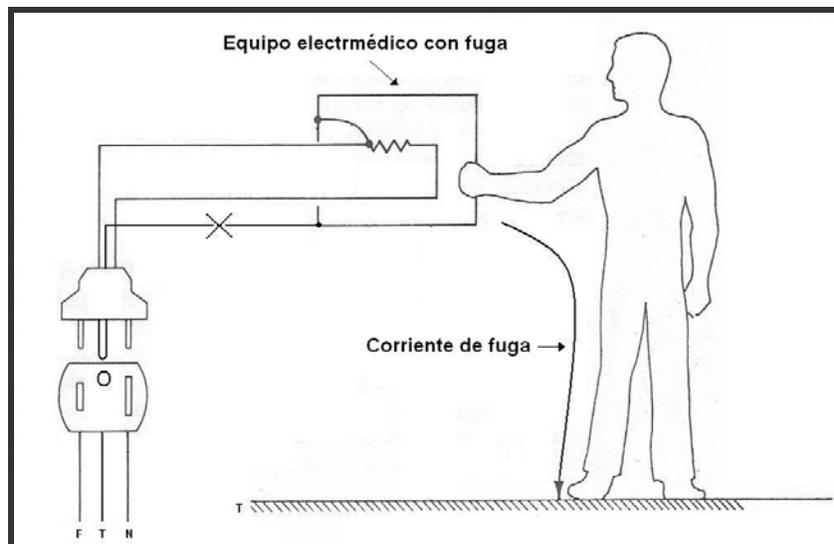


Figura 1.3: Corriente en forma externa origina un macro choque

Sin embargo, si un instrumento conductor se coloca en el corazón o cerca de éste, se pierden dos formas de protección natural. Primero, la corriente deja de distribuirse a todo el cuerpo para concentrarse en el corazón. Segundo, la resistencia protectora de la piel es evadida. Cuando una densidad de corriente más elevada atraviesa el corazón y la resistencia de la piel es evadida, se requiere de un voltaje considerablemente menor para producir fibrilación cardíaca. Los Para situaciones de microchoque el valor para que el corazón entre en fibrilación es de  $10\mu\text{A}$ . Figura 1.4.

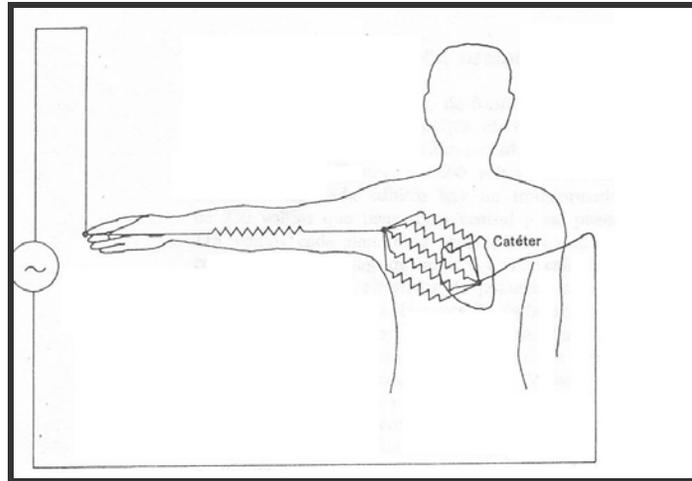


Figura 1.4: Cateterización intracardiaca

Dentro de los procedimientos clínicos en los que un paciente es eléctricamente susceptible para el microchoque se encuentran las siguientes condiciones:

1. La inserción de un electrodo de catéter de marcapaso proveniente de un marcapaso externo.
2. El uso de un catéter lleno de líquido para medir la presión sanguínea dentro de las cámaras del corazón, para separación de muestras sanguíneas o para la inyección de sustancias en el corazón, tales como tinturas para una angiografía.
3. La inserción de un electrodo en una de las cámaras cardiacas para mediciones intracardiacas de ECG.

Los pacientes sujetos a estas condiciones son fáciles de identificar y representan sólo un pequeño porcentaje de la población de pacientes de un hospital. Además, estos pacientes por lo general son confinados a áreas especializadas tales como las unidades de cuidados intensivos o coronarios, o a laboratorios de cateterización.

Considerando las definiciones de marcochoque y microchoque, podemos decir que un choque eléctrico puede causar desde sensaciones de cosquilleo hasta

desagradables estímulos dolorosos que pueden resultar en la pérdida del control muscular, quemaduras, fibrilación o bien puede incluso ocurrir hasta la muerte. Tanto los resultados del paso de la corriente por el cuerpo humano, como los valores de macrochoque y microchoque que llevan a fibrilar el corazón se han obtenido a partir de numerosos experimentos con animales e incluso con personas.

#### **1.4 Lesiones por electrocución**

El estudio de los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano tiene dos aspectos distintos pero en estrecha relación, estos son el físico y el fisiológico. La manera más simple de diferenciarlos es por la forma en que dañan. Los daños físicos se dan por el calentamiento del tejido y el daño fisiológico es un cambio funcional ocasionado debido a la susceptibilidad del cuerpo humano.

Los daños físicos son básicamente quemaduras internas y externas, los daños fisiológicos son alteraciones funcionales momentáneas o permanentes como sensaciones desagradables de hormigueo, contracción muscular, fibrilación ventricular, asfixia (paro respiratorio) y tetanización muscular.

##### ***1.4.1 Calentamiento del tejido.-Quemaduras eléctricas***

Las quemaduras, en general, se definen como la lesión de los tejidos producida por contacto térmico, químico, físico o eléctrico, que ocasiona destrucción celular, edema (inflamación) y pérdida de líquidos por destrucción de los vasos sanguíneos. Las quemaduras pueden generar desde problemas médicos leves hasta los que ponen en riesgo la vida, según la extensión y profundidad.

Las quemaduras eléctricas causan daño físico por calentamiento en el tejido al transformarse la energía eléctrica en calor. El calor generado en el tejido puede causar un cambio en la resistencia al perder humedad, dando lugar a alteraciones en la permeabilidad de la membrana, variando la composición química de la estructura íntima de los tejidos y causando un desequilibrio en las concentraciones

intra y extra celulares, además, cuando la temperatura de este se incrementa, la resistencia también lo hace, y como sabemos, cuanto mayor sea esta resistencia, mayor calor se genera agudizando el peligro por quemadura.

Por lo general la corriente ingresa al cuerpo a través de la piel, una vez atravesada buscara el paso de menor resistencia para continuar su camino. Este camino generalmente es el sistema nervioso (diseñado para transportar electricidad), venas y arterias (repletas de solución salina conductiva) y tejido muscular. Muchos órganos internos presentan una resistencia relativamente alta como los huesos y, por lo tanto, una corriente menor suele pasar a través de ellas. Pero todos los tejidos están compuestos por sangre y contienen células nerviosas, de modo que ningún tejido se encuentra completamente a salvo de daño. Los caminos que la corriente tome por baja resistencia, puede provocar que la corriente se desplace de un tejido seriamente quemado a un tejido más conductivo (vivo) permitiendo consiguientemente que el daño se esparza.

Las quemaduras de origen eléctrico que con frecuencia pueden producirse dentro de un hospital es debido a las técnicas de electrocirugía o electrocauterización. Estas no están limitadas al quirófano, pero es en esta área donde se utilizan con mayor frecuencia. En este proceso, se envía una descarga eléctrica de alta frecuencia entre el bisturí del cirujano, que actúa como un electrodo, y el tejido del paciente. La corriente regresara a la consola por medio de una placa que se coloca bajo el paciente, ubicando el electrodo de retorno lo más cerca posible del campo de operación y haciendo que la resistencia de contacto del mismo sea lo más baja posible. Esto se consigue mediante un área de contacto grande y ubicando la plancha en una zona del cuerpo con buena irrigación y carnosas, lo cual favorecerá la adaptación de las formas entre la superficie de la plancha y el cuerpo. El sitio elegido suele ser un glúteo, con la ventaja adicional que el peso del paciente descargado a través de él, proporciona una considerable presión, la cual favorece aún más dicho contacto.

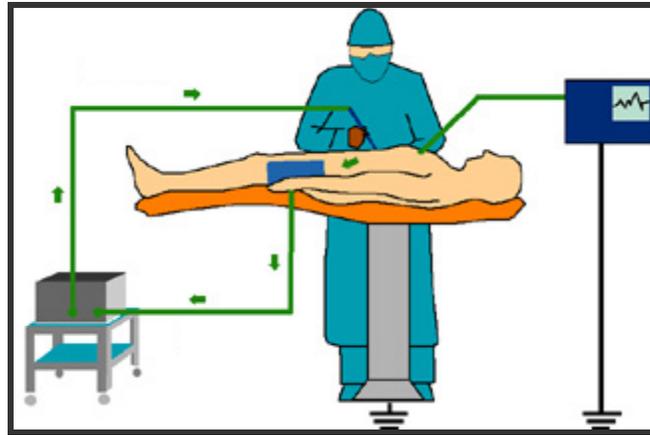


Figura 1.5. Electrocirugía

En la figura 1.6 podemos apreciar como se genera una alta densidad de corriente con el máximo efecto en la punta del bisturí, mientras ésta es baja en la placa cuando la superficie de contacto es amplia. Si, por cualquier circunstancia, la placa se desplazara, presentando una pequeña superficie de contacto, la corriente, a su salida y en el punto de contacto, producirá una quemadura, cuya importancia dependerá del tiempo y de la magnitud de la corriente.

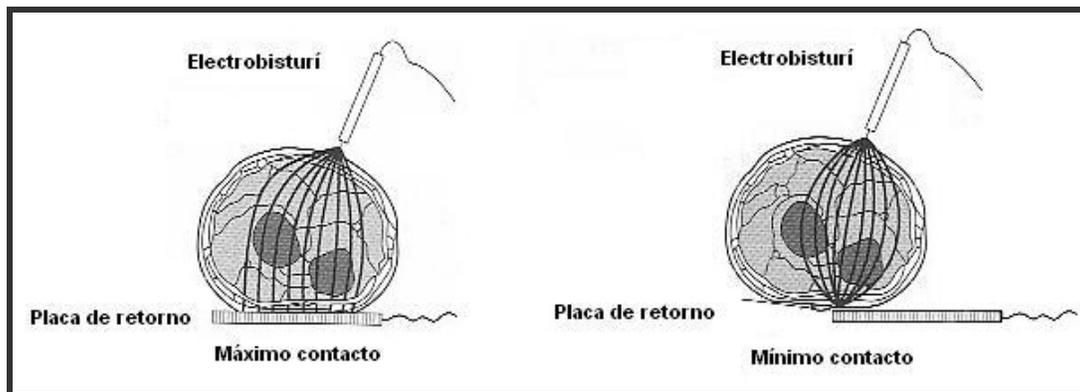


Figura 1.6: Trayectoria de la corriente de alta frecuencia del electrobisturí, de acuerdo con la posición de la placa.

#### 1.4.2 Estimulación del tejido nervioso y muscular

Una corriente eléctrica extraña de suficiente magnitud puede ocasionar diferencias de tensión locales pudiéndose generar potenciales de acción y estimulación de nervios (para más detalles sobre los potenciales refiérase al Apéndice A). Cuando se estimulan nervios sensitivos de esta forma, la corriente eléctrica produce una

sensación de hormigueo o escozor, que si alcanza intensidad suficiente puede llegar a ser molesta e incluso dolorosa.

El alcance del estímulo en un nervio o músculo determinado depende de la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de sus células y de la densidad de corriente que circule por el tejido. Una corriente que atraviese el organismo puede ser peligrosa o fatal si se crean densidades de corrientes locales en órganos vitales que sean suficientes para interferir con su funcionamiento (refiérase al Apéndice B)

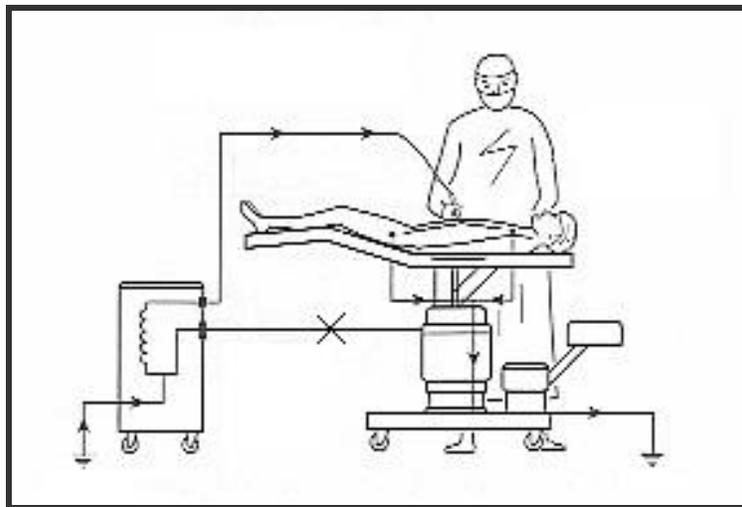


Figura 1.7: La corriente de alta frecuencia del electrobisturí, fluye en diferentes direcciones a través del cuerpo cuando el conductor de la placa de retorno esta averiado.

También frecuentemente, en lugares con climas muy secos, se puede observar que por fricción las personas se cargan eléctricamente, y los efectos variados que resultan de la carga estática constituye un riesgo ya que esto puede provocar una mala práctica médica, si se produce un movimiento involuntario por parte del medico o el paciente durante la cirugía.

Cabe mencionar que anteriormente la electricidad estática también presentaba el permanente peligro de ignición y explosión en locales donde se administraban gases anestésicos, pero este problema se ha resuelto controlando la humedad relativa entre otras formas.

### **1.4.3 Parálisis respiratoria y asfixia**

Un solo potencial de acción causa una breve contracción seguida de relajación; esta respuesta se denomina sacudida muscular. Con la estimulación rápidamente repetida, la activación del mecanismo contráctil ocurre iterativamente antes de que aparezca relajación alguna y las respuestas individuales se fusionan en una contracción antigua llamada tétanos o contracción tetánica, pudiéndose ser un tétanos completo cuando no hay relajación entre los estímulos y un tétanos incompleto cuando hay periodos de relajación incompleta entre los intervalos de estimulación. Durante un tétanos completo, la tensión desarrollada es aproximadamente cuatro veces mayor que las contracciones de sacudida individual.

El fenómeno de tetanización se presenta con mayor intensidad en las masas musculares más voluminosas y dentro de estas están los músculos del pecho o de la espalda, pectorales y gran dorsal entre otras, responsables en gran medida de los movimientos respiratorios, de modo que al presentarse la tetanización de ellos, se produce la paralización respiratoria y si esta es prolongada, la asfixia.

La paralización respiratoria puede presentarse además por desórdenes en los centros nerviosos que controlan los movimientos respiratorios al ser afectados por la corriente eléctrica. Estos efectos normalmente cesan al dejar de circular la corriente, siempre que no se haya producido una lesión permanente en dichos centros nerviosos.

## **2. Normatividad para los Lugares de Atención de la Salud**

En México en la época prehispánica, las civilizaciones ya contaban con lugares para la atención de la salud destinadas a los guerreros, ancianos y enfermos. En tiempo de la Colonia los hospitales eran centros a cargo de instituciones religiosas, que tenían la misión de recibir a enfermos para ayudarlos a "bien morir" ya que acudían aquellos que padecían enfermedades que para esa época no tenían cura. Con el paso del tiempo los hospitales hacían las veces de hogares u hospicios para viajeros y huérfanos en donde se les proporcionaba atención médica y alimento, naciendo así el concepto de caridad, para posteriormente surgir el término de beneficencia, y a través de ella al consolidarse la República en México sirve para la construcción hospitalaria que en 1905 da origen a la fundación del Hospital General.

Al igual que los lugares de atención de la salud, las instalaciones eléctricas fueron evolucionando. Muchos años atrás ocurrían explosiones, al instalar materiales y equipos no adecuados para los diferentes medios y ambientes de trabajo. Por lo anterior hizo ver la necesidad de reglamentar desde la fabricación de materiales, equipos, protecciones, controles, etc., hasta donde y como emplearlos en cada caso.

Lo anterior dio como resultado la elaboración códigos o reglamentos particulares en cada país. La aceptación y correcta aplicación en todos los casos, asegura salvaguardar la vida y los bienes, pues se está evitando al máximo los riesgos que representa el uso de la electricidad bajo todas sus manifestaciones.

Como se ha mencionado con anterioridad para los pacientes uno de los riesgos al que está expuesto por el uso de la electricidad es el de choque eléctrico, por ello debe procurarse brindar la seguridad y protección eléctrica al paciente para que no ocurra un choque de este tipo y que puede traerle letales consecuencias.

## 2.1 Normatividad Nacional

En México en materia de normatividad referida a los lugares de atención de la salud, encontramos normas expedidas por la Secretaría de Salud y la Secretaría de Energía.



Figura 2.1: Logotipos de la Secretaría de Salud y la Secretaría de Energía respectivamente

**2.1.1 NOM-178-SSA-1999:** *Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios*

Dentro de las normas que emite la Secretaría de Salud encontramos dos normas que se relacionan altamente con el tipo de instalaciones que deben estar contenidas en los lugares de atención de la salud.

La primera, la Norma Oficial Mexicana NOM-178-SSA-1999, establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento con que deben cumplir las Unidades de Atención Médica que proporcionen servicios de promoción, prevención, diagnóstico, terapéuticos y de rehabilitación, incluyendo la atención de urgencias, curaciones y en su caso, partos a pacientes ambulatorios; entendiéndose a estos como todos aquellos usuarios de atención médica que no necesiten hospitalización.

Esta NOM no solo establece los requisitos mínimos que deben poseer las instalaciones de tipo eléctrico, sino también de gases medicinales, agua, drenaje, aire y facilidades arquitectónicas; además señala el mínimo de equipamiento en cuanto a mobiliario y equipos que deben cumplir con el proyecto arquitectónico, el cual parte previamente del programa arquitectónico que a su vez se origina de el

programa médico. Todo esto con el único propósito de facilitar la prestación de los servicios de atención médica.

Por lo tanto esta norma en el aspecto de seguridad eléctrica contra choque eléctrico no profundiza y únicamente se remite a dar especificaciones mínimas que se deben cumplir para proporcionar instalaciones adecuadas para poder proporcionar los servicios para los que esta definido el lugar y es aplicable a todos los establecimientos de atención médica, ligados a otro servicio o independientes, que presten servicios a pacientes ambulatorios de los sectores público, social y privado en la República Mexicana.

Cabe señalar que esta norma no concuerda con ninguna norma mexicana pero concuerda parcialmente con las siguientes normas internacionales que tienen que ver con lugares de atención de la salud: NFPA 70 National Electrical Code 1996 (NEC) y NFPA 99 Standard for Health Care Facilities 1996.

**2.1.2 NOM-197-SSA-2000:** *Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada*

La Norma Oficial Mexicana NOM-197-SSA-2000, es la segunda norma por parte de la Secretaría de Salud. Esta norma establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada, para garantizar la prestación de servicios para promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la salud, independientemente del subsector de salud al que pertenezcan, ya sea público, social o privado.

Al igual que la anterior norma de SSA, esta NOM establece el mínimo de equipos necesarios para cumplir la prestación de servicios que ofrece, así como los requisitos mínimos que deben poseer las instalaciones de tipo eléctrico, de gas, agua y facilidades arquitectónicas dentro de los hospitales que realicen

internamiento de pacientes, ejecución de los procesos de diagnóstico, tratamiento médico o quirúrgico, o rehabilitación y para los consultorios que presten atención médica especializada.

De la misma manera que la anterior norma de SSA deja fuera lo relacionado con prevención contra choque eléctrico, pero no deja de mencionar dentro de sus párrafos a las normas extranjeras NFPA 99 y NFPA 70, y manera importante a la NOM 001 SEDE.

### **2.1.3 NOM-001-SEDE-2005: Instalaciones Eléctricas (utilización)**

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), emitida por la Secretaría de Energía tiene por objetivo establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra: los choques eléctricos, los efectos térmicos, sobrecorrientes, las corrientes de falla y sobretensiones.

Dentro de las protecciones que esta norma busca brindar a las personas se encuentra el choque eléctrico, el cual es un riesgo en que se enfoca este trabajo debido a que es un riesgo latente en los pacientes de los lugares de atención de la salud.

En su campo de aplicación esta NOM comprende las instalaciones eléctricas en las clínicas y hospitales. Y es en el título 4, capítulo 5, artículo 517 “Instalaciones en lugares de atención de la salud”, en el que se establecen los criterios para la construcción e instalaciones eléctricas en las áreas de atención de la salud.

Debido a las características mencionadas es esta NOM, de las mencionadas anteriormente es la que nos proporciona mayor información sobre los requisitos que deben cumplir las instalaciones eléctricas en los lugares de atención de la salud para poder proveer seguridad y protección eléctrica.

Cabe aclarar que esta NOM nos dice claramente que las disposiciones establecidas en las especificaciones no deben considerarse como guía de diseño de instalaciones ni como un manual de instrucciones para personas no-calificadas, definiendo por la misma norma a una persona calificada como aquella persona física cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, cálculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica han sido comprobados en términos de la legislación vigente o por medio de un procedimiento de evaluación de la conformidad bajo la responsabilidad del usuario o propietario de las instalaciones.

Se considera que para hacer un uso apropiado de esta NOM, es necesario recibir entrenamiento y tener experiencia suficiente en el manejo de las instalaciones eléctricas.

## 2.2 Normatividad extranjera

Los códigos y las normas extranjeras que se mencionan dentro de la bibliografía y las normas de concordancia en las NOM antes mencionadas, y que están relacionadas directamente con los lugares de atención de la salud son de la autoría de la National Fire Protection Association (NFPA).

La NFPA, fundada en 1896 es una organización internacional, sin fines de lucro, integrada por miembros voluntarios. Los códigos y normas de la NFPA han ayudado a salvar vidas y a proteger propiedades alrededor del mundo. Cabe mencionar que muchos de los códigos NFPA son utilizados ya sea por adopción o por referencia en otros países y en proyectos de gran renombre en el ámbito mundial.



Figura 2.2: Logotipo de la National Fire Protection Association

Estos códigos, como tales, no son de obligado cumplimiento en nuestro país, pero aportaron información para poder desarrollar las norma que hoy día tenemos en materia de instalaciones eléctricas y por ello son mencionadas dentro de las NOM antes mencionadas.

### **2.2.1 NFPA 70: National Electrical Code**

La National Fire Protection Association ha actuado como promotor de la NFPA 70 “National Electrical Code” desde 1911. El documento del Código original se desarrolló en 1897 como resultado de los esfuerzos unidos de diferentes sectores de seguros, electricidad, arquitectura e intereses vinculados.

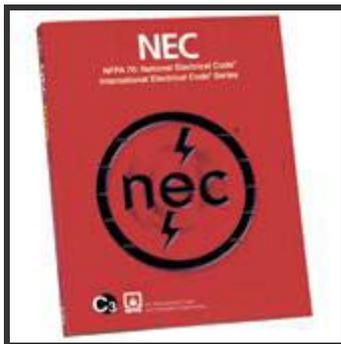


Figura 2.3: National Electrical Code (NEC)

Las reglas de seguridad eléctrica del Código han sido desarrolladas para proteger tanto a las personas como a las propiedades, contra los riesgos que surgen del uso de la electricidad.

El NEC y la NOM-001-SEDE-2005 tienen en estructura y contenido gran similitud y ambos contienen el artículo 517 el cual aborda puntos de suma importancia en las instalaciones eléctricas en lugares de atención de la salud.

### **2.2.2 NFPA 99: Health Care Facilities**

Este reglamento publicado por la NFPA, está incluido como una referencia en el Código Nacional Eléctrico, para el artículo 517. La NFPA 99 contiene los criterios

para salvaguardar a los pacientes y personal dentro de los lugares de atención de la salud:

- a) Del fuego, explosión, riesgos eléctricos y lo relacionado que con el resultado del uso de agentes anestésicos, equipo de gas médico, aparatos eléctricos y electricidad de alta frecuencia;
- b) Del fuego y riesgos de la explosión asociados con las prácticas del laboratorio;
- c) De lo relacionado con el uso de medios hiperbaricos e hipobaricos para propósitos médicos;
- d) a través de la ejecución, mantenimiento y prueba para los sistemas eléctricos, normal y esencial;
- e) través de la ejecución, mantenimiento y prueba para la instalación:
  - i) de los sistemas de vacío para los propósitos médicos o quirúrgicos
  - ii) para los sistemas de gas médicos.

Esta norma es considerada dentro de la bibliografía del NEC y fue consultada para el desarrollo del artículo 517 de este Código.

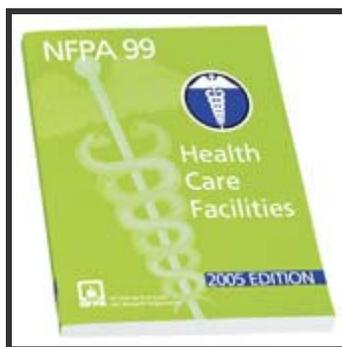


Figura 2.4: NFPA 99 Health Care Facilities

### **3. Lugares de Atención de la Salud**

Hasta el momento hemos abarcado los efectos en el cuerpo humano por el paso de la corriente y como diversos organismos nacionales y extranjeros han emitido normas y códigos que buscan proporcionar los elementos claves para que estos lugares cuenten con la mínima infraestructura y equipamiento para que brinden los servicios de salud correspondientes; además de establecer los criterios que permitan salvaguardar vidas, que para este trabajo implica asegurar que el paciente de un hospital se encuentre protegido de sufrir un choque eléctrico.

En este capítulo se abordarán las definiciones de los lugares de atención de la salud de acuerdo con el Artículo 517 y se enlistarán los establecimientos con los que cuentan los centros ambulatorios y hospitales de acuerdo con las normas de Secretaría de Salud. Esto con la finalidad de distinguir de forma general las diferencias que existen entre los lugares de atención a la salud.

#### **3.1 Clasificación de lugares de atención para la salud**

En los lugares de atención para la salud se da la prestación de servicios médicos de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, los espacios destinados para la prestación de estos servicios presentan un problema complejo y especial en los tipos de instalación eléctrica que deben existir.

La instalación eléctrica en estos lugares debe ser diseñada tomando en cuenta varios factores como son el tipo de servicio que brindará, el equipo que se debe instalar y los procedimientos a practicar.

La NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (Utilización), en el artículo 517, "Instalaciones en Lugares de Atención de la Salud", tiene como alcance establecer los criterios para la construcción de instalaciones eléctricas en lugares de atención de la salud de seres humanos. Esta NOM dentro de las disposiciones generales del artículo 517 define cuatro lugares de atención de la salud:

### **3.1.1 Áreas de atención limitada**

Un edificio o parte de él para albergue de personas que sean incapaces de tomar una acción o valerse por sí mismos por vejez, por limitaciones físicas, debido a accidente o enfermedad y limitaciones mentales, tales como enfermedad mental y fármaco dependencia.



Figura 3.1: Áreas de atención limitada

### **3.1.2 Centros Ambulatorios para la atención de la salud**

Un edificio o parte de él que es utilizado para proporcionar servicios de diagnóstico, tratamiento o rehabilitación a pacientes externos, los lugares deben de cumplir con cualquiera de lo siguiente:

- I. Las instalaciones para la atención y tratamiento a pacientes que sean incapaces de tomar una acción para su autopreservación en condiciones emergencia, sin la asistencia de otras personas; tales como unidades de hemodiálisis, de estudios especiales como radiología y otros.
- II. Las instalaciones para la atención de pacientes externos, que requieren tratamiento quirúrgico con anestesia general o cuidados críticos.



Figura 3.2: Hospital Regional 1° de Octubre (ISSSTE).

### **3.1.3 Lugares de Atención Enfermería**

Un edificio o parte de él utilizado para recepción e internado de personas y atendido por enfermeras. Las personas, quienes debido a incapacidad mental o psíquica, pueden estar imposibilitadas para proveer su propia seguridad y necesidades, sin asistencia. Enfermería, como se usa en esta norma, debe incluir locales de enfermería y de convalecencia, instalaciones para enfermeras calificadas, instalaciones de atención intermedia y para la atención de personas de edad avanzada.



Figura 3.3: Áreas de Atención Enfermería

### **3.1.4 Hospital**

Al establecimiento público, social o privado cualquiera que sea su denominación, que tenga como finalidad la atención a enfermos que se internen para fines de diagnóstico, tratamiento o rehabilitación.



Figura 3.4: Hospital ABC.

### **3.2 Servicios que se brindan en los lugares de atención para la salud**

Los servicios que conforman los centros ambulatorios y hospitales se definen desde su construcción por el programa médico, el cual es el planteamiento del objetivo general y específico del lugar de atención con la descripción de las principales actividades a realizar y metas a obtener.

Como se menciono anteriormente las normas de Secretaria de Salud mencionan lo que de manera mínima deben contener en cuestión de infraestructura y equipamiento los establecimientos que conforman los centros ambulatorios, hospitales y consultorios de especialidades. Pero las establecimientos que se mencionan en las Normas Oficiales Mexicanas son con las que comúnmente se cuentan en los lugares de atención de la salud para brindar los servicios de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, pero no significa que todos los centros ambulatorios u hospitales cuenten con los mismos servicios, porque estos dependerán del área territorial donde se encuentren (rural o urbano), el tipo de

padecimiento que se trata (generales o especialidades) y el tipo de pacientes (agudos, larga estancia, crónicos); en otras palabras dependerá del programa médico.

En este punto deseamos citar al lector los establecimientos que señalan las normas oficiales de Secretaría de Salud con el fin de que conozca los areas que consideran dichas normas para cada establecimiento.

Para una breve descripción de las funciones de los principales establecimientos que en ocasiones conforman un hospital lo invitamos a que se refiera al apéndice C.

### **3.2.1 Centros Ambulatorios**

Los Servicios para *Centros Ambulatorios* de acuerdo con la NOM-178-SSA1-1998 divide de la siguiente manera a estos establecimientos:

- **Consulta Externa**
  - Consultorio de Medicina General o Familiar
  - Servicios de Medicina Preventiva y Terapia de Hidratación Oral
  - Consultorio de Estomatología



Figura 3.4: Consultorio de Medicina General

- **Auxiliares de Diagnóstico**
  - Laboratorio Seco
  - Laboratorio Clínico
  - Imágenes por Rayos X (Gabinete de Radiodiagnóstico)
  - Imágenes por Ultrasonido



Figura 3.5: Cuarto de Rayos X

- **Tratamiento**
  - Atención de Parto
  - Atención de Urgencias y Curaciones



Figura 3.6: Cuarto de Curaciones

### **3.2.2 Hospitales y Consultorios de Especialidad**

Los servicios para *Hospitales* y Consultorios de Especialidad de acuerdo con la NOM-197-SSA1-2000:

- **Auxiliares de Diagnóstico**
  - Laboratorios (Clínico, Urgencias, Citología, Histopatología,)
  - Unidad de Anatomía Patológica
  - Gabinete de Rayos X
  - Sala de Tomografía computarizada
  - Sala de Mamografía



Figura 3.7: Laboratorio Clínico

- **Tratamiento**
  - Unidad Quirúrgica
  - Central de Esterilización y Equipos (CEYE)
  - Unidad de Tocología
  - Unidad Tocoquirúrgica
  - Terapia Intermedia
  - Terapia Intensiva
  - Inhaloterapia
  - Nutriología



Figura 3.8: Unidad Quirúrgica

- **Unidad de Urgencias**
  - Cubículo de valoración
  - Cubículo de observación de pacientes
  - Sala de Curaciones y Yesos
  - Área de Descontaminación
  - Área de Hidratación
  - Área de trabajo de enfermeras
  - Sala de Espera
  - Área o Cuarto de Choque



Figura 3.9: Sala de Espera

- **Hospitalización de Adultos**
  - Central de enfermeras
  - Cuartos de hospitalización

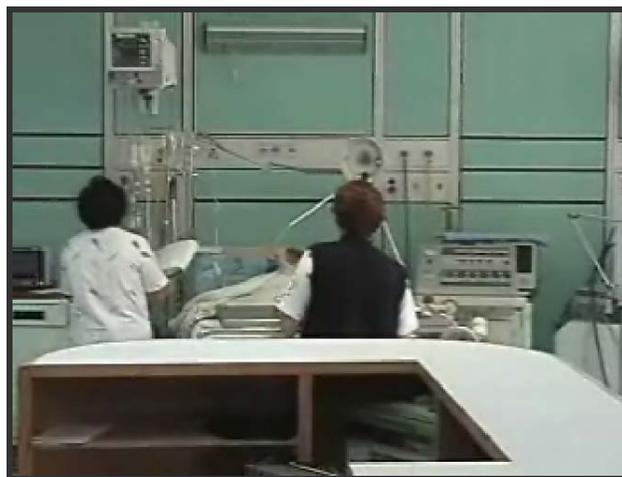


Figura 3.9: Cuarto de hospitalización

- **Hospitalización Pediátrica**
  - Central de enfermeras
  - Área de hospitalización
  - Modulo Médico
  - Cuarto de Aislamiento



Figura 3.9: Central de enfermeras

- **Unidad de Rehabilitación**
  - Consultorio médico
  - Área de terapia física (hidroterapia, electroterapia y mecanoterapia, sala de espera)
- **Trabajo Social o de Relaciones Públicas**



Figura 3.9: Trabajo Social

- **Unidades de Servicios Generales**
  - Farmacia
  - Unidad de ingeniería (mínimo de mantenimiento)
  - Área de guarda y distribución de equipo
  - Talleres generales y casa de máquinas
  - Dietología y cocina
  - Almacén
  - Área de lavandería



Figura 3.10: Cuarto de Máquinas

- **Unidades Directivas**
  - Sala de juntas
  - Unidad de enseñanza
  - Bibliothemeroteca
  - Aulas
- **Unidad Administrativa**
  - Oficina del administrador
  - Zona secretarial



Figura 3.11: Unidad Administrativa

- **Consultorios de Especialidad**
  - Consultorio de cardiología
  - Consultorio de cirugía general y de cirugía reconstructiva
  - Consultorio de dermatología
  - Consultorio de endocrinología.
  - Consultorio de especialidades de estomatología.
  - Consultorio de gastroenterología.
  - Consultorio de geriatría y gerontología.
  - Consultorio de gineco-obstetricia.
  - Consultorio de homeopatía.
  - Consultorio de medicina interna.
  - Consultorio de medicina de rehabilitación.
  - Consultorio de nefrología.
  - Consultorio de neumología.
  - Consultorio de neurología y neurocirugía.
  - Consultorio de oftalmología.
  - Consultorio de oncología.
  - Consultorio de otorrinolaringología.
  - Consultorio de ortopedia y traumatología.
  - Consultorio de pediatría.
  - Consultorio de proctología.
  - Consultorio de psiquiatría.
  - Consultorio de urología.



Figura 3.11: Unidad de gastroenterología

### **3.4.3 Clasificación de los Consultorios de Especialidad**

Dentro de los consultorios de especialidad es importante saber de que tipo de consultorio estamos hablando, ya que el medio protección al paciente dependerá de los procedimientos que se le practiquen, es decir, se debe saber si solo consistirá en el interrogatorio y examen que conducirá al diagnóstico ó si además existirá una forma de diagnóstico o tratamiento que requiere equipos electromédicos que se conecten en el paciente.

La NOM-197-SSA1-2000 señala la clasificación para los consultorios. Los consultorios de especialidad se clasifican en:

- Tipo I. El de medicina general que cuenta con área de interrogatorio y de exploración.



Figura 3.12: Consultorios de Especialidad Tipo I

- Tipo II. El que cuenta con sanitario.



Figura 3.13: Sanitario en Consultorios de Especialidad Tipo II

- Tipo III. El que cuenta con anexo para las pruebas funcionales que requiera su especialidad.



Figura 3.14: Consultorios de Especialidad Tipo III

## 4. Áreas de Atención del Paciente

Como se ha comentado en el capítulo previo dentro de los lugares de atención para la salud podemos definir los servicios de atención que se les brinda a los pacientes de acuerdo con las normas de Secretaría de Salud en servicios de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación.

La Norma Oficial Mexicana NOM 001 SEDE 2005 en el artículo 517 define las áreas de atención del paciente como las áreas de las instalaciones en lugares de atención de la salud en las cuales se examina o se trata al paciente.

Las áreas de atención del paciente de acuerdo al artículo 517 se clasifican como:

- áreas de atención general
- áreas de atención crítica
- local húmedo

Típicamente no se clasifican como áreas de atención del paciente las oficinas administrativas, pasillos, antecámaras o salones de usos múltiples, comedores o áreas similares, debido a que en ninguno de estos espacios se dan los servicios de diagnóstico, tratamiento o rehabilitación a los pacientes.

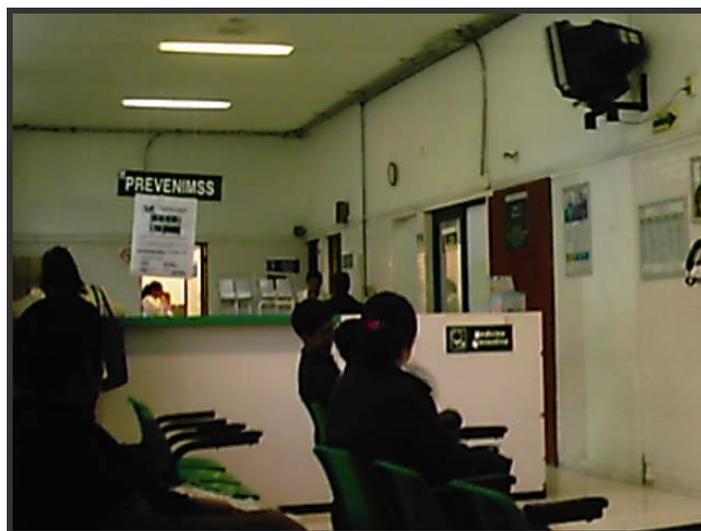


Figura 4.1: Las salas de espera no se consideran áreas de atención al paciente.

Las áreas de atención general y áreas de atención crítica; puede ser cualquiera de ellas clasificada como local húmedo, y es responsabilidad del cuerpo de administración el designar estas áreas de acuerdo con el tipo de atención y cuidados que se otorguen al paciente.

#### **4.1 Áreas de atención general**

Son los cuartos para pacientes, cuartos para auscultación, cuartos para tratamiento y áreas similares de atención a los pacientes, en las cuales se pretende que el paciente deba estar en contacto con dispositivos ordinarios tales como un sistema de llamado a enfermeras, camas eléctricas, bombas de infusión, lámparas de auscultación, teléfonos y dispositivos de entretenimiento. En dichas áreas, puede ser necesario que los pacientes se conecten a dispositivos electromédicos tales como termocobertores, electrocardiógrafos, bombas de succión, monitores, catéteres intravenosos, etc.



Figura 4.2: Área de atención general.- El visitante dentro del cuarto de hospitalización presta atención a un televisor portátil.

#### **4.2 Áreas de atención crítica**

Son aquellas unidades de atención especial como: unidades de cuidados intensivos, unidades de cuidados coronarios, laboratorios de angiografía, laboratorios de caterización cardiaca, salas de expulsión, salas de operación y áreas similares en las cuales los pacientes estén sujetos a procedimientos

invasivos y conectados a equipos y aparatos electromédicos sofisticados, que estén energizados mediante receptáculos grado hospital.



Figura 4.3: Área de atención crítica.- Unidad quirúrgica

En estas áreas los pacientes por lo general son sometidos a procedimientos invasivos y esto hace que sea un área de especial atención para el ingeniero eléctrico, debido a que el paciente presenta un alto riesgo de electrocución por microchoque. Puede decirse que un paciente conectado de manera invasiva a un equipo electromédico, o sometido a un procedimiento quirúrgico, especifica un área crítica.

### **4.3 Locales húmedos**

Son las áreas críticas y generales de atención a pacientes, normalmente están sujetas a condiciones de humedad mientras está presente el paciente. Estas áreas incluyen depósitos con fluidos a nivel del piso o áreas de trabajo que rutinariamente estén húmedas, siempre y cuando alguna de estas condiciones esté íntimamente relacionada con el paciente o con el personal y con el uso de aparatos eléctricos. Los procedimientos de limpieza rutinarios y derrames accidentales de líquidos no definen un local húmedo.

Un cuarto de hospitalización en un Lugar de Atención Enfermería se puede considerar como un área de atención del paciente si una persona es examinada o tratada en ese lugar sin embargo, excluye áreas tales como lavanderías, cuartos de calderas y áreas de servicios, que aunque rutinariamente están mojadas, no son áreas de atención al paciente. El responsable sanitario puede optar por incluir en esta definición áreas tales como de hidroterapia y laboratorios de diálisis, por ejemplo. Los sanitarios o cuartos de baño dentro de un lugar de atención de la salud no están previstos para ser clasificados como local húmedo. Para propósitos de control de infecciones, muchas áreas de pacientes y de tratamiento tienen un lavamanos para el aseo de las manos, el cual no está previsto tampoco como un local húmedo.

Un local húmedo de manera general puede apreciarse como el área donde el paciente se encuentra en condiciones donde su piel disminuya su valor de resistencia provocada por la presencia de sangre, sudor o agua. Dependiendo del procedimiento al que el paciente este expuesto.

#### **4.4 Localización de la cama del paciente y Vecindad de un paciente**

La atención a pacientes se puede ofrecer en los lugares de atención del paciente en una cama, camilla, silla o mesa quirúrgica donde sea atendido o tratado el paciente.

El artículo 517 de la NOM 001 SEDE 2005 define dos aspectos importantes del espacio donde es atendido el paciente : la localización de la cama del paciente y la vecindad del paciente.

##### **4.4.1 Localización de la cama del paciente**

Es la ubicación de la cama del enfermo hospitalizado o internado, la cama o mesa de tratamiento usada en el área de atención crítica del paciente.



Figura 4.4: Localización de la cama del paciente dentro de Cuidados Intensivos.

La localización de la cama del paciente no se concreta únicamente dentro del cuarto de hospitalización, también puede ser una sala de urgencia, por ejemplo.

#### **4.4.2 Vecindad de un paciente**

La vecindad de un paciente es el espacio destinado normalmente para la atención de pacientes, donde puede estar en contacto con las superficies expuestas o algún asistente que pueda tocarlo.



Figura 4.5: La enfermera verifica el suero del paciente que se encuentra a su derecha

Típicamente la vecindad de un paciente comprende un espacio de al menos de 1,8 m alrededor del perímetro de la cama o mesa de procedimientos o hasta donde se encuentre una pared, mampara o cortina de separación. Extendiéndose además verticalmente, a no menos de 2,3 m sobre el nivel del piso.

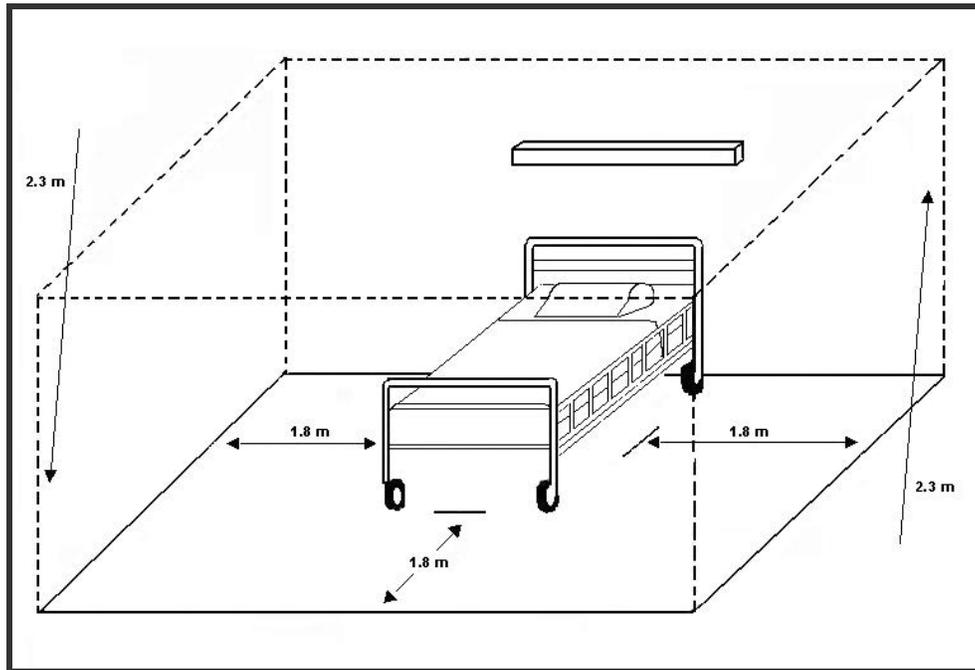


Figura. 4.6: Vecindad de un paciente

En los hospitales de sector público las habitaciones que ocupan los pacientes son cuartos colectivos donde dependiendo del tipo de hospital se pueden encontrar por ejemplo ocho camas. Si entre cada cama existiera una separación dada por las dimensiones que indica la definición de vecindad del paciente, los cuartos serían muy grandes, lo que implicaría un gran costo en su construcción.

Por ello la vecindad del paciente en muchas de las ocasiones esta dada por los espacios que delimitan los muros o las cortinas y persianas que están alrededor de las camas y que sirven para dar privacidad a los pacientes mientras estos son auscultados o se les practican curaciones.

## **5. Medios de Protección al Paciente**

El equipo eléctrico operado alrededor del paciente, aún cuando trabaje perfectamente, puede ser riesgoso para él. Esto es debido a que cada equipo eléctrico produce una corriente de fuga. La fuga consiste de cualquier corriente que no es para aplicarse al paciente, pero la cual podría pasar desde partes metálicas expuestas de un aparato hacia tierra o hacia otra parte accesible de un aparato. Normalmente, esta corriente se deriva alrededor del paciente a través de un conductor de tierra en el cable de energía.

El paso de la corriente a través del cuerpo humano como se mencionó en capítulos iniciales puede causar desde un cosquilleo hasta fibrilación cardiaca, y en el peor de los casos la muerte. Por ello es necesario reconocer el área de atención al paciente para brindar el medio de protección contra las corrientes de fuga que son las causantes de choques eléctricos.

### **5.1 Diferencia entre el Conductor de Puesta a Tierra de los Equipos y el Conductor Puesto a Tierra**

Aunque se espera que el lector este familiarizado con estos conceptos es importante aclarar la diferencia de estos dos elementos antes de avanzar ya que a lo largo de este capítulo se hará mención de ambos y se espera que no exista confusión en los términos. La diferencia de estos dos conceptos es que el conductor puesto a tierra (también llamado neutro) lo usamos como regreso de la corriente de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico.

Por otro lado el conductor de puesta a tierra de los equipos, es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia tierra para evitar que dañen a equipos eléctricos, electrónicos e incluso personas, explicado de otra forma es la conexión que usamos para la protección personal y de equipos contra sobre tensiones o descargas eléctricas de cualquier tipo.

## 5.2 Receptáculos y Clavijas

La alimentación eléctrica para un equipo eléctrico generalmente se obtiene por medio de los receptáculos y el equipo se conecta a estos por medio de clavijas. Tanto los receptáculos como las clavijas presentan características.

Los receptáculos utilizados en los hospitales son de grado hospital debido a que estos ofrecen mayor resistencia al uso que los comerciales. Estos receptáculos se diferencian de los demás ya que poseen un círculo de color verde. Figura 5.1.



Figura 5.1: Receptáculo grado hospital

El equipo electromédico se conecta a tierra mediante el cable de alimentación eléctrica. El punto débil en el cable de alimentación es la clavija, la cual en los hospitales debe ser de grado hospital. Las clavijas grado hospital al igual que los receptáculos de este tipo se pueden identificar por un punto verde que está marcado en la parte frontal.



Figura 5.2: Clavija grado hospital

La figura 5.3 muestra una clavija grado hospital transparente. La terminal de tierra es más larga que las otras dos por una muy buena razón es la primera terminal que hace contacto al ser conectado el equipo electromédico, y la última en que deja de hacer contacto cuando se desconecta el mismo. De esta manera, el equipo electromédico queda conectado a tierra antes de completar el circuito y permanece temporalmente conectado a tierra después de que el circuito se ha desconectado. De existir un equipo defectuoso que origine una corriente de fuga hacia el paciente, esta podrá ser drenada siempre por el conductor de puesta a tierra de los equipos hacia la terminal de tierra de la clavija y a su vez al sistema de puesta a tierra.

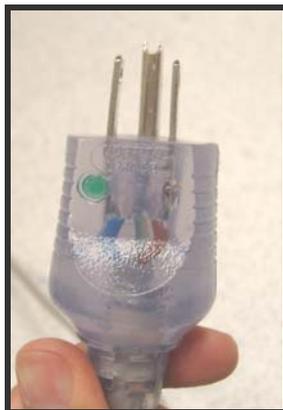


Figura 5.3. Clavija grado hospital transparente

### **5.3 Riesgos eléctricos para el paciente**

#### ***5.3.1 Riesgo por Pérdida del Conductor de Tierra en el Cable de Alimentación***

Un equipo electromédico siempre está sujeto al desgaste normal. Este tipo de deterioro puede ser muy severo si el equipo se lleva de un lugar a otro con gran prisa, como de una sala a otra en caso de emergencias. Las partes que sufrirán daños con más frecuencia son el cable y la clavija.

En ocasiones pueden existir cables agrietados y clavijas rotas que estén reparadas con cinta de aislar. Debe considerarse que este cable o clavija se agrieto por alguna razón, ya sea por el tiempo o el uso inadecuado. Si el aislante está agrietado, la mayor parte de los alambres seguramente estarán rotos, y de

llegar a conectar el equipo en un paciente debe considerarse que pueden existir altas posibilidades de que los alambres del conductor de puesta a tierra del equipo puedan romperse en su totalidad.

Los equipos electromédicos poseen un grado de seguridad en cuanto a la corriente de fuga propia del equipo desde su construcción por estar basado su valor de corriente en el tipo de aplicación hacia el paciente y observar que esta no rebase los valores que puedan dañarlo en condiciones normales del equipo, en condiciones de operación distintas a las normales, es decir, que el equipo presente una falla, el valor de la corriente de fuga será mayor y en caso de no contar con el conductor de puesta a tierra del equipo por una situación similar a la citada en el párrafo anterior la corriente podría provocar alguna lesión al paciente.

Tener un equipo sin el conductor de puesta a tierra, ya sea porque esté roto o porque ha sido eliminado tal como lo muestran las figuras 5.4(a) y 5.4(b) presenta un gran peligro.

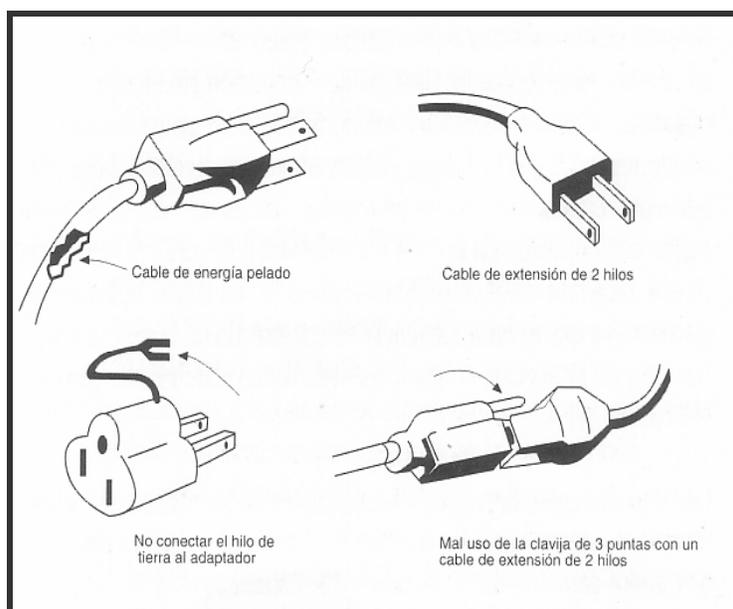


Figura 5.4(a): Casos en los cuales se elimina el conductor de puesta a tierra.



Figura 5.4(b): La clavija no cuenta con terminal de tierra.

Para saber cual es el riesgo al que esta expuesto un paciente por la perdida del conductor de tierra supongamos lo siguiente. Consideremos a un paciente en una cama eléctrica con un cable de alimentación en buen estado y el cual cuenta con su conductor de puesta a tierra, por lo que esto significa que cuando el paciente pone su mano en el barandal de la cama, también él está conectado a tierra. Figura 5.5.

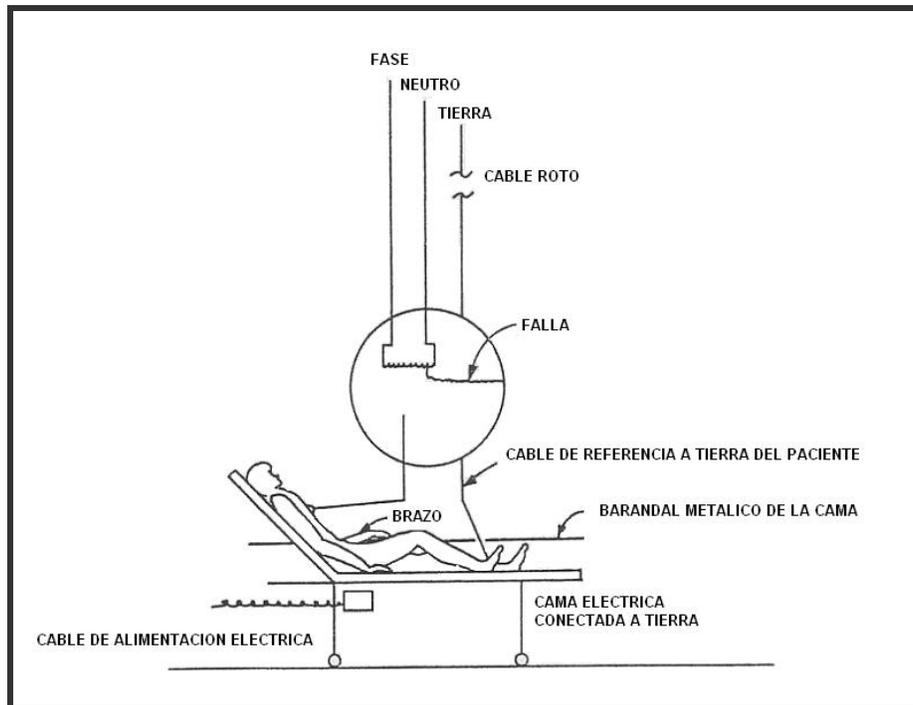


Figura 5.5: Riesgo eléctrico debido a falla a tierra en equipo electromédico.

No hay nada de malo en esto hasta ahora hasta que alguien trae un equipo eléctrico, como un electrocardiograma (ECG) que tiene un cable de alimentación donde el conductor de puesta a tierra está roto y además el ECG presenta una corriente de fuga. Recordemos que el fabricante diseñó el aparato para cualquier corriente de fuga no deseada se drenará a través del conductor de puesta a tierra. Sin embargo el cable de puesta a tierra está roto y la corriente de fuga regresa a tierra a través del paciente ya que al estar tomado del barandal ofrece un camino a la corriente hacia tierra, lo que puede causarle resultados desastrosos.

### ***5.3.2 Riesgo ocasionado por la Existencia de Diferentes Circuitos de Tierra***

Otro factor a considerar en la puesta a tierra de un circuito y que pone en riesgo al paciente es el hecho que en las áreas de atención los contactos existentes estén conectados a diferentes interruptores de circuito y estos tengan diferentes circuitos de tierra. Si dos equipos con diferentes circuitos de tierra se conectan al mismo paciente, habrá problemas. La corriente puede fluir de un circuito de tierra a otro a través del paciente.

Consideremos el caso de un paciente en una cama puesta a tierra a través de un circuito derivado de un tablero eléctrico (Tablero A). El paciente tiene una de sus manos en uno de los barandales metálico de la cama, así que el paciente está puesto a tierra a través del mismo circuito derivado. Este no es un problema inmediato; el problema se presenta si el paciente hace contacto con la puesta tierra del circuito derivado del otro tablero eléctrico (Tablero B). Supongamos que el circuito B está drenando la corriente de falla de algún aparato distante, como la aspiradora de la Figura 5.6. En esta ilustración la pierna del paciente está conectada a tierra a través del cable de referencia del ECG y este a su vez al cable de tierra del circuito B, que también es el cable de tierra de un contacto en el pasillo. El trabajador de limpieza utiliza este contacto para su aspiradora, y cuando ésta recoge un objeto metálico, el motor hace corto circuito. La aspiradora tiene un cable de alimentación el cual cuenta con su cable de tierra, así que el trabajador está seguro debido al funcionamiento del interruptor, pero mientras entra en

acción el interruptor, la corriente que circula por el conductor de tierra podría ser de 40 a 100 A; y parte de esta viajará a través del cable de tierra del circuito B al A por medio de la pierna del paciente, causando resultados infortunados para este.

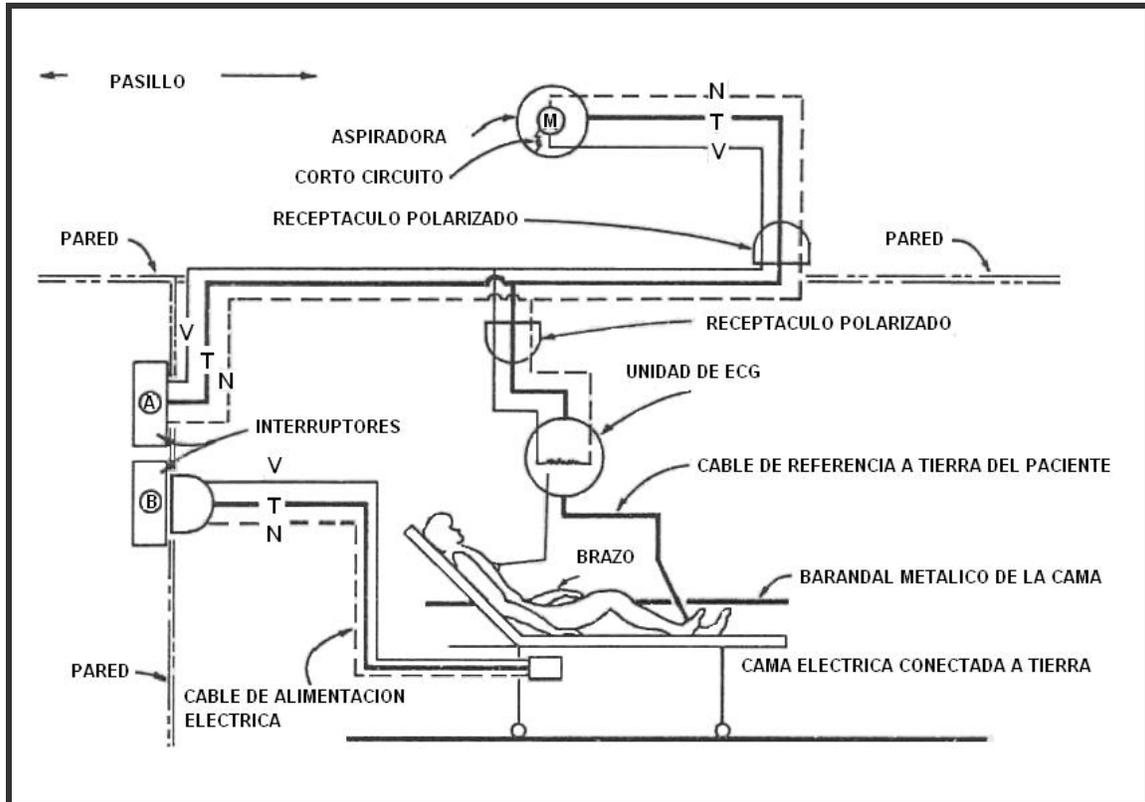


Figura 5.6: Riesgo eléctrico debido a la existencia de diferentes circuitos de tierra.

### 5.3.3 Riesgo debido a Procedimientos de Cateterización Intravenosa

Como se menciona en el apéndice B los catéteres presentan un problema porque proporcionan una trayectoria hacia el interior del cuerpo, y que aun corrientes muy pequeñas que siguen esta trayectoria pueden ser sumamente peligrosas. Debe tenerse especialmente precaución cuando un paciente tiene insertado un catéter en alguna abertura corporal. Todas estas aberturas están recubiertas de tejido mucoso, y el tejido mucoso es un conductor excelente.

Todos los pacientes que tengan un dispositivo de este tipo deben ser vigilados cuidadosamente para evitar que entren en contacto con dispositivos eléctricos que presenten alguna corriente que pueda viajar a través del catéter hasta el corazón.

#### ***5.3.4 Riesgos relativos a los Marcapasos Externos.***

Los pacientes cardiacos que llegan al hospital y a quienes se les ajusta un marcapasos externo para sostenerlos mientras los médicos deciden cuál será el tratamiento a seguir, presentan un grave problema. En muchas ocasiones, estas personas estarán levantadas y deambulando con su marcapasos; por lo que el equipo que se encuentra en el área debe revisarse y conectarse a tierra antes de que el paciente que tiene un marcapasos externo siquiera piense en levantarse. Lo conveniente sería mantener a estos pacientes en cama donde esten menos propensos a lesiones de tipo eléctrico, pero tarde o temprano debe esperarse que el paciente se levante y corra el riesgo de ponerse en contacto con aparatos eléctricos que presenten alguna falla por la cual esté drenando una corriente y ésta pueda llegar al marcapasos y por ende al corazón, causándole graves daños al paciente.

#### ***5.3.5 Riesgo que pueden ocurrir durante el uso de Camas eléctricas y Cobertores eléctricos***

Cuando un paciente está en una cama eléctrica, se debe tener especial cuidado cuando se encuentran líquidos presentes, como sangre, plasma u orina, ya que de penetrar los líquidos al motor permitiría que la corriente fluyera desde el motor hasta el paciente a través del barandal.

Si se tiene un paciente en una cama eléctrica y se requiere un ECG o cualquier otro procedimiento eléctrico, debe se debe recordar dos cosas importantes: a) No usar ninguna máquina que tenga un cable que conecte al paciente a tierra. En muchos casos estos cables no están en realidad al potencial cero y podrían pasar corriente a través del paciente hasta el marco de la cama que sí esta conectado a tierra; b) No deje al paciente toque alguna de las partes metálicas de la cama

durante la medida. Aísle con algunas almohadas o desconecte la cama si es necesario.

Pero no solo las camas eléctricas y equipos electromédicos pueden presentar un riesgo al paciente sino también los cobertores térmicos; ya que la mayoría son de fabricación tan pobre que constituyen un riesgo para una persona sana, y no se diga para alguien que está enfermo. Muchos cobertores térmicos utilizan resistencias eléctricas para calentamiento, están hechos de tela, hule y plásticos. Los materiales aislantes se deterioran con el tiempo, las temperaturas elevadas u objetos cortantes; en cualquier caso, una rotura o cortadura en la cubierta puede permitir el paso del sudor del paciente, el cual puede suministrar toda la conductividad necesaria para crear una calamidad, ya que los cobertores no poseen nada que pueda conectarse al conductor de tierra.

## **5.4 Medios de protección al paciente**

### ***5.4.1 Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (ICFT)***

Como se comento anteriormente el conductor de puesta a tierra del cable de alimentación de cualquier equipo puede sufrir algún daño y en caso de falla no existirá el medio para drenar la corriente producida a tierra, pero de existir una falla y de contar con el conductor de puesta a tierra en óptimas condiciones el interruptor asociado al circuito se accionara dejando sin energía al equipo y con ello protegiéndolo de la falla.

Por lo anterior, cabe hacer énfasis en que los interruptores no proporcionan una protección personal porque el valor de corriente con los que son accionados es muy superior al nivel de corriente que producirá lesiones o muerte. Recordemos del apéndice B que existe riesgo de fibrilación ventricular con 3A durante 10ms o también en 45mA durante 10s; valores de corriente para los cuales un interruptor convencional no está diseñado para actuar.

El ICFTI es un dispositivo de protección sensible a la corriente de fuga de tierra que recibe el nombre de corriente diferencial porque es igual a la diferencia entre la corriente del conductor de fase y el conductor del neutro. El balance de tales corrientes es generalmente nulo cuando no hay pérdida alguna. Pero si difiere de cero, el interruptor ICFTI del circuito se abre y desconecta la energía eléctrica del equipo que suministra. Esta acción se realiza en 50mseg desde el inicio de una corriente de falla. Prácticamente todos los ICFTI operan cuando una corriente de falla excede los 5mA. Figura 5.7.



Figura 5.7: Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (ICFT).

En algunos de los hospitales está prohibido el uso de secadoras de cabello, rasuradoras eléctricas, y equipos similares que pueden ser utilizados en el baño; pero no todos los pacientes o visitantes hacen caso a esta prohibición. Recordemos que los pacientes que portan catéteres o marcapasos externos corren el riesgo de sufrir graves lesiones por valores de corrientes pequeñas por haber perdido la protección que ofrece la piel al paso de esas corrientes y por tener conexión directa al corazón.

Por lo general el ICFT es utilizado como medio de protección contra choque eléctrico, y este funcionará con todo equipo que presente una corriente de fuga que ponga en riesgo eléctrico a una persona; y producirá una interrupción en el paso de la corriente; sin embargo este no deberá utilizarse para conectar un equipo electromédico de soporte para la vida, ya que de estar conectado al paciente y de presentarse una falla el ICFT actuaría, provocando la

desenergización del equipo y por tratarse de un equipo de soporte para la vida (por ejemplo un ventilador), generaría serias consecuencias para el paciente.

Se debe hacer notar que los ICFT pueden fallar; por este motivo todos los ICFT están equipados con características de autopruueba y deben ser probados de forma regular. Los ICFT utilizados en los lugares de atención de la salud deben ser grado hospital. Figura 5.8

<p><b>Recordativo de Pruebas y Tarjeta de Registros</b></p> <p>Pruebe el receptáculo un mínimo de una vez al mes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escriba la fecha del examen en el diagrama siguiente.</li> <li>• Guarde la tarjeta cerca del GFCI en un lugar poco visible o notable.</li> </ul> <p><b>COMO PROBARLO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conecte una lámpara en el receptáculo GFCI.</li> <li>2. Apriete y suelte el botón marcado "RESET."</li> <li>3. La lámpara debe encenderse.</li> <li>4. Apriete el botón marcado "TEST."</li> <li>5. El botón marcado "RESET" debe moverse hacia afuera, indicando "TRIP," y la lámpara debe apagarse. (Si el GFCI incluye una luz indicadora, la luz debe encenderse cuando el aparato ha disparado). Si esto pasa, proceda al Paso 8.</li> <li>6. <u>Si el GFCI disparó pero la lámpara no se apagó:</u> la alimentación y carga del GFCI probablemente han sido invertidas. Para corregir:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Apague la corriente desde el cortacircuito.</li> <li>b) Intercambie las conexiones de carga y alimentación al receptáculo GFCI, asegúrese de mantener las conexiones de "Vivos" y "Neutrales" correctas.</li> <li>c) Encienda la corriente and repita pasos 1 al 5. Si todavía no funciona, el GFCI puede estar dañado.</li> </ol> <p><b>NO USE HASTA CORREGIR EL DAÑO.</b></p> </li> <li>7. Si el GFCI no disparó, no lo use: protección contra circuitos a tierra no está asegurado. Llame a un electricista calificado.</li> <li>8. Para restaurar electricidad después del disparo, apriete el botón marcado "RESET." El botón debe de mantenerse adentro. (Si una luz indicadora está proporcionada, la luz se apagará).</li> </ol>	<p><b>Recordativo de Pruebas y Tarjeta de Registros</b></p> <p>Separe la tarjeta y guarde cerca al GFCI</p> <p>Para su registro:</p> <p>Fecha de instalación _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ene</th> <th>feb</th> <th>mar</th> <th>abr</th> <th>mayo</th> <th>jun</th> <th>jul</th> <th>ago</th> <th>sep</th> <th>oct</th> <th>nov</th> <th>dic</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1996</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1997</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1998</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1999</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2001</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2002</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2003</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		ene	feb	mar	abr	mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	1996													1997													1998													1999													2000													2001													2002													2003													2004													2005													2006													2007													2008													2009													2010													2011												
	ene	feb	mar	abr	mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic																																																																																																																																																																																																																		
1996																																																																																																																																																																																																																														
1997																																																																																																																																																																																																																														
1998																																																																																																																																																																																																																														
1999																																																																																																																																																																																																																														
2000																																																																																																																																																																																																																														
2001																																																																																																																																																																																																																														
2002																																																																																																																																																																																																																														
2003																																																																																																																																																																																																																														
2004																																																																																																																																																																																																																														
2005																																																																																																																																																																																																																														
2006																																																																																																																																																																																																																														
2007																																																																																																																																																																																																																														
2008																																																																																																																																																																																																																														
2009																																																																																																																																																																																																																														
2010																																																																																																																																																																																																																														
2011																																																																																																																																																																																																																														

Figura 5.8: Método de prueba para ICFT (GFCI por sus siglas en ingles).

**5.4.2 Sistema Eléctrico Aislado No Aterrizado**

Nos hemos referido hasta aquí al sistema eléctrico aterrizado y a los medios de protección al paciente que son validos en este sistema. Sin embargo, en el bloque quirúrgico la aplicación de interruptores termomagnéticos e ICFT que detecten corrientes de fuga pequeñísimas, por debajo de 6mA no es posible. Además, tiene el inconveniente de la posible interrupción de suministro eléctrico y, con ello, la perdida del control de la situación en momentos críticos, en los que evidentemente la información sobre los signos vitales del paciente es esencial.

Los caminos emprendidos en la búsqueda de soluciones se han orientado a la mejora y perfeccionamiento de los equipos electromédicos y de las propias instalaciones, como por ejemplo la reducción y control de las corrientes de fuga en quirófanos y unidades de cuidados intensivos, especialmente. De aquí la utilización del sistema eléctrico aislado.

El sistema eléctrico aislado es un sistema donde ninguno de los conductores del secundario está conectado al conductor de tierra, por lo que ahora los conductores activos son llamados Conductor aislado 1 (de color naranja) y Conductor aislado 2 (de color café) . Es decir que el sistema eléctrico se encuentra “Aislado” por el uso de un transformador; y se encuentra “No Aterrizado” porque ningún conductor está conectado a tierra.

La corriente de cualquiera de los dos conductores aislados sólo puede regresar a su fuente a través del otro conductor. Es decir, las superficies metálicas expuestas conectadas al sistema de conexión dejan de ser buenas vías de baja impedancia para que la corriente regrese a su fuente. Ninguno de los conductores son accesibles. En el sistema convencional podría fluir una gran corriente de falla entre el conductor de fase y el conductor neutro (o puesto a tierra), así como entre el conductor de fase y el conductor de puesta a tierra de los envolventes metálicos de equipo electromédico; lo que representaría un peligro. También, el contacto humano con el conductor de fase podría ocurrir de una manera indirecta e inesperada a través de la envolvente metálica de una pieza de equipo electromédico defectuoso.

Una vez que un individuo hace contacto con el conductor de fase en el sistema convencional de manera directa o indirecta, todo lo que se necesita para tener un shock eléctrico es hacer contacto con cualquiera de las envolventes puestas a tierra, las cuales abundan en los quirófanos y unidades de cuidados intensivos. La corriente sólo se limitaría por la resistencia ofrecida por el cuerpo humano. Sin embargo, si el conductor aislado 1 y conductor aislado 2 del sistema de energía aislado y cualquiera de las envolventes a tierra hacen contacto, el flujo de

corriente se limitaría tanto por la resistencia del cuerpo humano como por la resistencia entre cada conductor aislado (1 o 2) y la conexión a tierra. Esta resistencia está integrada con el diseño de un transformador de aislamiento. No hay conexión con 1 o 2, aun cuando la tierra se encuentra cercana. Los conductores 1 y 2 se encuentran física y eléctricamente aislados de la conexión a tierra. Figura 5.6

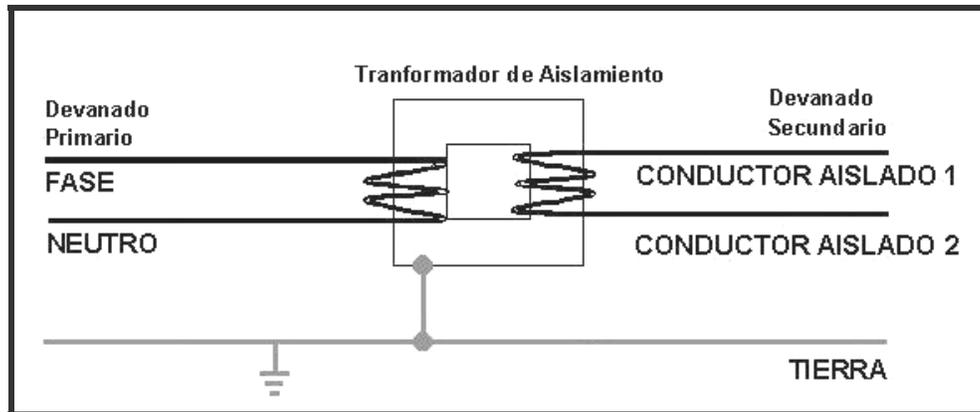


Figura 5.6: Sistema Eléctrico Aislado No Aterrizado.

Con un sistema eléctrico como este se logra que las corrientes de fuga en el sistema sean solo las que desprenden de los equipos electromédicos conectados en el secundario del transformador, y no la suma de todas las cargas del hospital. También se evita que ante una falla de aislamiento, es decir una falla a tierra, se conduzca corriente de falla por el conductor de tierra, por lo tanto no existe corriente de falla que pueda abrir el circuito secundario e interrumpa el suministro eléctrico.

Este último punto relacionado a evitar interrumpir el suministro eléctrico ante una falla, ya que no es lo más conveniente interrumpir el suministro cuando se trata de un hospital y mucho menos cuando se trata de la falla en un equipo que esta manteniendo vivo al paciente.

Cuando se trata de un circuito que alimenta equipo de soporte de vida es muy importante lograr la máxima continuidad de servicio, e incluir otros equipos que se encargue de anunciar condiciones anormales de operación. Esa función es cubierta con el monitor de aislamiento de línea, un equipo diseñado para medir la impedancia de cada uno de los conductores del secundario del transformador respecto a tierra.

#### **5.4.3 Tablero de Aislamiento**

En un quirófano siempre se utilizan equipos de soporte de vida, es decir equipos que no pueden dejar de ser alimentados eléctricamente, además con frecuencia es un área húmeda por el tipo de trabajo que ahí se realiza lo ello conlleva a que el diseño de la instalación eléctrica deba ser con equipos que protejan ante falla a tierra sin interrumpir el suministro, esto se logra con los tableros de aislamiento.

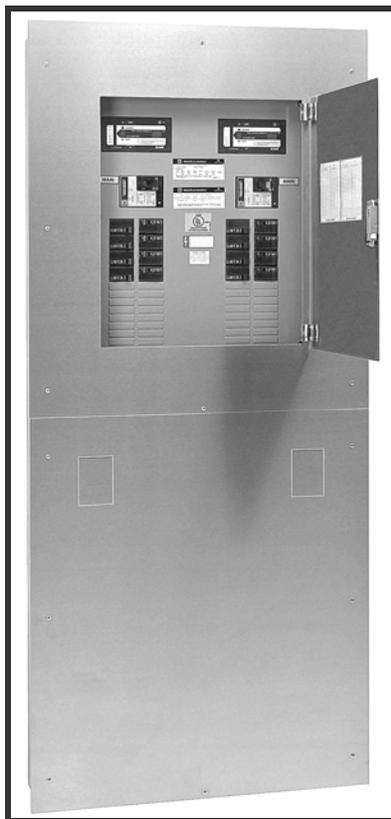


Figura 5.7: El sistema eléctrico aislado es utilizado en los tableros de aislamiento.

La figura 5.8 muestra las conexiones en un tablero de aislamiento. En este sistema eléctrico se observa que los conductores marcados con \*2 se encuentran aislados de los conductores de aislamiento L1 y L2 por medio del transformador de aislamiento, por eso se conoce como sistema eléctrico aislado. Además se puede apreciar que no existe una unión franca entre la barra de tierra y cualquiera de estos conductores L1 y L2, por lo tanto el sistema eléctrico aislado no está aterrizado. También se observa que el conductor de tierra que viene de la subestación eléctrica se alambra hacia los receptáculos y equipos electrómédicos a utilizar, por lo que aunque el sistema eléctrico es no aterrizado, sí se continúa distribuyendo el conductor de tierra.

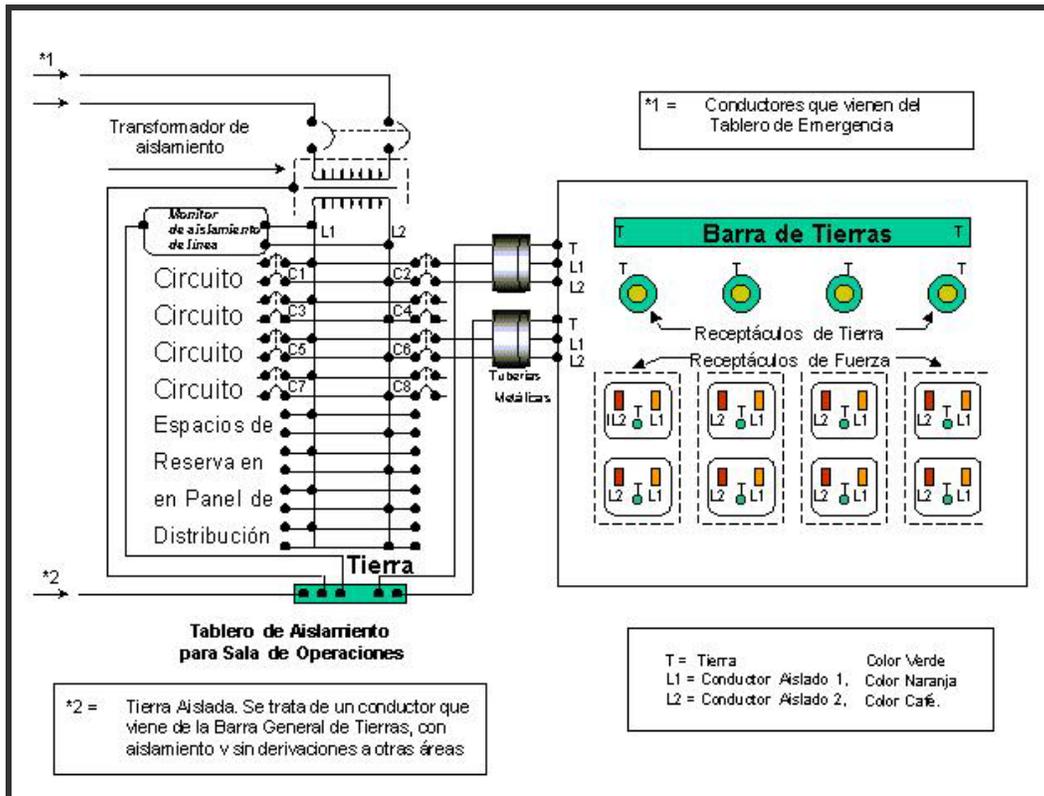


Figura 5.8: Conexiones en un tablero de aislamiento

La tierra utilizada en este tipo de sistemas, es de la que se conoce como “Tierra Aislada“. Entendiendo por este concepto que se trata de un conductor con aislamiento que viene expresamente desde la barra de tierra general en la subestación, hasta la barra de tierra del tablero de aislamiento.

#### 5.4.4 Monitor de Aislamiento de Línea

Recordemos que los equipos electromédicos de soporte para la vida requieren trabajar ininterrumpidamente cuando un paciente esté conectado a ellos, y de presentarse pérdidas de aislamiento en el equipo produciría consecuencias graves para el paciente debido a las corrientes de fuga; por lo anterior es necesario contar con un Monitor de Aislamiento de Línea (MAL) para dar una señal cuando se pierde el aislamiento.



Figura 5.9: Monitor de Aislamiento de Línea

Tanto el MAL como el ICFT funcionan comparando la corriente en una línea con la de otra línea. Si las dos corrientes son las mismas, con una diferencia aproximada de 3 mA, ni el ICFT ni el MAL causaran efecto alguno. Si la diferencia es mayor que ese valor entonces existe una corriente de fuga y este se abre (ICFT) o se dispara la alarma (MAL).

En un quirófano una interrupción de corriente sería muy peligroso por lo que es necesario el uso del MAL, además de esta forma se anuncia al personal de la sala de operaciones los valores de corriente de fuga debido a la falta de aislamiento. Este es el propósito del Monitor de Aislamiento de Línea.

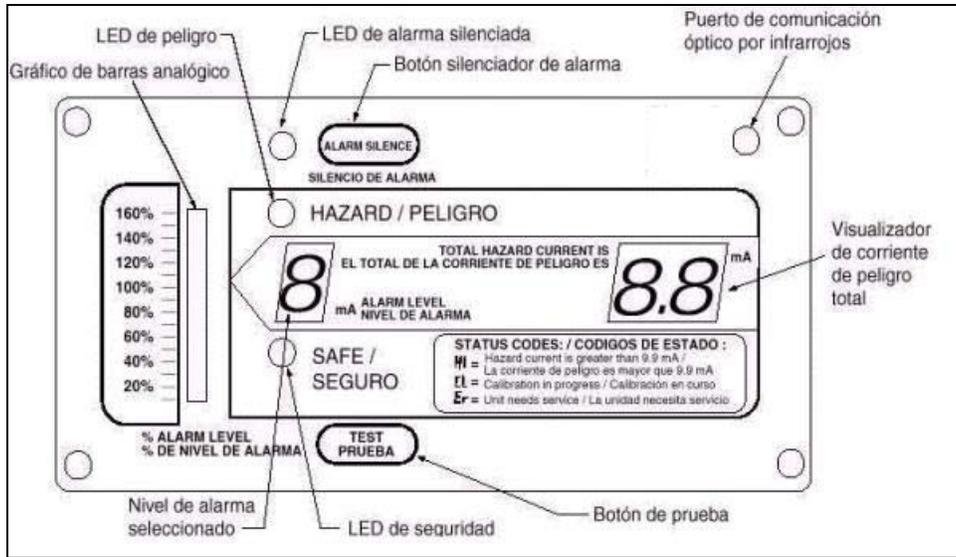


Figura 5.10: Descripción de la carátula del Monitor de aislamiento de línea

El Monitor de Aislamiento de Línea predice en forma constante el valor correspondiente a tal corriente de fuga y lo compara con un valor preestablecido. Si se sobrepasa este valor preestablecido, se activa una alarma audible y visible sin interrumpirse la energía. El umbral de corriente para el Monitor de Aislamiento de Línea es de 5 mA. Mientras más equipo se utilice, mas fácilmente se puede alcanzar este límite, incluso con equipo en adecuado funcionamiento.

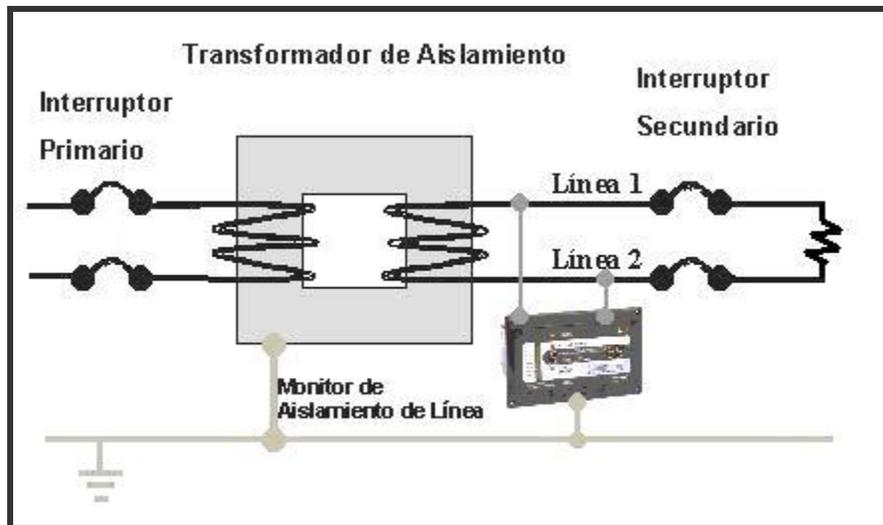


Figura 5.11: Disposición del monitor de línea

El escape eléctrico que puede ocurrir incluye no sólo el relativo a los cables (ningún aislante es perfecto), sino el de todo el equipo al que los cables suministran energía. Supongamos que se introduce un ECG defectuoso y se le conecta al sistema de energía aislada, el MAL lo indicará de inmediato. Si el ECG se puede sustituir por otro, el problema se resuelve; la alarma del MAL puede interrumpirse y ajustar el MAL de nuevo. Sin embargo, si el ECG defectuoso no se puede cambiar o si el MAL se alarma a la mitad de un procedimiento, el médico tendrá que tomar una decisión; puede detener la operación en ese punto y empezar de nuevo cuando se haya reparado el equipo o bien, como sucederá en la mayoría de los casos, apagar la alarma del MAL para que pueda llevar adelante la operación. Hay que hacer hincapié en que es la prerrogativa del cirujano y su decisión debe basarse en su totalidad en el bienestar del paciente. Si se decide continuar, todos en el quirófano deben estar conscientes de que el paciente, en cierto sentido, está “sin protección” y debe vigilársele con cuidado adicional.

El Monitor de Aislamiento de Línea, realmente mide Tensión y Resistencia entre los conductores activos y el de tierra, y en función de ello calcula una corriente. Este valor de corriente sería el que realmente circularía en caso de que llegara a presentarse una pérdida de aislamiento total. Esto quiere decir que cuando la alarma suena, no es que la corriente de fuga ya este circulando, sino que el sistema ha perdido aislamiento y puede presentarse la situación de que al existir una segunda falla entonces si circule ese nivel de corriente.

Existen dos puntos sobre los que hay que ser más específico para poder entender por completo el concepto del Monitor de Aislamiento de Línea, uno de ellos es el de “*Cables Activos del Sistema*” y el segundo es “*Falla a Tierra*”.

Los “Cables Activos del Sistema”, son aquellos que conducen la corriente eléctrica en forma habitual (Fase y Neutro); sin embargo cuando se trata de un Hospital y sobretodo en un tablero de aislamiento en que se utiliza un sistema eléctrico aislado no aterrizado, ahora los conductores activos son el Conductor aislado 1 y

Conductor aislado 2. y ya no existe el Neutro porque ya tampoco existe un conductor puesto a tierra debido a que el sistema es no aterrizado. Por otra parte la "Falla a Tierra", es una falla eléctrica en que interviene forzosamente el conductor de tierra o alguna superficie referenciada a tierra y además uno o más conductores activos.

Considerando las aclaraciones hechas anteriormente y regresando a la definición de Monitor de Aislamiento de Línea, en que se establece que es un equipo para monitorear la integridad del aislamiento entre los conductores activos y tierra, se puede concluir que: El MAL opera solo ante una Falla a Tierra y no ante un Cortocircuito.

El Cortocircuito o Sobrecarga, por lo general vienen precedidas de una falla a tierra, por lo que el personal que utiliza los quirófanos se informa por medio del Monitor de Aislamiento de Línea de que el Sistema Eléctrico Aislado No Aterrizado empieza a cambiar a un Sistema Aterrizado, por lo tanto se puede prevenir que se presente una falla mayor, sin embargo si esto sucediera, entonces la protección termomagnética de los interruptores derivados es la encargada de actuar ante una Sobrecarga o Cortocircuito.

El Eléctrico Aislado No Aterrizado se convierte en un Sistema Aterrizado cuando se presenta la Falla a Tierra Total, es decir que el sistema eléctrico se transforma en un sistema como el que usamos en la mayoría de las instalaciones, por lo tanto el médico (como se menciona anteriormente) tiene total libertad de decidir si continua la operación o la interrumpe, sin embargo, una vez concluida esa cirugía no se debe volver a utilizar el quirófano o equipos médicos hasta que no se haya encontrado el punto en que el sistema se aterrizó y se restituya el aislamiento en su totalidad.

Finalmente se puede establecer que el Monitor de Aislamiento de Línea es un equipo que verifica que se encuentre siempre en buen estado el aislamiento

existente entre los cables activos del sistema y el conductor de tierra o las superficies referenciadas a tierra, es decir, que ese aislamiento no se pierda gradualmente a causa de la degradación paulatina de los aislamientos, o en forma repentina a causa de una falla a tierra.

Uno de los elementos que pueden llegar a utilizarse dentro de un quirófano (que no se recomienda) y que aumenta las corrientes de fuga son las extensiones multicontacto. Hay que recordar que la alarma del MAL se dispara cuando rebasa el valor límite de seguridad y la presencia de extensiones multicontacto empeora esta situación. La extensión está constituida de tal manera que presenta un escape de 1uA por pie de cable (30.48cm); este valor es pequeño y varía de acuerdo al conductor pero al sumarse los centímetros de la extensión se genera un valor considerable. Todos estos escapes por centímetro alarmarían al MAL, por este motivo no es recomendable el uso de extensiones.



Figura 5.12: Uso de extensiones multicontacto.

#### **5.4.5 Conexión Equipotencial a Tierra.**

Otro medio de protección contra choque eléctrico para el paciente es la conexión equipotencial. Un sistema de conexión equipotencial a tierra consta de una barra de tierra la cual es un punto de colección para conectar a tierra todos los equipos electromédicos, una barra de tierra del paciente el cual es un punto de colección para la conexión necesaria a tierra de equipos electromédicos que sirven en la vecindad del paciente, y una de tierra en la habitación que sirve para las

envolventes metálicas de accesorio, mobiliario o superficies conductoras de la construcción en una habitación (Figura 5.13). Esta unión es con la finalidad de formar una trayectoria eléctricamente conductora, que asegure la continuidad eléctrica y la capacidad para conducir cualquier corriente que tenga la probabilidad de circular.

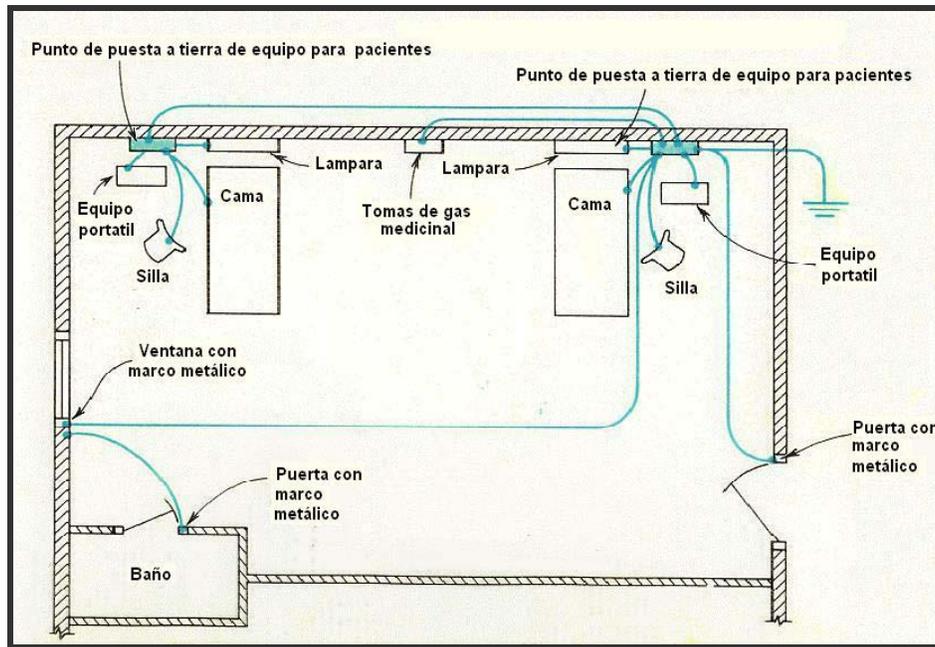


Figura 5.13: Conexión equipotencial a tierra.

### 5.5 Caso de análisis.

A continuación se presenta el caso de un quirófano el cual presenta características a discutirse basado en las medidas que protegen al paciente dentro de esta área.



Figura 5.14: Vista del quirófano de análisis.

Dentro del quirófano existen receptáculos que no cumplen con la característica de seguridad, tal es el caso de los que se encuentran en la parte de abajo y al costado derecho del negatoscopio que se observa al fondo en la figura 5.14.

Como puede apreciarse en la figura 5.15 los receptáculos dentro del quirófano no presentan la característica de ser grado hospital, además estos receptáculos no forman parte del sistema aislado por lo que ningún equipo médico debe ir conectado a ellos, ya que de ser utilizado sobre el paciente, este último está en riesgo de sufrir una lesión si el equipo no cuenta con su puesta a tierra. Además es una instalación improvisada, que no cumple las características de una instalación, y al ser metálica la tapa de los receptáculos puede existir la posibilidad de que se energice por alguna circunstancia y hacer pasar un mal rato a aquel que la toque accidentalmente.



Figura 5.15: Vista frontal de los receptáculos

El receptáculo al costado izquierdo del negatoscopio (Figura 5.16) muestra las mismas características de los anteriores: no es un receptáculo grado hospital, su canalización e instalación no son las adecuadas, además deja ver que el alambrado no cumple con el código de colores y las partes metálicas del receptáculo donde se hacen las conexiones están cubiertas con cinta aislante.



Figura 5.16: Receptáculo dentro del área de quirófano.

Otra anomalía encontrada dentro de este quirófano es el uso de extensiones, tal como lo muestra la figura.5.17.



Figura 5.17: Uso de extensiones dentro del quirófano.

Algo de suma importancia dentro de un quirófano es el sistema aislado el cual debe estar conformado entre otros elementos por un miliamperímetro el cual desempeñará el papel de alarma al personal en caso de que se presente pérdida de aislamiento y por tanto se presente el riesgo de que exista una corriente de fuga fluyendo a través del sistema eléctrico. Para el caso de este quirófano el amperímetro se encuentra a las afueras del quirófano, en el pasillo de circulación.



Figura 5.18: Ubicación del amperímetro en el pasillo de circulación.

Finalmente en el pasillo de circulación se encuentra una equipo móvil de RX el cual se encuentra conectado a un receptáculo que no es grado hospital. Evidentemente el equipo no será utilizado en el pasillo pero el hecho de estar conectado a un receptáculo que no le corresponde nos habla que los equipos son conectados a este tipo de receptáculos, lo que refuerza la sospecha de que en los receptáculos dentro del quirófano sean utilizados para conectar equipo médico.



Figura 5.19: El receptáculo no cumple con la característica de ser grado hospital.

El quirófano anterior presenta serías deficiencias por lo que existe un riesgo latente de que el paciente corra un riesgo potencial de sufrir una lesión eléctrica al no contar con las medidas de protección necesarias que se han descrito en a lo largo de este capítulo. De existir algún equipo en mal estado y conectado a

cualquiera de estos receptáculos y además conectado al paciente, no podría garantizarse seguridad eléctrica para él, además el uso de la extensión aumenta las corrientes de fuga; una elevada cantidad de corrientes de fuga que lleguen al límite de seguridad o bien lo rebase alarmaría al monitor de aislamiento de línea y por consiguiente al amperímetro; este último necesariamente tiene que estar a la vista del personal que se encuentra dentro del quirófano para dar a conocer que se están alcanzando una situación de riesgo para el paciente y tomar las medidas necesarias para controlar la situación; por todo lo anterior hace que este quirófano no sea seguro para ningún paciente.

## **6. Secciones del Artículo 517 de la NOM 001 SEDE 2005 correspondientes a las Áreas de Atención del Paciente en un Hospital.**

La elección del medio de protección eléctrico depende de las características que tienen cada uno de los espacios que conforman el hospital, ya que dependerá del tipo de servicio de promoción, prevención, diagnóstico, terapéuticos y de rehabilitación que en estos se practiquen. El medio de protección se debe de escoger siempre con la idea de proteger principalmente al paciente del choque eléctrico y de las lesiones que se pueden originar. Algunos puntos a considerar para una correcta elección del medio de protección eléctrica son los siguientes:

1. La correcta interpretación y conocimiento de las condiciones en las que se encuentra el paciente para poder entender el riesgo eléctrico al cual esta sometido y poder protegerlo.
2. La clara identificación de las áreas de atención al paciente por parte del responsable sanitario
3. El entendimiento de los medios de protección, su principio de funcionamiento y las limitaciones que tiene.
4. Las especificaciones técnicas aplicables a las instalaciones eléctricas hospitalarias.

Si se cumple con todo lo anterior se puede asegurar una disminución casi total de los peligros eléctricos a los cuales están sometidos los pacientes en un área de atención, ya sea general, crítica o local húmedo.

Esta parte no pretende ser una guía, únicamente busca explicar el punto cuatro de ésta lista para dar a conocer de manera general las especificaciones técnicas que refiere la NOM 001 SEDE 2005 dentro del artículo 517 para proveer un medio de protección eléctrica al paciente en cada una de las áreas de atención del mismo.

### **6.1 Breve descripción del contenido de las secciones del 517 que refieren a los medios de protección en las áreas de atención al paciente.**

El artículo 517 inicia en la Parte A (Disposiciones Generales), de la cual en la sección 517-1 "Alcance" menciona claramente que los criterios ahí mencionados se aplican en la instalación eléctrica de los lugares de atención de la salud de seres humanos, no aplicada así en instalaciones veterinarias. Además aclara que la parte B (Alambrado y protección) se aplica a cualquier lugar donde se realicen los servicios de diagnóstico, tratamiento o rehabilitación; y sin importar donde se encuentren estos, por ejemplo un consultorio dentro de una torre médica.

Otra parte que hay que señalar del 517-1 y que es de suma importancia para seguir previendo de seguridad eléctrica son el mantenimiento y pruebas que se deben realizar a las instalaciones eléctricas de los lugares de atención de la salud, y que para estos casos como para lo concerniente a los criterios en la ejecución, el artículo 517 y la NOM no comprenden dicha información debido a que como se menciona en el capítulo dos, esta NOM no deben considerarse como guía de diseño de instalaciones ni como un manual de instrucciones por lo que hay referirse a los documentos apropiados para instalaciones en lugares de atención de la salud como la NFPA 99 Health Care Facilities, la NOM-178-SSA1-1998 y la NOM-197-SSA1-2000.

El 517-2 "Definiciones" es fundamental, ya que en él está contenido las definiciones referidas a los lugares de atención de la salud y las cuales nos permitirán partir para elegir el medio de protección eléctrico para el paciente y comprender los conceptos de vecindad del paciente, cama del paciente, área de cuidado del paciente (área general o crítica), local húmedo, equipo o aparato electromédico de soporte de vida, anestésicos inflamables, áreas de anestésicos inflamables, locales para anestesia, entre otros muy importantes.

Cabe mencionar que actualmente los quirófanos que se proyectan no se hacen contra explosiones debido a que los gases utilizados actualmente se manejan por debajo de su índice de inflamabilidad (sevoflurane 11%, desflurane 20.8%,

sevorane como máximo en 8% y el desflorane en 18%), únicamente se considera como un lugar peligroso de explosión en un radio de 30 cm alrededor de la mascarilla del paciente, además, la presión positiva y los cambios de aire proporcionan aire fresco para evitar acumulaciones de gases o concentraciones peligrosas en el ambiente. Además que el problema de chispas generadas por carga estática se evita teniendo condiciones de humedad mayores al 50% (alrededor de 25 °C) evitando así ambientes secos.

Es importante señalar que la Parte D. “Locales de anestesia por inhalación” del 517 hace referencia a los locales de anestesia y ya sea que se definan como áreas clasificadas o no clasificadas como peligrosas son designadas como local húmedo, por lo que se debe cumplir lo concerniente a instalaciones eléctricas para locales húmedos; y se debe contar con un sistema eléctrico aislado (517-160); dicho sistema fue utilizado por muchos años como el medio para controlar explosiones en los locales de anestesia, adicionalmente también se controlaba mediante el uso de tubería metálica hermética la cual al menos 5 roscas deben estar completamente introducidas, el uso de compuesto sellador aprobado que debe ser de tipo pesado o semipesado con rosca, el uso de accesorios y dispositivos aprobados para áreas clase I división 1 con envolventes a prueba de explosión y contactos non-explosion de medio giro que por su sistema de ensamblado aíslan la probable chispa que se genera al conectar un equipo a la red eléctrica o por el mal funcionamiento de equipos que puedan comportarse como fuente de ignición. Pero ahora con el desuso de anestésicos inflamables el sistema aislado no aterrizado tiene como objetivo brindar continuidad del servicio eléctrico en caso de la primera falla a tierra. El lector no debe concretarse a este párrafo y deberá acudir a los documentos normativos para locales anestésicos y cumplir con lo señalado.

Cerrando esta breve aclaración retomemos lo que conciernen a este trabajo. El artículo 517 en su parte B. “Alambrado y protección”, menciona en la sección 517-10 “Aplicación” que las protecciones y el modo de alambrado se aplican a las áreas

de atención al paciente en todas las instalaciones en lugares de atención de la salud que para nuestro caso serán los hospitales en los que nos concentraremos. Las especificaciones técnicas del artículo 517 no se aplican a oficinas, salas de espera o pasillos debido a que estos espacios no están destinados para la atención de pacientes.

El 517-11 define el objetivo de los criterios generales de instalación y construcción, el cual es especificar los criterios de instalación y métodos de alambrado para minimizar las posibilidades de riesgos eléctricos, manteniendo mínimas diferencias de potencial entre las superficies conductoras expuestas de equipos y aparatos utilizados en la vecindad del paciente y con las cuales el paciente puede tener contacto directo o a través de personas u otros medios. Tanto en el objetivo como en la nota se hace referencia lo que a lo largo de este trabajo se ha hecho hincapié: “minimizar los riesgos eléctricos en la vecindad del paciente”, debido a que existe la posibilidad de mayor sensibilidad al choque eléctrico en el paciente por la disminución de la resistencia corporal debido a el uso de equipo electromédico y los procedimientos invasivos; por lo cual los responsables del diseño, instalación o mantenimiento del sistema eléctrico en áreas de cuidado del paciente deben estar bien familiarizados con los peligros existentes y sus consecuencias.

El artículo 517-12 (Métodos de alambrado) nos indica que los métodos de alambrado deben cumplir los requisitos de los capítulos 1 al 4 pero aplicando las modificaciones que indique el 517 para cada caso, es decir que las especificaciones técnicas de un hospital son distintas y especiales debido al tipo de procedimiento que en este se llevan a cabo, por lo cual se modifican los requerimientos técnicos de alambrado generales del capítulo 1 al 4.

Dentro de la sección 517-13 “Conexión de puesta a tierra de receptáculos y equipo eléctrico fijo”, en sus incisos (a) y (b) mencionan que en todos los circuitos derivados en las áreas de atención al paciente que se localicen o utilicen en la

vecindad del paciente deben proveerse de una trayectoria de puesta a tierra para corriente eléctrica de falla a través de una canalización metálica, entre otras. Además las terminales de puesta a tierra de todos los receptáculos (tercera pata) y todas las superficies normalmente no conductoras de los equipos eléctricos fijos (carcasas), con probabilidad de energizarse y que estén expuestos al contacto con las personas y que funcionen a más de 100 V (equipo electromédico), se deben poner a tierra con un conductor sólido o trenzado de cobre aislado debidamente dimensionado. Figura 6.2.

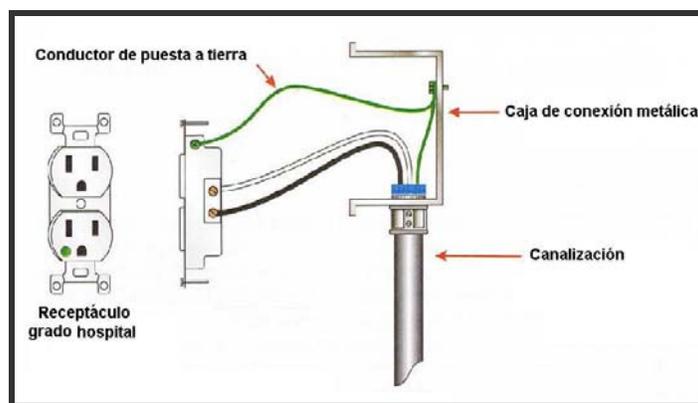


Figura 6.2: Conductor de puesta a tierra en las áreas de atención del paciente.

En la figura anterior se puede observar que se trata de un receptáculo grado hospital (identificado por un punto verde), además se observa que se cumple con la codificación de colores para conductores (puesta a tierra verde o amarilla con franjas verdes, neutro blanco o gris y fase negro o cualquier color distinto al neutro o puesta a tierra).

El 517-13 además marca dos excepciones donde la primera señala que las placas metálicas pueden ser puestas a tierra por medio de tornillos metálicos los cuales fijan la placa a la caja de salida puesta a tierra o por un dispositivo aprobado de alambrado para puesta a tierra., esto con la finalidad de asegurar la redundancia de la puesta a tierra. Figura 6.3.

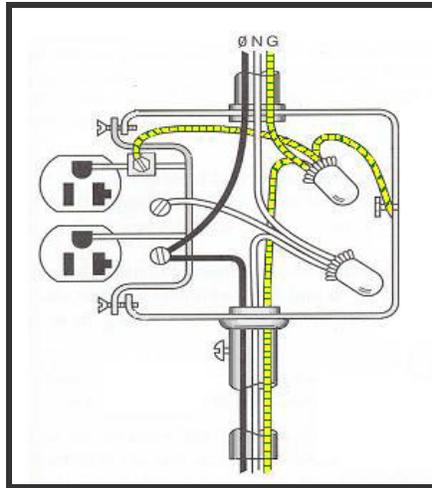


Figura 6.3: Aseguramiento de la redundancia del conductor de puesta a tierra.

En la excepción 2: Para los luminarios a más de 2,3 m sobre el nivel de piso terminado y desconectores localizados fuera de la vecindad del paciente no se requiere que tengan puesta a tierra por medio de un conductor aislado, es decir, al estar alejados o fuera de la vecindad del paciente es improbable que el paciente entre en contacto con estos elementos por lo cual no se exige el requisito de puesta a tierra redundante, pero si se deben aterrizar. Figura 6.4.

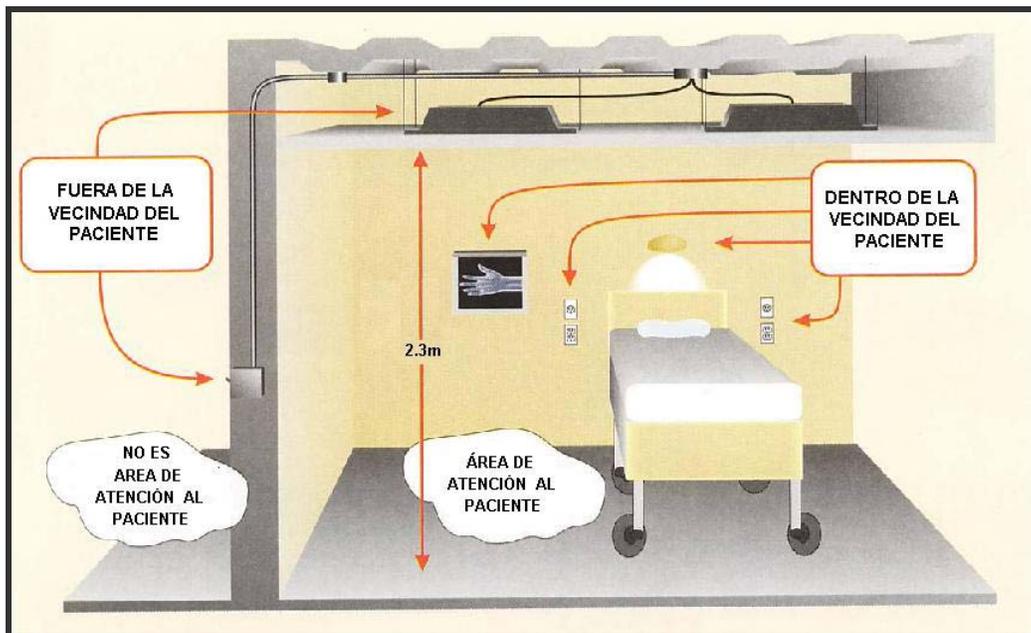


Figura 6.4: Identificación de los elementos que deben tener puesta a tierra por medio de un conductor aislado.

La sección 517-14 “Puente de unión de tableros de alumbrado y control” indica que las barras de puesta a tierra de tableros de alumbrado y control, tanto de los circuitos normales como de los esenciales utilizados en la vecindad del paciente deben interconectarse con conductores de cobre aislados de tamaño nominal no menor que  $5,26 \text{ mm}^2$  (10 AWG), esto con la finalidad de tener una conexión equipotencial en la vecindad del paciente. Donde haya más de dos tableros que distribuyan energía al mismo lugar, estos conductores deben ser continuos de un tablero a otro para reducir al mínimo la impedancia del conductor de puesta a tierra entre ambos circuitos. Figura 6.5.

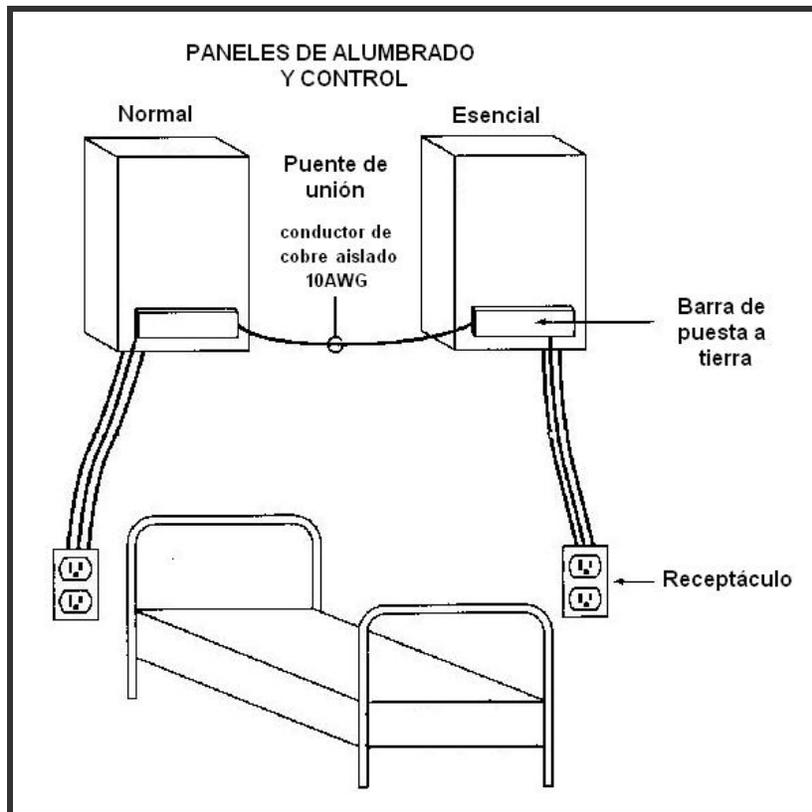


Figura 6.5: Puente de unión de las barras de puesta a tierra.

La sección 517-16 “Receptáculos con terminal de puesta a tierra aislada”, indica que los receptáculos con terminal de puesta a tierra aislada permitidos en la Excepción 4 de 250-74, son con la finalidad de reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) y deben ser identificados visiblemente después

de su instalación mediante un triángulo naranja en la carátula. Este tipo de receptáculos la puesta a tierra está aislada intencionalmente de los medios de montaje de contacto (caja metálica). Debido a que se requiere de un conductor aislado e independiente, no se cumple con el requisito de contar con la puesta a tierra redundante, lo que ocasiona que en caso de la pérdida de la continuidad el paciente pueda quedar sujeto a diferencias de tensión y corrientes eléctricas que pongan en riesgo su vida. Además, la impedancia de puesta a tierra es controlada sólo por medio del conductor de puesta a tierra aislado e independiente (el conductor de puesta a tierra aislada pasa a través de uno o más tableros de alumbrado y control sin conectarlo a las terminales de puesta a tierra de los mismos llegando así hasta el tablero principal); y no se beneficia funcionalmente con ningún otro trayecto paralelo de puesta a tierra. No se debe olvidar que el propósito principal de la puesta a tierra de los equipos es la seguridad personal, no la reducción de ruido, por lo que la seguridad debe prevalecer en las áreas de atención al paciente y en especial en la vecindad de este.

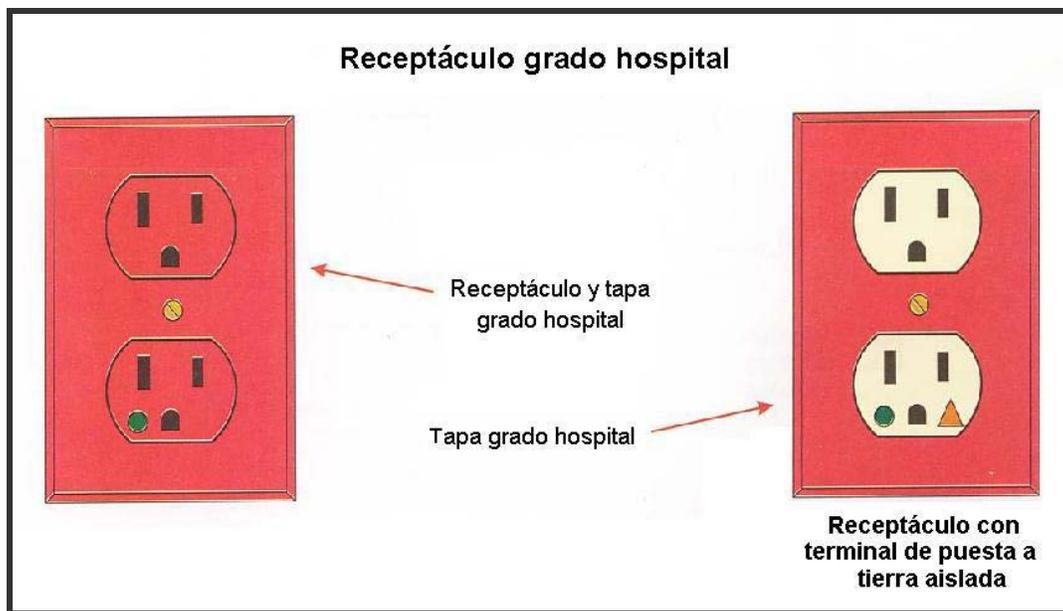


Figura 6.6: La figura muestra la diferencia entre un receptáculo grado hospital y el que es de puesta a tierra aislada.(triángulo anaranjado)

El 517-18 (Áreas de atención general) dentro de los incisos que lo conforman menciona dos conceptos no vistos a lo largo de este trabajo y que aunque por su naturaleza quedan fuera del objetivo de este trabajo en esta parte es importante mencionar. Dentro de las instalaciones eléctricas de los lugares de atención de la salud, la continuidad de la energía es de suma importancia para las áreas de atención crítica por lo que es necesario el Sistema Eléctrico Esencial. El artículo 517-2 define al Sistema Eléctrico Esencial como un sistema compuesto por los subsistemas de emergencia y de equipos, constituido por fuentes alternas de energía con todos los circuitos de distribución, dispositivos y equipos conectados. El sistema debe de diseñarse para garantizar la continuidad de la energía eléctrica en lugares de atención de la salud, durante la interrupción del suministro de la fuente normal y para minimizar los problemas ocasionados por las fallas internas en los sistemas eléctricos esencial y no esencial.

El Sistema Eléctrico Esencial es de suma importancia en los lugares de atención de la salud por lo que invitamos al lector a referirse al apartado C “Sistema eléctrico esencial” del artículo 517, así como a la NFPA 99 y otros títulos de NFPA que se mencionan en la bibliografía. En este trabajo no se menciona a fondo al Sistema Eléctrico debido a los alcances del tema, aun así se hace notar la relevancia e importancia que tiene un buen diseño de este en las áreas de atención al paciente.

En cuanto a lo que compete este trabajo debe mencionarse que el 517-18 en el inciso (b) “Receptáculos para camas de pacientes” indica que cada cama (de un hospital – excepción 1) debe estar provista como mínimo de 4 receptáculos (sencillos o dúplex), además deben ser del tipo grado hospital, los cuales deben ser identificados con un punto verde, además su terminal de puesta a tierra debe hacerse por medio de un conductor de cobre aislado y su sistema de redundancia (517-13 b) debe ser seleccionado según la tabla 250-95 por si sistema de protección contra sobrecorriente. En instalaciones existentes y que no existan receptáculos grado hospital no es necesario su reemplazo inmediato pero al

llevarse a cabo una remodelación si se debe de instalar receptáculos grado hospital. Por último, los receptáculos instalados en áreas de pediatría deben tener una protección o cubierta resistente para evitar que los niños introduzcan objetos.

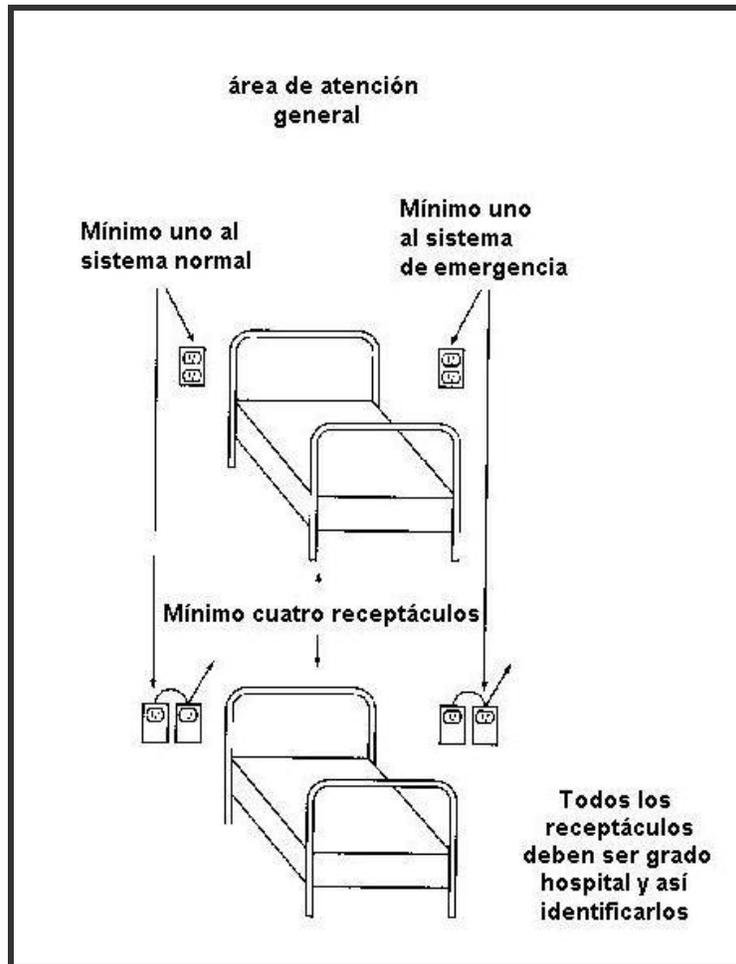


Figura 6.7: Receptáculos grado hospital para camas de pacientes en áreas de atención general.

El 517-19 dentro de los incisos que lo conforman menciona las especificaciones que debe cumplir el sistema eléctrico esencial para las áreas de atención crítica, y 4n su inciso (b) "Receptáculos para camas de pacientes", señala que en las áreas de atención crítica el número de receptáculos aumenta a un mínimo de 6 (6 sencillos, 3 dobles o una combinación de sencillos y dobles), además, deben ser grado hospital y contar con su conexión de puesta a tierra hasta el punto de

referencia del tablero mediante un conductor aislado de cobre, también debe de cumplir con el requisito de redundancia.

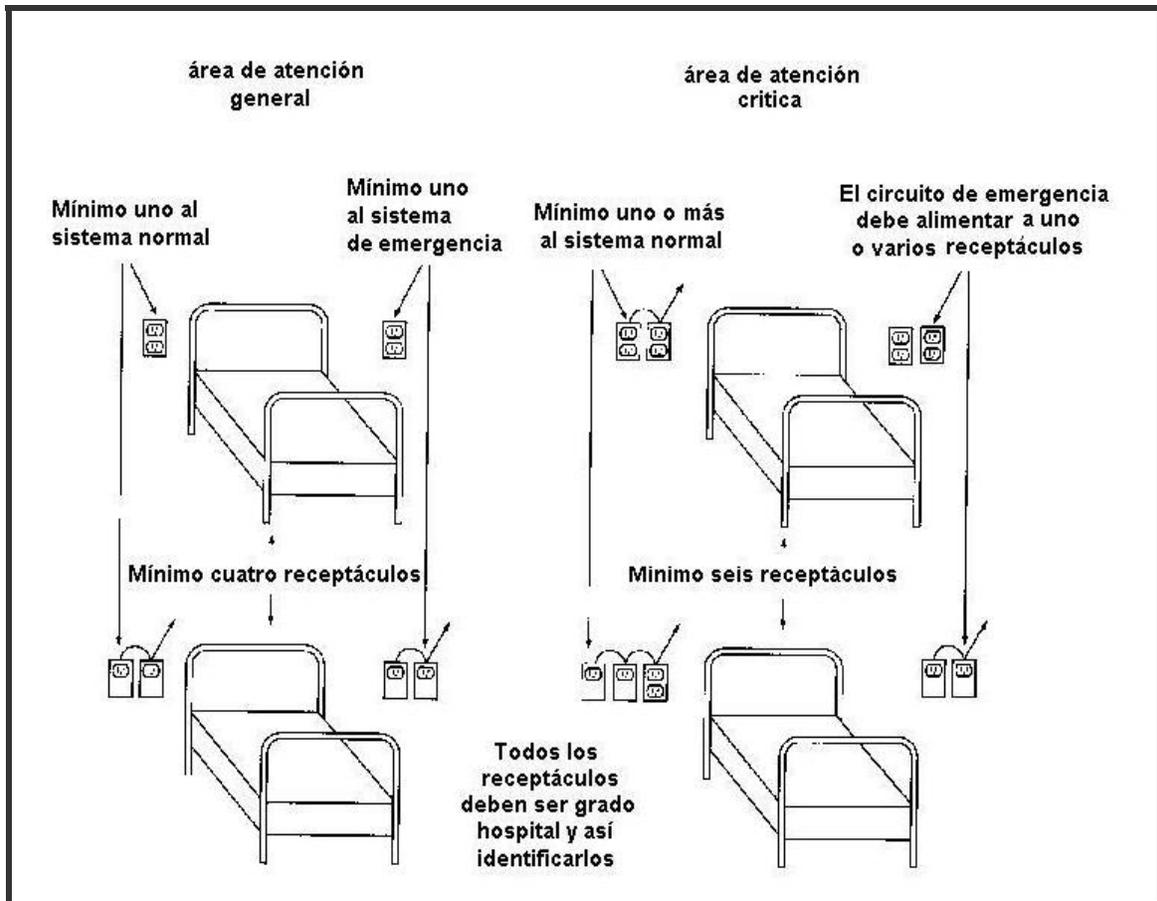


Figura 6.8: Receptáculos grado hospital para camas de pacientes en áreas de atención crítica. Véase la diferencia con las áreas de atención general.

En su inciso (c) “Conexión de puesta a tierra en la vecindad del paciente (punto de equipotencialidad opcional)” señala que se permite de forma opcional la conexión para puesta a tierra en la vecindad del paciente mediante un punto de referencia de puesta a tierra del equipo en la vecindad del paciente, el cual podrá contener uno o más conectores para este propósito. El conductor para la conexión entre el punto de puesta a tierra del equipo en la vecindad del paciente y los receptáculos no debe ser menor que  $5,26\text{mm}^2$  (10 AWG) y deberá utilizarse para conectar la terminal de puesta a tierra de todos los receptáculos con el punto de referencia de puesta a tierra del equipo en la vecindad del paciente. Cuando no exista este

punto de equipotencialidad en la proximidad del paciente es importante que la distancia entre el punto de referencia de puesta a tierra del sistema aislado o tablero y la vecindad del paciente sea lo mas corto posible para minimizar diferencias de tensión.

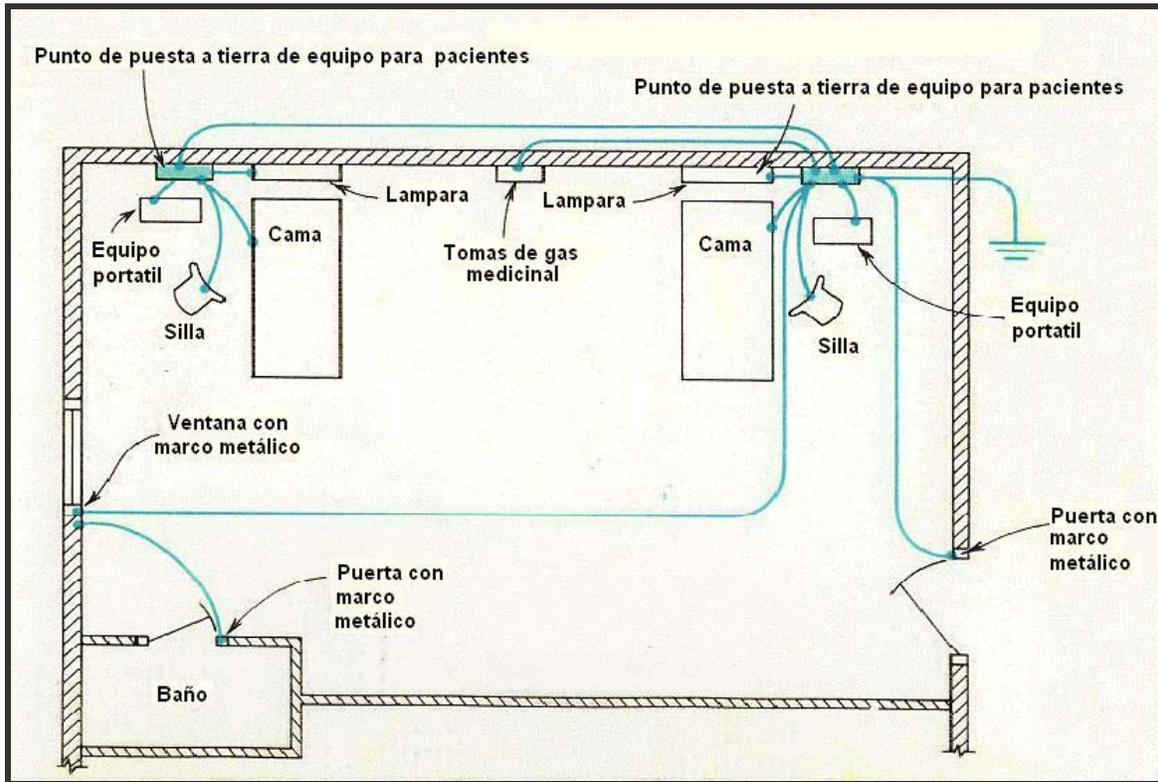


Figura 6.9: Puntos de puesta a tierra en la vecindad del paciente

En el 517-19(d) se menciona lo siguiente que cuando se utilice un sistema de distribución eléctrica puesto a tierra y se usa canalización metálica o cables tipo MC o MI, la puesta a tierra del tablero de distribución debe asegurarse en cada punto de unión de la canalización por dispositivos apropiados como contratuercas y un conductor de cobre aislado adecuado según 250-95. Figura 6.10.

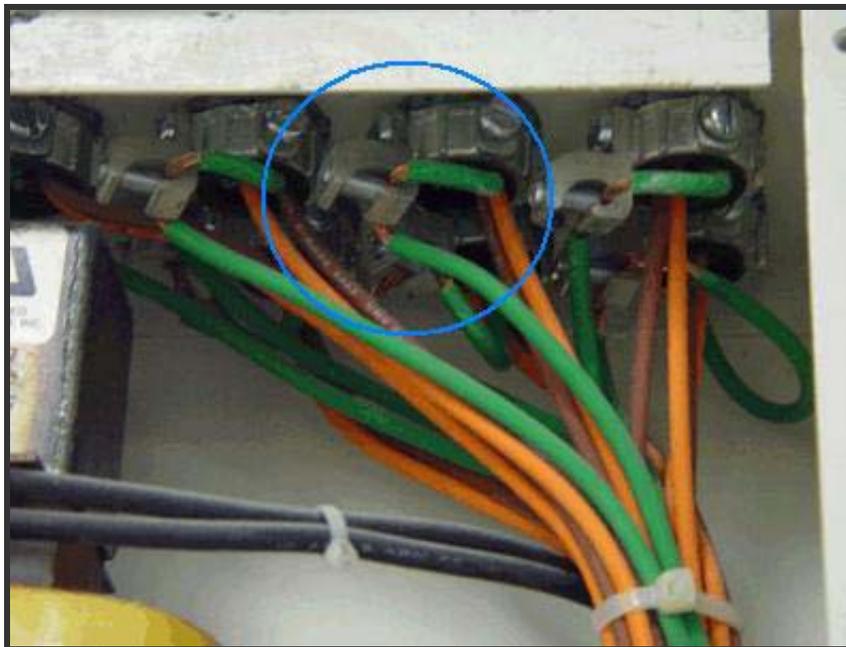


Figura 6.10: Aunque el cable de puesta a tierra es aislado existe redundancia con el conduit metálico que se conecta al panel. Véase el círculo.

Por tratarse de un área de atención crítica y por consiguiente para la mayoría de los casos se trata de un local húmedo se permite el uso de sistemas eléctricos aislados. (517-19e “Técnicas de protección adicional en áreas de atención críticas). Si se llegase a utilizar el sistema eléctrico aislado debe ser aprobado para este propósito y el sistema debe ser diseñado, instalado y probado para estar de acuerdo con lo indicado en la sección 517-160. Además se permite que los indicadores audibles y visibles del monitor de aislamiento de línea se localicen en la estación de enfermeras responsables del área de atención. Por otra parte en el inciso (f) “Puesta a tierra de un sistema de alimentación separado” se permite que el conductor de puesta a tierra asociado con el circuito secundario vaya por fuera de la canalización de los conductores de energía del mismo circuito, aunque se permite esto es más seguro colocarlos juntos porque se garantiza una baja impedancia en caso de una segunda falla a tierra o corto circuito propiciando una mejor operación de las protecciones.

La parte (g) Puesta a tierra de receptáculos para uso especial. Nos indica que el conductor de puesta a tierra de equipos de rayos X portátiles deben continuarse

hasta el punto de referencia de puesta a tierra de los circuitos derivados en todos los lugares probables de utilización de estos receptáculos (para que exista equipotencialidad en las áreas críticas).

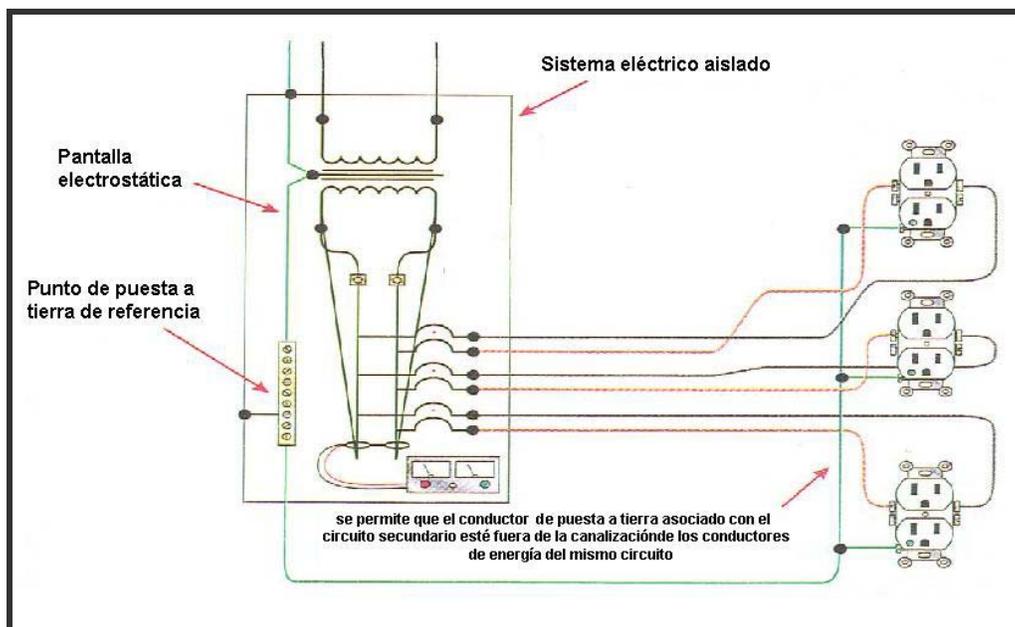


Figura 6.11: Aun cuando se permite en 517-19(f) que el conductor de puesta a tierra, se instale fuera de la canalización, es más seguro que el conductor esté junto con los conductores de energía, lo cual garantiza una baja impedancia en el caso de una segunda falla a tierra o corto circuito entre líneas, propiciando mejor operación de las protecciones.

Dentro del 517-20 “Locales húmedos” se abordan los locales húmedos y refiere que todos los receptáculos y equipo fijo dentro del local mojado deben tener una protección para el personal con interruptor de circuito por falla a tierra, si la interrupción de energía bajo condiciones de falla puede ser tolerada (área de atención general). La excepción nos dice que si los circuitos derivados alimenten solamente a equipo terapéutico y para diagnóstico fijo y aprobado, podrán alimentarse de un servicio normal puesto a tierra, ya sea monofásico o trifásico siempre que:

1. El alambrado para los circuitos aislados y de los circuitos puestos a tierra no ocupen las mismas canalizaciones, y
2. Todas las superficies conductoras del equipo estén puestas a tierra.

Esta sección también nos indica que los interruptores de falla a tierra (GFCI por sus siglas en inglés) grado hospital y los receptáculos con este tipo de protección, deben de probarse para que operen a menos de 6 mA (517-20 c).



Figura 6.12: Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (ICFT) grado hospital.

En 517-20c señala que cuando la interrupción de energía bajo condiciones de falla no sea tolerada, la alimentación debe ser por un sistema de energía aislado, en el cual el equipo utilizado debe estar aprobado para este propósito e instalado de tal manera que cumpla con lo requerido en el 517-160. Figura 6.13.

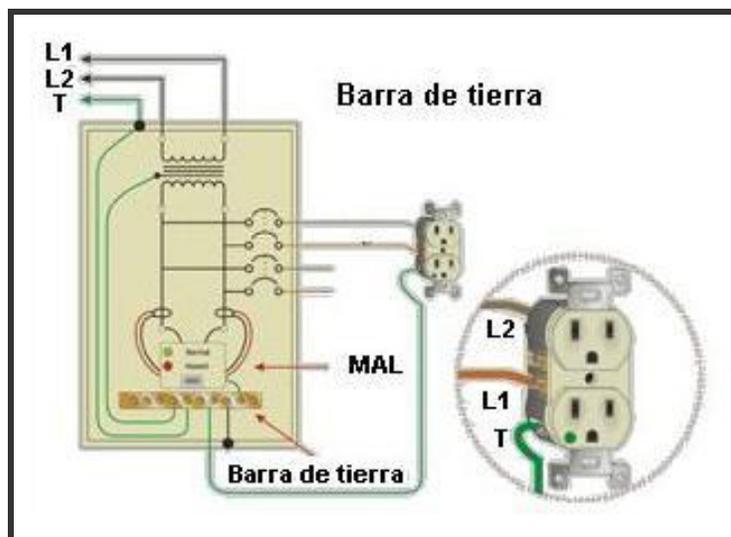


Figura 6.13: Sistema eléctrico aislado.

En el 517-21 Interruptor de circuito por falla a tierra para protección de personas” hace mención que no se requiere protección para personas con interruptor de

circuito por falla a tierra en receptáculos instalados en áreas de cuidados críticos, donde el lavabo sea instalado dentro del cuarto del paciente. Figura 6.14.

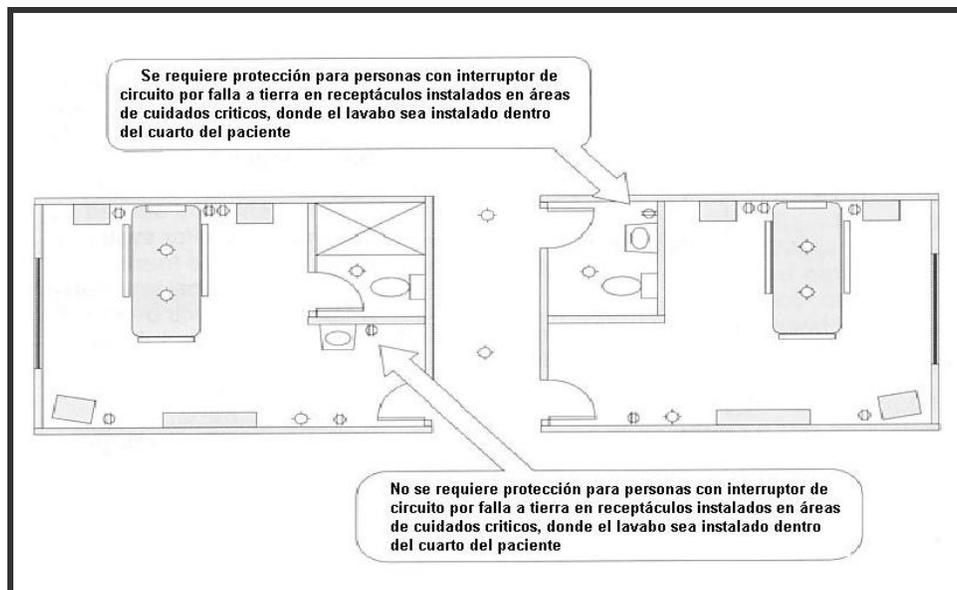


Figura 6.14: Casos para los que se requiere ICFT en receptáculos cerca de lavabos dentro de áreas de atención crítica.

Antes de continuar es necesario realizar el siguiente comentario, el artículo 517 esta compuesto por varias secciones agrupadas en siete partes designadas por letras del abecedario. Todas ellas son importantes en los criterios que establecen para los sistemas eléctricos de los lugares de atención de la salud, pero hasta ahora nos hemos centrado en aquellas secciones que hacen referencia a los medios de protección contra choque dejando a un lado las disposiciones para el sistema eléctrico esencial, los locales de anestesia, las instalaciones para rayos X y los sistemas de comunicaciones, de señalización, de información, de señalización de protección contra incendio y para tensiones menores a 127V.

Lo anterior es debido a que el punto central de este trabajo es identificar las secciones del 517 con la finalidad de reducir el choque eléctrico a pacientes en las áreas de atención en un hospital y los efectos fisiológicos que produce.

Finalmente queda mencionar el sistema eléctrico aislado el cual esta contenido en la parte G sección 160 del 517. Los sistemas eléctricos aislados deben poseer características muy particulares tales como que cada circuito eléctrico aislado debe controlarse por un desconectador que tenga un polo para la desconexión en cada conductor de circuito aislado, para interrumpir simultáneamente toda la energía. Que los circuitos que alimenten los primarios de los transformadores de aislamiento deben operar a no más de 600 V entre conductores y deben tener una apropiada protección para sobrecorriente. La tensión eléctrica secundaria de tales transformadores no debe exceder de 600 V entre conductores de cada circuito. Todos los circuitos alimentados desde tales secundarios no deben ser puestos a tierra, y deben tener un dispositivo de protección por sobrecorriente aprobado de valor nominal adecuado para cada conductor.

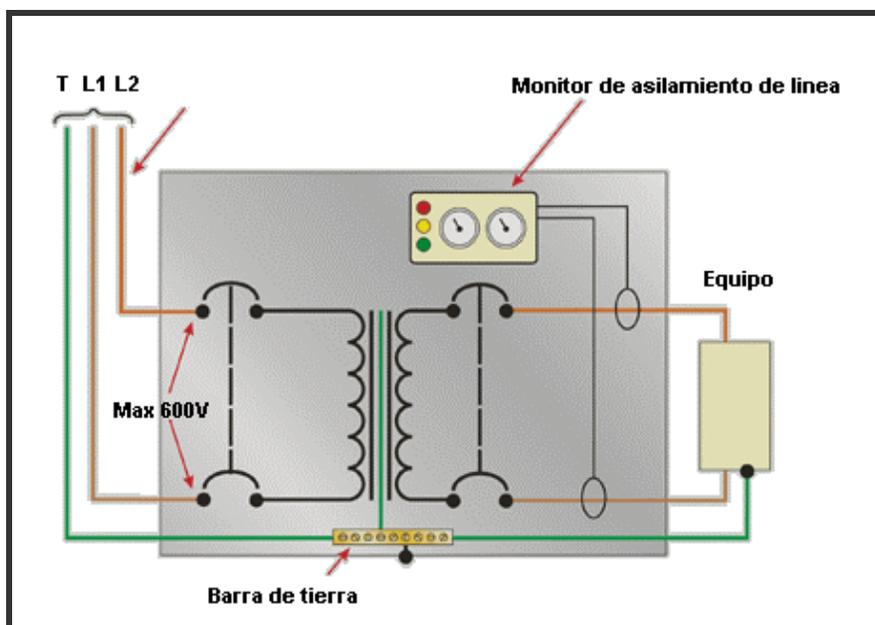


Figura 6.15: Los transformadores de aislamiento deben operar a no más de 600 V

También señala la identificación de conductores de un circuito aislado físicamente como sigue: Conductor aislado físicamente 1 – naranja (neutro). Conductor aislado físicamente 2 – café (fase). Además hace notar que es recomendable limitar el tamaño del transformador de aislamiento a 10 kVA o menos y usar aislamiento de conductores con baja corriente de fuga que satisfagan los requisitos de

impedancia. Que si se reduce al mínimo la longitud de los conductores del circuito derivado y se utilizan aislamientos de conductores con una constante dieléctrica menor que 3,5 y una resistencia de aislamiento correspondiente a una constante mayor que  $6\ 100\ M\Omega\cdot m$  a  $16\ ^\circ C$ , se reduce la corriente de fuga de la línea a tierra, reduciéndose la corriente peligrosa.



Figura 6.16: Identificación de conductores de un circuito aislado. Conductor aislado 1 (naranja) ;  
Conductor aislado 2 (café).

El 517-160 señala que cada sistema eléctrico aislado debe estar provisto con un monitor de aislamiento de línea que opere continuamente para indicar la corriente peligrosa total. El monitor debe estar diseñado de tal manera que, mientras el sistema esté aislado de tierra en forma adecuada, permanezca encendida una lámpara señalizadora de color verde, que pueda verse fácilmente por las personas en cada área alimentada por el sistema eléctrico aislado. Cuando la corriente peligrosa total (que consiste en posibles corrientes de fuga resistivas y capacitivas) entre cualquier conductor aislado físicamente y tierra alcance un valor cercano a 5 mA, bajo condiciones de tensión eléctrica nominal, debe encenderse una lámpara señalizadora de color rojo y una alarma audible (remota si se desea). El monitor de línea no debe activarse la alarma para valores menores a 3,7 mA o para una corriente peligrosa total de menos de 5 mA.



Figura 6.17: Señalización del monitor de aislamiento de línea.

### 6.1 Elección del medio de protección en las áreas de atención del paciente

Una forma ordenada y sencilla para saber qué tipo de sistema eléctrico de protección se necesita en un área de atención al paciente es mediante el uso de una serie de preguntas que nos ayuden a considerar los puntos clave para una correcta elección. Antes de formularse las siguientes preguntas debe considerar que cuando se diseña un área lugar de atención de la salud lo más conveniente es conocer el tipo de procedimientos que se llevarán a cabo, desafortunadamente sino se conoce a fondo los lugares de atención es difícil poder diseñar el sistema de protección adecuado debido a la gran diversidad de procedimientos y equipos que son usados en la actualidad, por ello es necesario asesorarse por el responsable sanitario

#### 1. ¿Qué área de atención al paciente se trata?

Una pregunta indispensable es la categoría en la que cae el área de atención al paciente que queremos diseñar. Como ya vimos con anterioridad estas se pueden considerar como de atención general o atención crítica y dentro de cada se pueden considerar a la vez un local húmedo.

#### 2. ¿Se pueden usar anestésicos inflamables?

Esta pregunta es importante ya que ayuda a discernir entre el uso de un medio de protección u otro. Los anestésicos inflamables (fluroxeno, ciclopropano, éter divinyl, cloruro de etileno, éter etileno y etileno) cada vez son menos utilizados en

los procedimientos modernos y aunque existen hoy día gases anestésicos “no inflamables” (como el sevorane y desflurane) estos tienen un índice de inflamabilidad que cuando se supera se pueden llegar a formar mezclas inflamables o explosivas en combinación con el aire, oxígeno u óxido nitroso, aún con esto hay que recordar que los equipos despachadores de gas anestésico están diseñados de tal forma que suministran cantidades por debajo del índice de inflamabilidad de estos gases, con lo cual un quirófano o sala de expulsión no se define como un área explosiva, únicamente se hace hincapié en los cuidados especiales que se deben de tener a 30cm alrededor de la mascarilla del paciente ya que en esta área pudiera existir una concentración más alta y por lo tanto un riesgo de explosión.

3. ¿Existen equipos de soporte de vida o que por seguridad no puedan tolerar interrupción de energía bajo condiciones de falla?

Los equipos de soporte de vida deben tener una alimentación eléctrica continua para mantener la vida del paciente, por lo cual en caso de interrumpirse su alimentación se convierte en un riesgo para este, por ello la importancia de escoger un medio de protección que en presencia de una falla eléctrica no corte la energía pero si avise del riesgo potencial (por corrientes de fuga) en el cual se encuentra el paciente, ahora bien, si no hay equipo de soporte de vida se debe hacer funcionar el medio de desconexión lo más rápido posible para protección del paciente.

4. ¿Es local húmedo?

Un local húmedo puede ser a la vez un área de atención general o crítica y son lugares de trabajo que rutinariamente están empapados o mojados; cuando estas condiciones están relacionadas íntimamente con el paciente, es decir se tienen fluidos corporales o equipo que para su funcionamiento ocupa agua, el sistema de protección debe escogerse considerando no solo la baja impedancia a la cual está sometido el paciente sino también al posible uso de equipos de soporte de vida.

Las preguntas anteriores se pueden relacionar mediante un diagrama de flujo para hacer la selección del sistema de protección en las áreas de atención al paciente en un hospital.

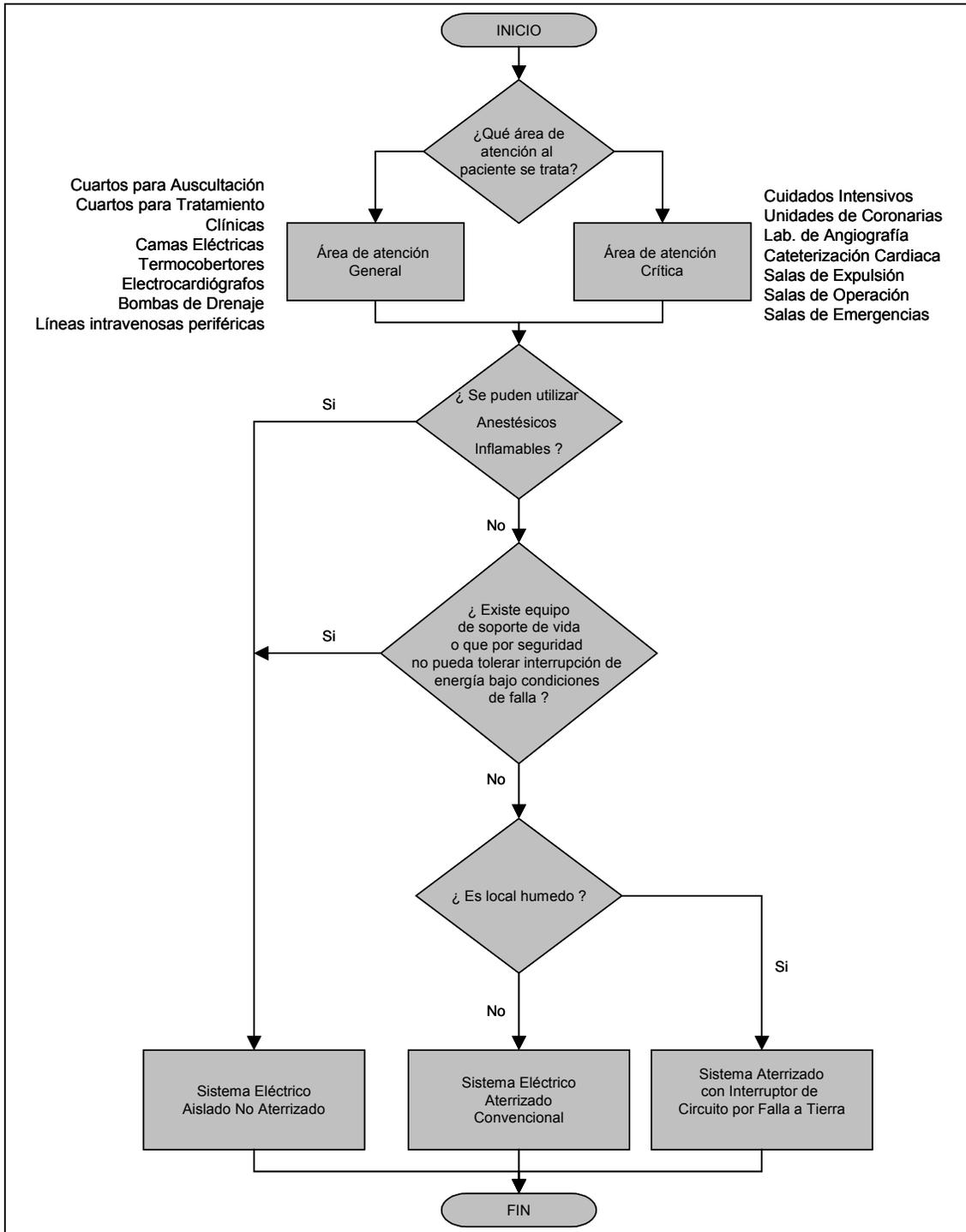


Figura 6.1: Diagrama de flujo para la elección del medio de protección eléctrica

Partiendo de la breve descripción de algunas de las secciones del 517 relacionaremos las secciones que estén involucradas con cada una de las preguntas establecidas con anterioridad.

**Pregunta 1** - ¿Qué área de atención al paciente se trata?

Para reconocer el área de atención al paciente de que se trata el artículo 517 dentro de la sección 517-3. “Definiciones”, establece la definición de áreas de atención del paciente y de sus clasificaciones:

- a. Área de atención general.
- b. Área de atención crítico.
- c. Local húmedo.

La sección 517-10 “Aplicación” en el inciso b punto 1 deja claro que los espacios donde se den servicios que no tienen que ver con la atención médica directa del paciente no se consideran como áreas de atención al paciente, como pueden ser las oficinas administrativas, circulaciones, antesalas o salones de usos múltiples, comedores o áreas similares, debido a que no se prestan servicio de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación.

**Pregunta 2** - ¿Se pueden usar anestésicos inflamables?

Dentro de las definiciones de la sección 517-3 se cuenta con el significado de Anestésicos inflamables y Áreas de anestésicos inflamables; y gracias a estas definiciones se tiene claro las áreas donde se cuenta con anestésicos así como aquellos que son considerados como inflamables.

La sección 517-60 “Clasificación de locales de anestesia.” menciona las áreas peligrosas y dentro de estas nos refiere que en un local donde se apliquen por inhalación gases anestésicos inflamables (fluroxeno, ciclopropano, etc) el volumen hasta 1,52 m del nivel del piso debe considerarse como área peligrosa. También dentro de esta sección se aclara que los lugares diferentes de los clasificados como peligrosos. serán donde se inhalen anestésicos diseñados para el uso

exclusivo de agentes anestésicos no inflamables (tal como el sevorane y desflourane), no se debe considerar como lugar clasificado como peligroso. Cabe mencionar que

**Pregunta 3** - ¿Existen equipos de soporte de vida o que por seguridad no puedan tolerar interrupción de energía bajo condiciones de falla?

Dentro de un hospital el uso de equipos médicos es común pero los equipos electromédicos de soporte de vida juegan un papel importante cuando el paciente esta conectado a ellos, y la sección 517-3 define a estos como aquel equipo o aparato en operación continua y confiable que es necesario para mantener la vida del paciente.

**Pregunta 4** - ¿Es local húmedo?

Recurriendo de nueva cuenta a las definiciones que ofrece la sección 517-3, la definición para las áreas de atención del paciente clasificadas como local húmedo deja ver que los sanitarios o cuartos de baño dentro de una instalación de asistencia médica no están previstos para ser clasificados como local húmedo, al igual que los lavamanos que sirven para propósitos de control de infecciones que se encuentran en muchas áreas de pacientes y de tratamiento. Por lo que se considera un local húmedo a las áreas críticas y generales de atención a pacientes que normalmente están sujetas a condiciones de humedad mientras está presente el paciente y el uso de aparatos médicos. Las condiciones de humedad generalmente estarán dadas por la presencia de sangre y/o sudor.

## **7. Conclusiones y Recomendaciones**

### **7.1 Conclusiones**

Los riesgos eléctricos representan un tema muy delicado y de gran importancia en los lugares de atención de la salud por lo que es necesario que todas las personas que estén involucradas en un proyecto de diseño, ejecución, remodelación o mantenimiento de instalaciones eléctricas sepan de estos riesgos para poder evitarlos.

El choque eléctrico es uno de los riesgos eléctricos a los que está expuesto el paciente si se encuentra en contacto con equipos que presenten una falla que hagan circular una corriente hasta tierra a través del cuerpo del paciente, y debido a que este muchas veces está minimizado en sus sentidos por su estado físico o por el uso de anestésicos es difícil para él alertar a las personas que lo rodean de que está sufriendo de un choque eléctrico, por lo que el paso de la corriente puede ser por tiempo prolongado y cada segundo que pase definirá el tipo de lesión que puede sufrir, lesiones que van desde un cosquilleo molesto, contracciones musculares, fibrilación hasta un paro cardíaco.

No debe perderse de vista que la seguridad, por definición, significa dar la tranquilidad a una persona de que no hay ningún peligro que temer. Por este hecho algunas organizaciones nacionales y extranjeras involucradas con la seguridad de las personas han emitido normas que buscan salvaguardar la vida humana; lo que para los pacientes implica brindarles seguridad contra choque eléctrico, entre otros riesgos.

Es fundamental para poder brindar un medio de protección eléctrica contra choque eléctrico al paciente saber el tipo de lugar de atención de la salud donde se encuentra este, además es importante identificar los procedimientos médicos y los equipos médicos a los que está sometido el paciente por que de ellos se definirá el tipo de área de atención del paciente. Sin lo anterior no se podría definir con

exactitud los medios de protección eléctrica para cada área, además del uso de las recomendaciones que el artículo 517 señala.

## **7.2 Recomendaciones**

### ***7.2.1 Áreas de atención general***

Las áreas de atención general son básicamente las habitaciones para pacientes en donde uno o varios familiares pueden estar con ellos, es decir, son los cuartos de hospitalización. Además se incluyen los locales para auscultación de pacientes que entran a revisión como las observaciones o cuartos de primer ingreso en urgencias, consultorios para tratamiento que no incluyan terapias en tinas ni con equipos eléctricos invasivos o que perforen la piel, clínicas y áreas similares.

En estas áreas, es de uso común equipos como: camas eléctricas, bombas de infusión, equipos de diagnóstico como otoscopios y oftalmoscopios, telemetrías, calentadores de sábanas, colchones de terapia, equipos de entretenimiento como televisores y aparatos reproductores de música y video, monitores fisiológicos o electrocardiógrafos que conectan a los pacientes con pastas conductoras.

El uso de los equipos antes mencionados obliga a tomar precauciones únicamente contra macrochoque debido a que no tenemos procedimientos invasivos. Cabe mencionar que en estas áreas no se utilizan equipos de soporte de vida ni gases o mezclas de gases anestésicos inflamables, por lo tanto se deben usar interruptores termomagnéticos convencionales calculados a la capacidad necesaria para alimentar todo el equipo necesario para el tratamiento del paciente.

La equipotencialidad se debe de proveer siempre como protección eléctrica al paciente contra el macrochoque mediante un sistema de puesta a tierra adecuado en cada receptáculo de pared y en cada clavija del equipo médico. Los contactos y clavijas asociados a equipo médico deben ser del tipo grado hospital

y estar identificados por colores y mediante una etiqueta que nos indique al tipo de circuito que pertenece (normal o de emergencia), usualmente se acostumbra que los receptáculos o contactos para uso de equipo médico en áreas generales son grado médico y de color rojo a diferencia de los contactos de equipos generales que son blancos y no se conectan a la planta de emergencia.

### **7.2.2 Áreas de atención crítica**

Las áreas de atención crítica son las unidades de atención especializada como terapia intensiva, unidad de cuidados coronarios, salas de angiografía y cateterización cardíaca, salas de expulsión, salas de operación, quirófanos de urgencias, salas de choque y áreas similares en las cuales el paciente está sometido a anestesia local o general lo que lo hace insensible a la corriente eléctrica, además su transpiración se incrementa, está sujeto a procedimientos invasivos (especifica un área crítica), conectados a dispositivos electromédicos de monitorización y donde se hace uso de gases medicinales en combinación con gases anestésicos. Estas áreas normalmente están sujetas a condiciones de humedad mientras está presente al paciente por el uso de depósitos con fluidos a nivel del piso que están íntimamente relacionadas con el paciente y/o equipo electromédicos (bombas de irrigación).

En estas áreas, es de uso común equipos como camas eléctricas, bombas de infusión, otoscopios, oftalmoscopios, calentadores de sábanas, colchones de terapia, televisores, monitores fisiológicos, electrocardiógrafos, ventiladores, marcapasos, medidores de gasto cardíaco (cateterismo), bombas de circulación extracorpórea, máquinas de anestesia, lámparas quirúrgicas, mesas quirúrgicas, equipo neumático, monitores de conciencia, unidades de electrocirugía, equipos de RX, laparoscopios, endoscopios, ureteroscopios, monitores de saturación, monitores de presiones invasivas, microscopios, unidades de radiofrecuencia, laser, desfibriladores intracardiacos, ...

Los procedimientos invasivos como la cateterización cardiaca tiene asociado el riesgo de fibrilación ventricular por microchoque, lo que obliga a tener sistemas de seguridad eléctrica acordes, además, en estas áreas tenemos gases anestésicos y mezclas de gases que pudiesen formar combinaciones inflamables, también se cuenta con equipos de soporte de vida que no pueden ser desenergizados aún en presencia de una falla eléctrica.

Todas las características anteriores evitan el uso de un sistema aislado aterrizado, ya que aunque es cierto que aún debemos de cumplir con la seguridad eléctrica contra choque eléctrico tenemos también que proteger la pérdida de la energía eléctrica. Otro factor a considerar es la presencia de líquidos orgánicos en el piso de las salas, este factor complica la seguridad eléctrica debido a que pudiese haber una confusión en la elección del sistema de protección al clasificar el área como un “local húmedo” y no como una “área de atención crítica”, la diferencia primordial entre estas áreas es la continuidad del servicio eléctrico por el uso de equipos de soporte de vida que existen en el área crítica.

Los sistemas a utilizar en las áreas críticas es la puesta a tierra en todos los contactos y clavijas grado médico o convencionales (configuración copo de nieve) para seguridad contra macrochoque, el uso del sistema aislado no aterrizado con su monitor de línea que asegure la continuidad del servicio eléctrico aún en la presencia de la primera falla a tierra, además, puede existir piso conductor para drenar la carga estática o se puede utilizar un sistema de aire acondicionado positivo que mantenga las condiciones ambientales a una temperatura de 25°C y una humedad relativa mínima de 50%, lo anterior para evitar movimientos involuntarios por parte del personal médico y de enfermería. El sistema aislado no aterrizado a través del monitor de aislamiento de línea (MAL) nos va a proteger contra macro y microchoque al controlar la corriente de fuga, además va a asegurar la continuidad del servicio eléctrico en la presencia de la primera falla a tierra pero en presencia de una segunda falla a tierra, un corto circuito o una sobrecarga abrirá el interruptor termomagnético de seguridad asociado al circuito

que presente la falla, por lo cual es de vital importancia no únicamente cumplir con las disposiciones técnicas aplicables sino que también se debe ser muy cuidadoso en el diseño de los circuitos para que se tengan capacidades de conducción de corriente adecuada y corriente de fuga mínima.

Usualmente los contactos del sistema aislado no aterrizado están codificados como grado hospital en color negro o café oscuro y pueden ser monofásicos o bifásicos con conexión normal o non-explosion de media vuelta (para gases anestésicos inflamables).

Si existiera una falla a tierra en la instalación eléctrica o en un equipo electromédico el Monitor de Aislamiento de Línea alarmará de forma audible y mostrará en el display la amplitud de la corriente de fuga calculada. Una vez detectado lo anterior se debe detectar cual es el causante de la alarma, si es un equipo médico, se debe de cambiar en el momento, si el problema está en la instalación, se deben retirar todos los equipo médicos que estén asociados a ese circuito y pasarse a otro. Hay que recordar que si una falla a tierra llegase a ocurrir el sistema pasaría a ser de aislado no aterrizado a aterrizado o parcialmente aterrizado por lo cual el suministro de la energía eléctrica sigue garantizado pero ahora es más probable una segunda falla que ocasionaría la pérdida de la continuidad eléctrica.

### **7.2.3 Locales húmedos**

Los locales húmedos como ya se definió son las áreas de atención y asistencia crítica o general normalmente sujetas a condiciones de humedad mientras está presente el paciente. Estas áreas incluyen agua estancada en el piso o en el área de trabajo que rutinariamente está empapada o mojada, cuando alguna de estas condiciones esté íntimamente relacionada con el paciente o con el personal. Por lo anterior, un local húmedo puede apreciarse como el área donde el paciente se encuentra en condiciones donde su piel disminuya su valor de resistencia

provocada por la presencia de fluidos corporales como sangre y sudor o en la presencia de agua.

Los locales húmedos correspondientes a áreas generales incluyen áreas como terapia física, hidroterapia, laboratorios de diálisis y algunos laboratorios que cumplan con las características anteriores. Los locales húmedos de áreas críticas son las salas quirúrgicas, salas de expulsión, terapia intensiva, quirófanos ambulatorios, salas de angiografía,...

Los equipos que son de uso común en lugares húmedos generales son máquinas de hemodiálisis, osmosis inversa (sistema de filtrado de agua), bombas hidráulicas, bombas de infusión, tinas, equipos ejercitadores, monitores de signos vitales, etc. Los equipos asociados a lugares húmedos críticos son máquinas de anestesia, lámparas quirúrgicas, mesas quirúrgicas, unidades de electrocirugía, monitores de signos vitales, monitor de gasto cardiaco, medidores invasivos de saturación, monitores de presión invasiva, etc. Como las áreas de atención crítica y general pueden también designarse local húmedo se utilizan diferentes medios de protección siempre considerando las circunstancias en las que se encuentre el paciente.

Un área de atención crítica clasificada también como local húmedo es protegida por una puesta a tierra en contactos y clavijas grado hospital, además de un sistema de falla a tierra con contactos ICFT (Interruptor de Circuito por Falla a Tierra), ya que estos sistemas abren el circuito eléctrico en intensidades de corriente tan pequeñas como 5mA y 50 ms. La desconexión del medio es a estos niveles de corriente debido a la presencia de agua o humedad que ocasiona una disminución en la resistencia del cuerpo humano que puede incrementar el riesgo de electrocución. Cabe mencionar que al ser un área general se permite la desconexión del sistema de potencia debido a que no hay equipos de soporte de vida.

Las áreas críticas también clasificadas como locales húmedos pueden manejar equipos de soporte de vida, equipos invasivos y gases anestésicos, por lo cual, es necesaria la puesta a tierra en contactos y clavijas, los cuales a su vez deben ser de grado hospital para proteger contra macrochoque. También se debe instalar un sistema aislado no aterrizado para proteger contra corrientes de fuga, fallas a tierra, corto circuito y sobrecarga, además con este sistema se asegura la continuidad de energía a los equipos de soporte de vida.

## 8. Bibliografía y Mesografía

- Avila Monteso, José; **La seguridad en el hospital.-Ponencias y Comunicaciones presentadas en las II Jornadas Técnicas Hospitalarias**; Ediciones CEDEL; España 1978. Páginas 13-44, 77-86, 373-400, 561-570, 580-588.
- Costanzo, Linda; **Fisiología**; Editorial McGraw Hill; México 1999. Páginas 15-24, 131-133.
- Cromwell, Leslie; **Instrumentación y medidas biomédicas**; Editorial Marcombo; España 1980.
- Fischer, Marvin; **NFPA Guide to Electrical Systems in Health Care Facilities**; National Fire Protection Association; USA 2006. Capítulo 5.
- Ganong, William; **Fisiología Médica**; Editorial El Manual Moderno; México 1990. Capítulo 3 y 28.
- García González, Ma. Teresa; Jiménez González, Aida; **Potenciales bioeléctricos. origen y registro**; Universidad Autónoma Metropolitana; México 1998. Páginas 15-63, 147-157.
- Gestal Otero, Juan Jesús; **Riesgos laborales del personal sanitario**; Editorial McGraw Hill; México 2003. Capítulo 8 y 9.
- Hoening, Stuart; Scott, Daphne; **Aparatos Médicos Eléctricos.- Funcionamiento y medidas de seguridad**; Editorial Limusa; México, 1984. Páginas 13-127.
- IEEE; **Guide for Safety in AC Substation Grounding**; Institute of Electrical and Electronics Engineers; USA 2000. Páginas 11-16.
- IEEE; **Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities**; Institute of Electrical and Electronics Engineers; USA 1997. Páginas 197-203.
- IMSS; **Manual de tableros de aislamiento**; Instituto Mexicano del Seguro Social; México 1975.
- Irwin, Patricia; **La alarmante realidad de las lesiones eléctricas**; NFPA Journal Latinoamericano; USA 2003. Páginas 33 y 34.
- Mompín Poblet, José; **Introducción a la bioingeniería**; Editorial Marcombo; España 1987. Capítulo 2 y 15.
- NFPA; **Fire and Life Safety in Health Care Facilities**; National Fire Protection Association; USA 2000. Capítulo 1-4.
- NFPA; **Health Care Facilities Handbook**; National Fire Protection Association; USA 2002. Capítulo 3, 4 y 8.

- NFPA; **Manual NEC Código Eléctrico Nacional 1999**; National Fire Protection Association; USA 1999. Páginas 733-762.
- NFPA; **NFPA 99 Standard for Health Care Facilities**; National Fire Protection Association; USA 2005. Capítulo 3, 4 y 8.
- Sargent, Jeffrey; Williams, Noel; **Manual de Inspección eléctrica con listas de comprobación.- Basado en el Código Eléctrico Nacional,1999**; National Fire Protection Association; USA 1999. Páginas 261-276.
- Schneider Electric; **Sistemas de aislamiento para hospitales**; Schneider Electric México; México 2004.
- Secretaría de Energía; **NOM 001 SEDE 2005.-** “Instalaciones eléctricas (utilización)”;;DOF 13 marzo 2006. Artículo 517.
- Secretaría de Salud; **NOM-178-SSA1-1998** “Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios”; DOF 14 diciembre 1998.
- Secretaría de Salud; **NOM-197-SSA1-2000** “Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada”; DOF 17 abril 2000.
- Stoner, David; Smathers, James; **La seguridad en hospitales.-Problemas de infecciones, laboratorio, radiación, operación de equipo médico, incendios, eléctricos, mecánico, de construcción y ambientales**; Editorial Limusa; México 1987. Páginas 15-57.
- Yañez, Enrique; **Hospitales de Seguridad Social**; Editorial Limusa; México 2004.
- **Aspectos particulares de los efectos de la corriente eléctrica**  
[http://www.mtas.es//insht/ntp/ntp\\_437.htm](http://www.mtas.es//insht/ntp/ntp_437.htm)
- **Care and Safety of Pacemaker Electrodes in Intensive Care and Telemetry Nursing Units**  
<http://www.aacn.org/88256513000e5d06/913a66a98c32249088256731007818f6/2e099813eec4521488256707007d075d?OpenDocument>
- **Cateterización Cardíaca**  
[http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Topics\\_Esp/Diag/dicath\\_sp.cfm](http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Topics_Esp/Diag/dicath_sp.cfm)
- **Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano**  
[http://www.mtas.es//insht/ntp/ntp\\_400.htm](http://www.mtas.es//insht/ntp/ntp_400.htm)
- **Charles Dalziel**  
<http://www.mikeholt.com/newsletters.php?action=display&letterID=105>

- **Electricidad**  
<http://www.facmed.unam.mx/historia/Electricidad.html>
- **Fires and Explosions**  
[http://www.asahq.org/Newsletters/2000/09\\_00/fires0900.htm](http://www.asahq.org/Newsletters/2000/09_00/fires0900.htm)
- **Hospital Isolated Power Systems, Required Reference Material; NFPA 70, The National Electrical Code 1996**  
<http://ecatalog.squared.com/techlib/docdetail.cfm?oid=090089268007907b>
- **Isolated Power Systems Explanation**  
<http://www.postgloverlifelink.com/model-idp-engisolated.htm>
- **Isolated Power Systems in Health Care Facilities**  
[http://www.iaei.org/subscriber/magazine/07\\_d/johnston.html](http://www.iaei.org/subscriber/magazine/07_d/johnston.html)
- **Isolated Power Systems in Health Care Facilities**  
[http://www.iaei.org/subscriber/magazine/07\\_d/johnston.html](http://www.iaei.org/subscriber/magazine/07_d/johnston.html)
- **Isolated Power Systems**  
[http://www.iaei.org/subscriber/magazine/02\\_f/johnston.htm](http://www.iaei.org/subscriber/magazine/02_f/johnston.htm)
- **Procedimientos especializados en Unidades de Terapia Intensiva**  
<http://www.hospvirt.org.br/enfermagem/port/utiproced2.html>
- **Protección frente a cargas electrostáticas**  
[http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_567.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_567.htm)
- **Riesgos de la Electricidad**  
<http://focuslab.lfp.uba.ar/html/Safety/Riesgos%20de%20la%20Electricidad.html>
- **Riesgos eléctricos**  
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=624>
- **Riesgos eléctricos**  
<http://www2.uah.es/vivatacademia/anteriores/n42/docencia.htm>
- **Seguridad Eléctrica en Hospitales**  
<http://www.teonet.com.ar/seguridad.htm>

## **Apéndice A: Potenciales Bioeléctricos**

La parálisis respiratoria y la asfixia; así como la estimulación del tejido nervioso y muscular descritas en el capítulo de choque eléctrico son producidas por impulsos eléctricos. Estos impulsos son conocidos como potenciales bioeléctricos.

Los potenciales bioeléctricos son señales que ciertos sistemas del organismo generan y que llevan información útil sobre las funciones que representan. Los potenciales están asociados con la conducción de nervios, la actividad muscular, y otros. Estos potenciales son realmente potenciales iónicos producidos como resultado de la actividad electroquímica de ciertos tipos especiales de células.

### **A.1 Fenomenología de la membrana celular**

La unidad anatómica y funcional de los seres vivos es la célula, formada por una membrana celular, un citoplasma que contiene diversos organelos y un núcleo central. La célula es semejante a un laboratorio, donde ocurren diferentes reacciones químicas de los organelos celulares. Desde un punto de vista muy general puede considerarse una célula como un conjunto de compartimentos separados que, sin embargo, interactúan fuertemente entre sí. Cada uno de estos compartimentos poseen membranas, entre cuyas funciones se encuentra la de servir de barreras selectivas para las diferentes sustancias químicas de los organelos de la célula. La membrana permite el paso, a través de ella, a ciertas moléculas mientras que a otras no. Por tal razón se dice que las membranas son semipermeables.

Las principales funciones de la membrana son la información de compartimentos, la regulación del movimiento de sustancias, la transferencia de información, la interacción intracelular, además de que es un lugar para las funciones bioquímicas y la transducción de energía.

Otra de las funciones de la membrana celular es mantener en equilibrio la presión osmótica de los líquidos intra y extracelulares, ya que existe un gran flujo de nutrientes y de otros elementos entre estos dos medios.

Dentro de los elementos que constituyen el líquido extracelular, se encuentran principalmente los siguientes: Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Cloro ( $\text{Cl}^-$ ), Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), Oxígeno ( $\text{O}_2$ ), glucosa, Ácidos grasos y Aminoácidos. Dentro de los elementos del líquido intracelular se encuentran los siguientes: Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

En todas las células existe una diferencia entre su concentración iónica intracelular y la del medio extracelular, así como un potencial eléctrico a través de la membrana. Estas dos propiedades se encuentran íntimamente relacionadas, ya que el potencial eléctrico depende de la distribución desigual de los iones en ambos lados de la membrana.

La membrana celular es delgada (del orden de 75 a 100 Angstroms) y elástica; y está formada casi en su totalidad por lípidos y proteínas. Hasta la fecha se desconoce la organización molécula exacta de la membrana, pero se han desarrollado teorías sobre la misma que han ido evolucionando con el paso del tiempo.

### ***A.1.1 Teoría 1: Modelo de la bicapa***

En 1925, Gorter y Grendell llevaron a cabo una serie de estudios que tuvieron gran impacto sobre el concepto de la estructura de la membrana celular. Para ello extrajeron los lípidos de la membrana de los eritrocitos de varias especies, y después de extenderlos en agua para formar una capa monomolecular calcularon el área cubierta por estos lípidos. Calcularon el área total de las membranas a las cuales les fue extraído el lípido y concluyeron que el área de la capa monomolecular era dos veces el área de la membrana; esto es, que había

suficiente lípido para formar una capa doble o bimolecular de lípido alrededor de las células, con un espesor aproximado de 25 Angstroms.

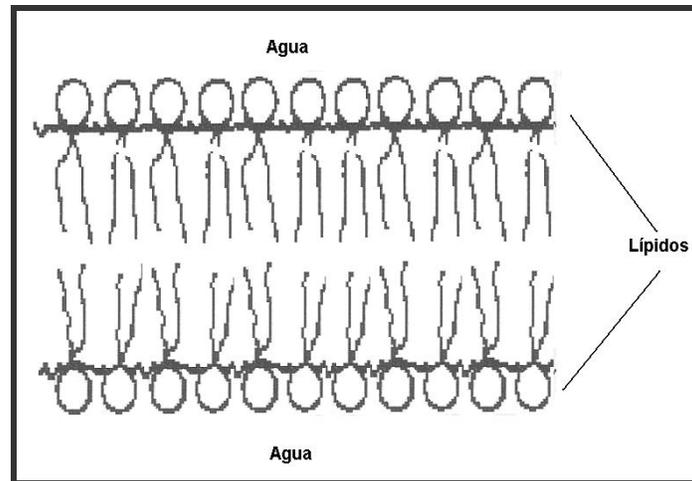


Figura A.1: Esquema del modelo de la bicapa.

### **A.1.2 Teoría 2: Modelo de Danielli y Davson**

En 1935, Davson y Danielli modificaron el modelo de Gorter y Grendell mediante la integración de proteínas a la estructura de la membrana. Con ello crearon el modelo "lipoproteínico bimolecular".

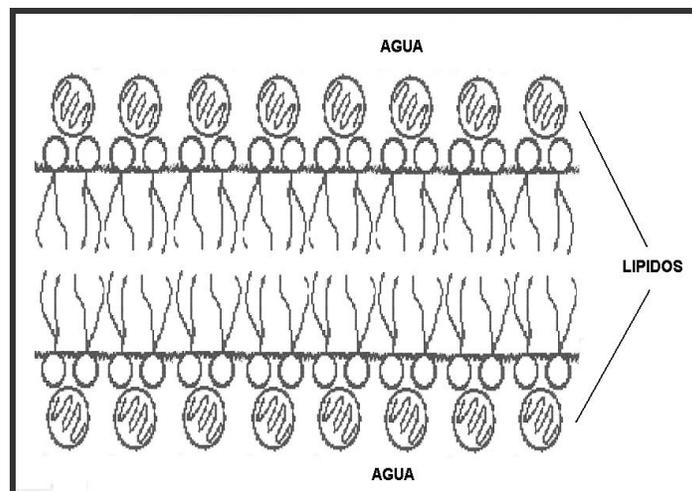


Figura A.2: Esquema del modelo de Davson y Danielli

### A.1.3 Teoría 3: Modelo del mosaico fluido

En contraste con el modelo de Davson y Danielli que tiene una apariencia estática, este modelo es dinámico y posee características estructurales, que proporcionan vías de comunicación entre los líquidos intracelulares y extracelulares. En pocas palabras, este modelo proporciona una idea básica de la relación entre la estructura de la membrana y su función.

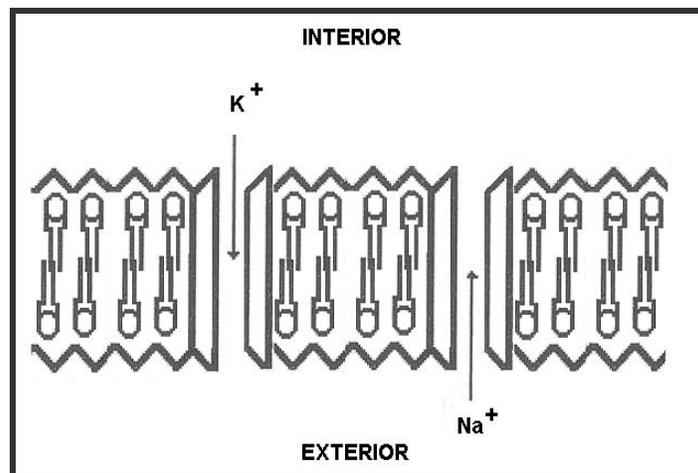


Figura A.3: Esquema del modelo del mosaico fluido.

### A.2 Canales iónicos

Los canales iónicos son parte de la membrana celular y son proteínas que al abrirse permiten el paso de ciertos iones. Así, los canales iónicos son selectivos y permiten que iones con características específicas se desplacen a través de ellos. Esta selectividad se basa en el tamaño del canal y las cargas eléctricas que lo revisten. Por ejemplo, los canales revestidos con cargas negativas habitualmente permiten el paso de cationes pero excluyen a los aniones; los canales revestidos con cargas positivas permiten el paso de los aniones pero no de cationes. Los canales también discriminan con base en el tamaño. En este sentido, un canal puede permitir el paso de  $Na^+$  pero excluye el del  $K^+$ ; otro canal selectivo de cationes puede mostrar menor selectividad y permitir el paso de varios cationes pequeños diferentes.

Los canales iónicos son controlados por compuertas y, según la posición de éstas, los canales pueden abrirse o cerrarse. Cuando un canal está abierto, los iones a los cuales es selectivo pueden atravesarlo siguiendo el gradiente electroquímico existente. Si el canal está cerrado los iones no pueden fluir, sin importar la magnitud del gradiente electroquímico. La permeabilidad de un canal depende de la probabilidad de que se encuentre abierto. Por lo tanto, cuanto mayor sea la probabilidad de que un canal se abra, mayor será su permeabilidad.

### **A.3 Potenciales de difusión**

Un potencial de difusión es la diferencia de potencial generada a través de una membrana cuando un ion se difunde a lo largo de su gradiente de concentración. Por lo tanto, un potencial de difusión se debe a la difusión de iones. Se induce, entonces, que un potencial de difusión sólo puede ser generado si la membrana es permeable a ese ion. Además, cuando la membrana no es permeable al ion, no se crean potenciales de difusión al margen de qué tan grande sea el gradiente de concentración presente.

La magnitud de un potencial de difusión, medido en mV, depende de la magnitud del gradiente de concentración, donde este último es la fuerza impulsora. El signo de los potenciales de difusión está subordinado a la carga del ion difusible.

### **A.4 Potenciales de equilibrio**

El concepto de potenciales de equilibrio sólo es una extensión del concepto de potenciales de difusión. Si existe una diferencia de concentración a través de una membrana para un ion y la membrana es permeable a ese ion, se genera una diferencia de potencial (potencial de difusión). Con el tiempo, la difusión neta del ion se hace más lenta y luego se detiene debido a esa diferencia de potencial. En otras palabras, si un catión se difunde siguiendo su gradiente de concentración, lleva una carga positiva a través de la membrana que retarda y por último detiene una mayor difusión del catión. Si un anión difunde siguiendo su gradiente de concentración, lleva una carga negativa que retarda y por último evita una mayor

difusión del anión. El potencial de equilibrio es el potencial de difusión que se equilibra exactamente o se opone a la tendencia de la difusión a seguir la diferencia de concentración.

### **A.5 Potenciales de membrana en reposo y potenciales de acción de la célula**

Un potencial de membrana en reposo se establece gracias a potenciales de difusión que son resultado de las diferencias de concentración de varios iones a través de la membrana celular. Un potencial de acción es un fenómeno de células excitables, como nervio y músculo; y constituyen el mecanismo básico para la transmisión de información en el sistema nervioso y en todo tipo de músculo.

#### **A.5.1 Polarización, despolarización y repolarización de la célula**

La membrana de las células excitables permite fácilmente la entrada de iones potasio y cloruro pero bloquea eficazmente la entrada de iones sodio. Dado que los distintos iones intentan un equilibrio entre el interior y el exterior de la célula, de acuerdo tanto con la concentración como con la carga eléctrica, la incapacidad del sodio de atravesar la membrana acarrea dos consecuencias. En primer lugar, la concentración de iones sodio en el interior de las células se hace mucho menor que el líquido intercelular externo. Puesto que los iones sodio son positivos, el exterior de la célula es más positivo que el interior. En segundo lugar, en un intento de equilibrar la carga eléctrica entrarán en la célula iones potasio adicionales que también son positivos, produciendo una concentración de potasio más alta en el interior que en el exterior. Sin embargo, este equilibrio de cargas no se puede lograr debido al desequilibrio en la concentración de iones potasio. El equilibrio se alcanza con una diferencia de potencial a través de la membrana, negativo en el interior y positivo en el exterior.

Este potencial de membrana se denomina *potencial de membrana en reposo* de la célula y se mantiene hasta que una perturbación de algún tipo altera el equilibrio (cambios iónicos, térmicos, metabólicos y eléctricos). Dado que la medida del potencial de membrana se hace por lo general en el interior de la célula con

respecto a los líquidos orgánicos, el potencial de reposo de una célula viene como un valor negativo.

El potencial de membrana en reposo de células excitables cae en el intervalo de  $-70$  y  $-80\text{mV}$ . La Figura A.4 ilustra de forma simplificada la sección transversal de una célula con su potencial de reposo. Una célula en estado de reposo se dice que esta *polarizada*.

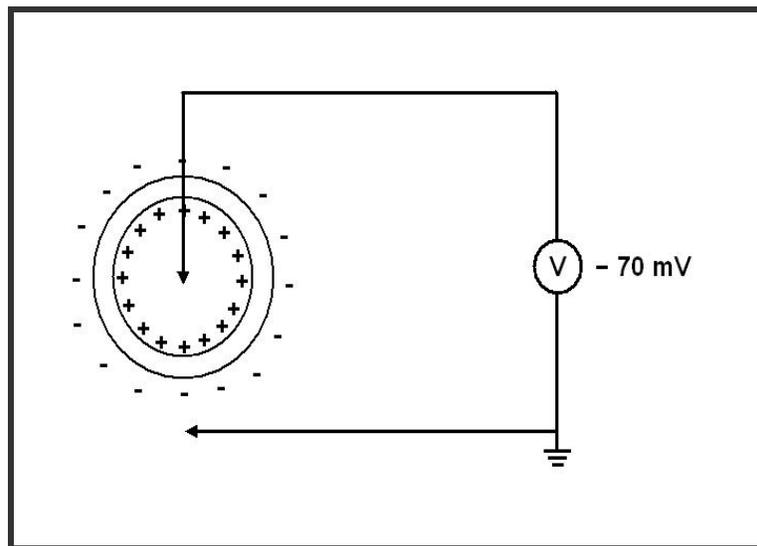


Figura A.4: Célula polarizada con su potencial en reposo

Cuando se excita una parte de la membrana celular mediante el flujo de corriente iónica o mediante algún tipo de energía aplicada externamente, la membrana cambia características y empieza a permitir la entrada de algunos iones sodio. Este movimiento de iones sodio hacia el interior de la célula constituye un flujo de corriente iónica que reduce más la barrera de la membrana a los iones sodio. El resultado neto es un efecto de avalancha en el que los iones sodio se precipitan literalmente en el interior de la célula intentando alcanzar el equilibrio con los iones del exterior. Al mismo tiempo, los iones potasio, que estaban en mayor concentración en el interior de la célula durante el estado de reposo, intentan salir pero son incapaces de moverse tan rápidamente como los iones sodio. Como

resultado de ello, la célula tiene un potencial ligeramente positivo en el interior debido al desequilibrio de iones potasio.

Este potencial se conoce como *potencial de acción* y es aproximadamente 70mV positivo. Una célula que ha sido excitada y que presenta un potencial de acción se dice que esta *despolarizada*; el proceso de cambio desde el estado de reposo al potencial de acción se denomina despolarización. La Figura A.5

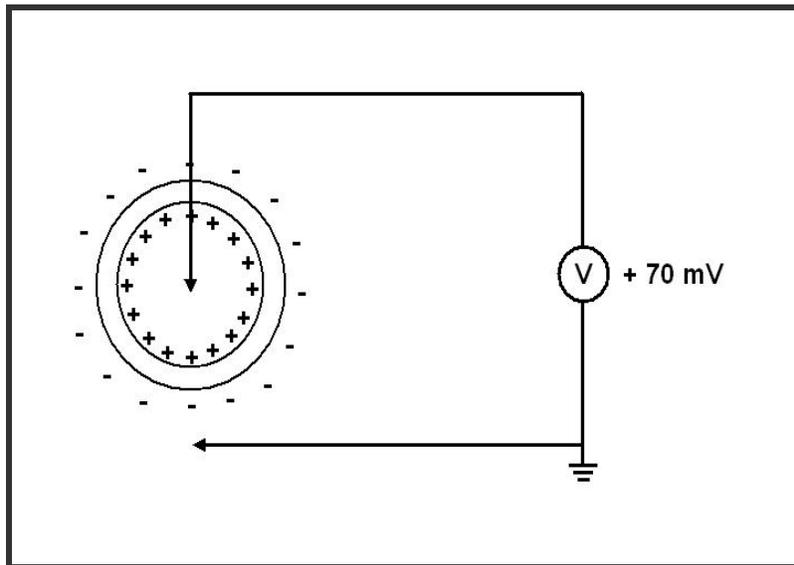
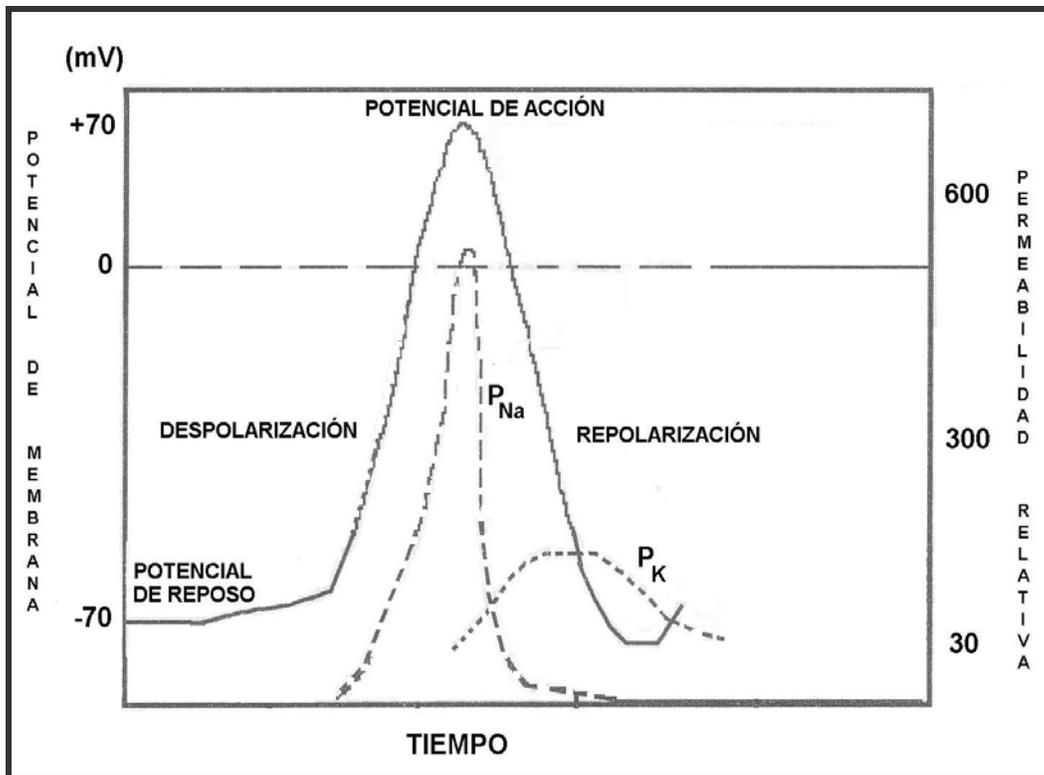


Figura A.5: Célula despolarizada con su potencial de acción

Una vez que la avalancha de sodio a cesado a través de la membrana celular (se ha alcanzado un nuevo estado de equilibrio), desaparecen las corrientes ionizas que reducían la barrera a los iones sodio y la membrana vuelve a la situación original de permeabilidad selectiva, bloqueándose de nuevo el paso de iones sodio desde el exterior al interior de la célula. Sin embargo, si el único efecto fuera éste, tardaría mucho rato en crearse de nuevo un potencial de reposo. Mediante la bomba de sodio, los iones sodio son transportados rápidamente al exterior de la célula y ésta queda polarizada de nuevo adquiriendo su potencial de membrana en reposo. Este proceso se denomina *repolarización*.



**A.6: Forma representativa de los cambios de permeabilidad de la membrana, al sodio y potasio, durante la generación de potencial de acción**

### A.6 Propagación de los potenciales de acción

Cuando se excita una célula y genera un potencial de acción, empieza a fluir corrientes iónicas. Este proceso puede excitar, a su vez, células vecinas o áreas adyacentes de la misma célula. En el caso de una célula nerviosa con una fibra larga, el potencial de acción se genera en un segmento muy pequeño de la longitud de la fibra pero se propaga en ambas direcciones a partir del punto de excitación original.

La velocidad con que se mueve un potencial de acción a lo largo de la fibra o se propaga de una célula a otra se denomina velocidad de propagación. En las fibras nerviosas la velocidad de propagación se denomina también ritmo de conducción del nervio o velocidad de conducción. Esta velocidad varía ampliamente dependiendo del tipo y diámetro de fibra nerviosa. El margen de velocidad de los nervios va de 20 a 140 metros por segundo. La propagación por el músculo

cardíaco es más lenta, con un ritmo medio entre 0.2 y 0.4 metros por segundo. Las fibras de retardo especiales entre las aurículas y los ventrículos del corazón hacen que los potenciales se propaguen a un ritmo más lento, 0.03 a 0.05 metros por segundo.

### A.7 Potenciales de acción en células nerviosas y musculares

Las células vivas se caracterizan por responder a los cambios en el medio o a estímulos. Esta capacidad de las células se llama excitabilidad y se encuentra especialmente desarrollada en las células nerviosas o neuronas y en las células musculares.

La respuesta de las células excitables se produce en la membrana celular y consiste en una serie de cambios térmicos, iónicos, metabólicos y eléctricos, que se propagan a lo largo de toda ella. El potencial de acción proviene de esta serie de cambios rápidos que se producen en el potencial de membrana de las células excitables, y tiene la propiedad de extenderse por toda la superficie celular.

Cuando las células nerviosas o musculares son excitadas, el potencial de membrana o reposo sufre una alteración rápida, la cual dura una pequeña fracción de segundo (aproximadamente 1/1000 seg), para regresar de inmediato a su valor de reposo (Figura B7).

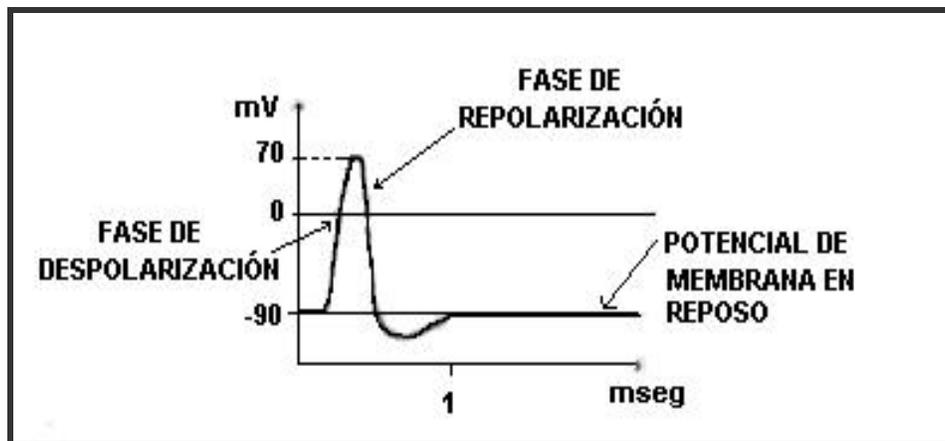


Figura A.7: Potencial de acción nervioso

### A.7.1 Potencial de acción tipo espiga

Este tipo de potencial se presenta en fibras nerviosas y dura alrededor de 0.4 mseg.

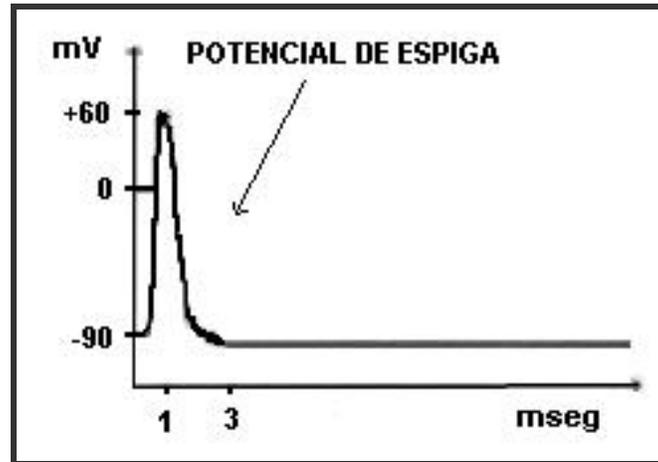


Figura A.8: Potencial de acción tipo espiga

### A.7.2 Potencial de acción tipo meseta

Este tipo de potencial se presenta en el músculo cardíaco y tiene la forma mostrada en la Figura A.9.

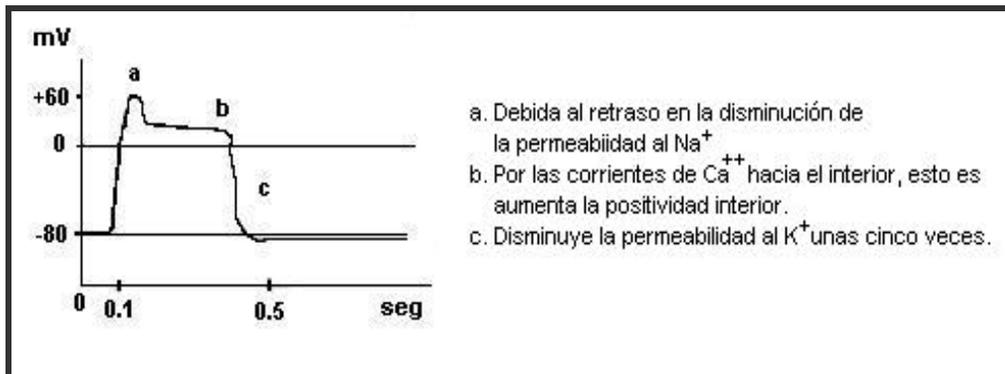


Figura A.9: Potencial de acción tipo meseta.

Los mecanismos que desencadenan el potencial de acción son: estimulación eléctrica de la membrana, aplicación de productos químicos, lesión mecánica y cambios térmicos. Todos ellos producen un cambio transitorio en las permeabilidades de la membrana.

### **A.8 Estímulo umbral y potencial de umbral**

Los potenciales de acción, o aparecen en forma máxima en cuanto los determinan las condiciones electroquímicas que hay a través de la membrana y se dan o no en absoluto. Es decir, el umbral es el potencial de membrana en el cual la precipitación del potencial de acción es inevitable. Puesto que el potencial umbral es menos negativo que el potencial de membrana en reposo se requiere una corriente interna para despolarizar el potencial de membrana hasta el umbral. Si la corriente interna no es suficiente para despolarizar la membrana lo bastante para alcanzar el umbral, entonces el potencial de acción no tiene lugar.

### **A.9 Estímulos subumbrales y supraumbrales**

Como describimos anteriormente la despolarización parcial de una membrana excitable inicia un potencial de acción, sólo cuando la fuerza del estímulo es suficiente para despolarizar el potencial de membrana hasta un nivel crítico (denominado potencial de umbral); tal estímulo se denomina estímulo umbral. Los estímulos más débiles que éste se llaman estímulos subumbrales y no inician un potencial de acción. Los estímulos de magnitud superior al de umbral, estímulos supraumbrales, provocan potenciales de acción. Algo que es sumamente importante, es que la respuesta del potencial de acción supraumbral no difiere de la que sigue al estímulo umbral.

El potencial de umbral de la mayoría de las membranas excitables es de 5 a 15 mV más despolarizado que el potencial de la membrana en reposo. Así, si el potencial en reposo de una neurona es de -70 mV, el potencial de umbral puede ser de -60 mV. Para iniciar un potencial de acción en una de tales membranas, debe reducirse el potencial por lo menos en 10 mV. Figura A.10.

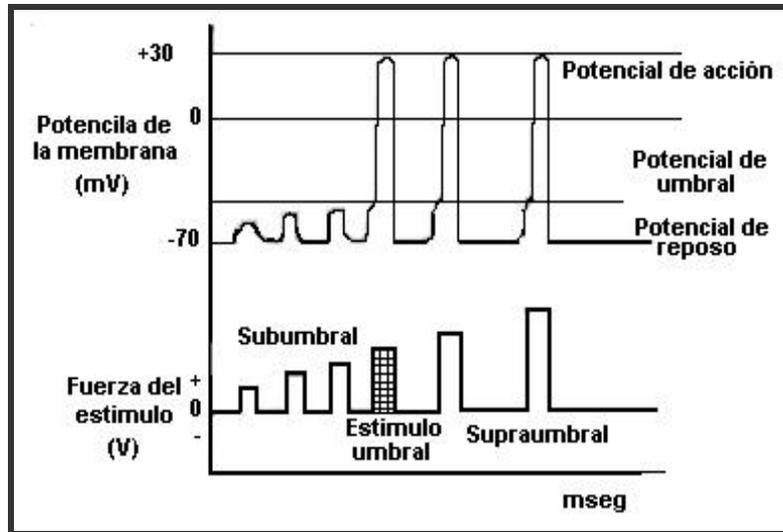


Figura A.10: Generación de potenciales de acción por estímulos umbrales y supraumbrales.

### A.10 Periodo refractario

Si aplicamos un estímulo de magnitud umbral a una membrana, y volvemos a estimularla con la misma intensidad a diversos intervalos de tiempo, después del primero, puede ser que la membrana no responda, aun aplicando un estímulo supraumbral. Esto significa que aplicación de un estímulo de máxima intensidad, antes de que haya desaparecido por completo el primer potencial de espiga, no necesariamente desencadenara un segundo potencial, esto es, la membrana se encuentra en el periodo refractario. Si se aplica un segundo estímulo a nivel supraumbral, se distinguirán dos períodos refractarios separados que se encuentran asociados con un potencial de acción:

- a) Período refractario absoluto. Es un intervalo de inexcitabilidad de la membrana ante la aplicación de cualquier estímulo (umbral o supraumbral). El periodo refractario absoluto se superpone a la duración de casi todo el potencial de acción. Durante ese lapso no importa qué tan grande sea el estímulo, no se puede inducir otro potencial de acción. La base del periodo refractario absoluto es el cierre de las compuertas de inactivación del canal  $\text{Na}^+$  en reacción a la despolarización. Estas compuertas de inactivación se encuentran en posición cerrada mientras la célula se repolariza nuevamente al potencial de membrana en reposo. (Figura A.11)

b) Período refractario relativo. A continuación del período refractario absoluto hay un intervalo durante el cual puede producirse un potencial de acción, pero sólo si la intensidad del estímulo es considerablemente superior al nivel umbral. La base para el periodo refractario relativo es el voltaje de  $K^+$ , y se requiere uno mayor que en el estado en reposo. En virtud de que el potencial de membrana está más próximo al potencial de equilibrio de  $K^+$ , se requiere una mayor corriente hacia dentro para llevar la membrana hasta el umbral e iniciar el siguiente potencial de acción. (Figura A.12)

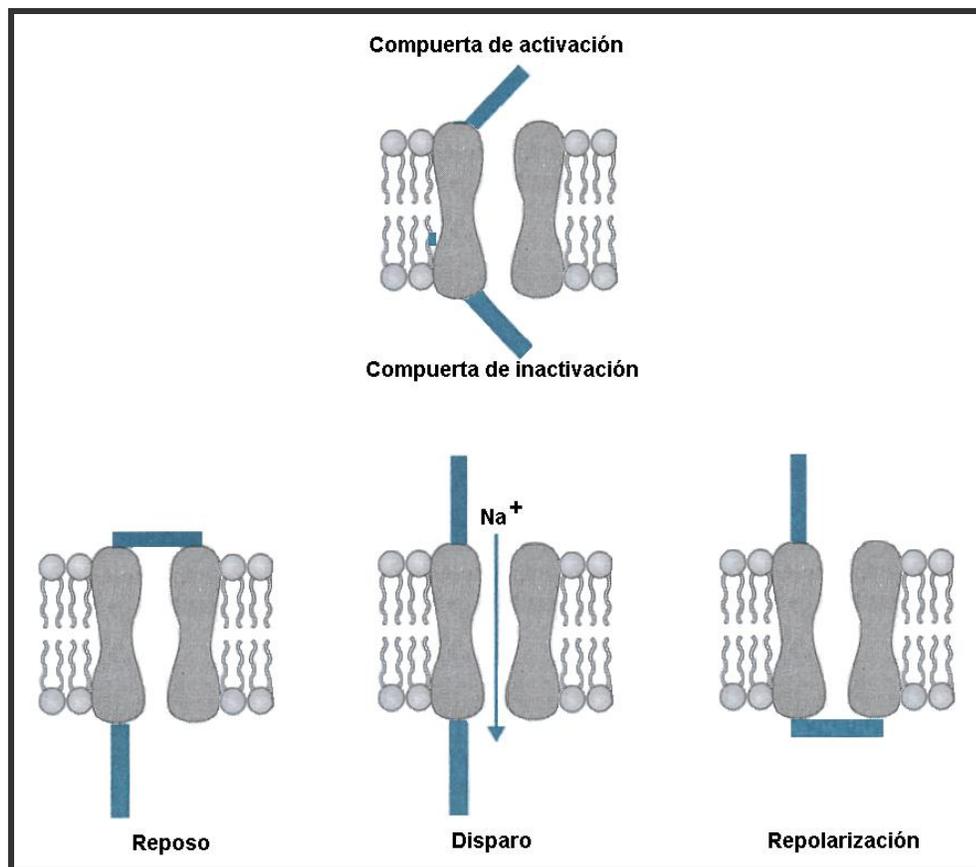


Figura A.11: Funciones de las compuertas de activación e inactivación sobre el canal  $Na^+$

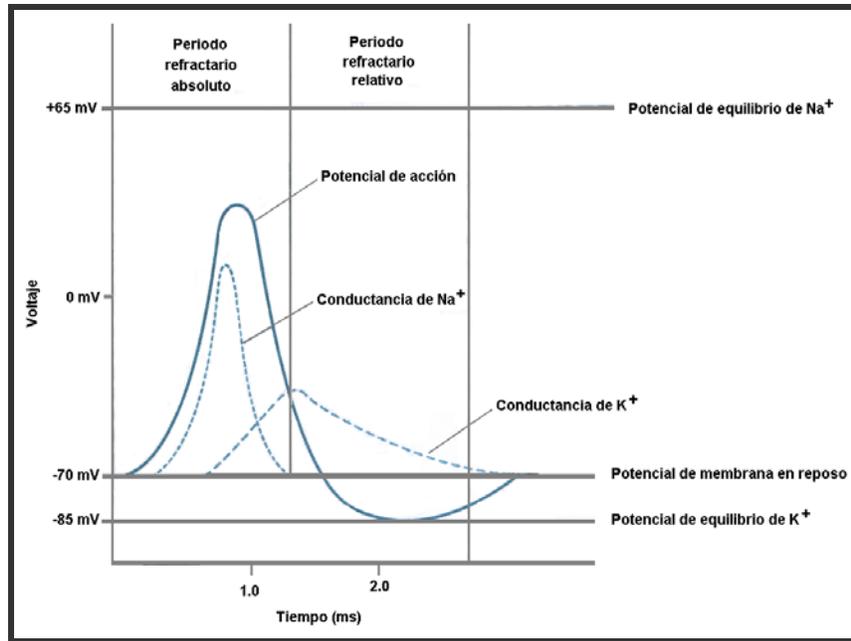


Figura A.12: Período refractario

Por lo tanto, los periodos refractarios limitan el número de potenciales de acción que pueden producir una membrana excitable en cierto tiempo. La magnitud necesaria de un segundo estímulo, para generar un segundo potencial de acción durante el período refractario, es mayor que la del estímulo inicial y disminuye al aumentar el tiempo entre el primer estímulo y el segundo (Figura A.13).

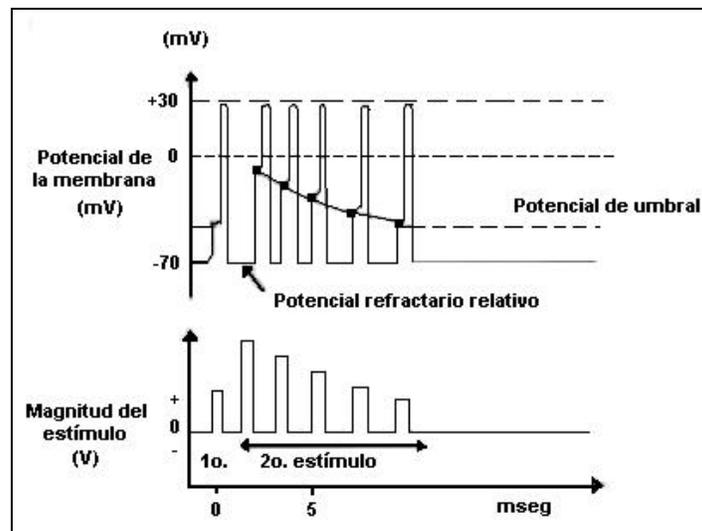


Figura A.13: Representación del potencial de acción generado ante la aplicación de distintos estímulos.

## **Apéndice B: Fibrilación Cardíaca**

Como se menciona en el capítulo de choque eléctrico una corriente que atraviese el organismo puede ser peligrosa o fatal si se crean densidades de corrientes locales en órganos vitales que sean suficientes para interferir con su funcionamiento, como lo es el corazón.

Uno de los peligros que se pueden originar por el paso de corriente a través del corazón es la fibrilación ventricular. Este es el peligro más latente que existe para los pacientes debido a los equipos electromédicos a los que están conectados y por los cuales pueden fluir corrientes que lleguen directamente al corazón.

El corazón es el órgano más susceptible a la corriente eléctrica. Un estímulo que tetanice el corazón provoca la contracción completa del miocardio, que detiene la acción de bombeo del corazón e interrumpe la circulación sanguínea.

Una corriente de intensidad más baja que excite sólo parte de las células musculares del corazón puede cambiar las vías eléctricas de propagación en el miocardio, desincronizando la actividad del corazón y ocasionando una actividad muscular sin orden, ineficaz. Este estado se denomina fibrilación.

### **B.1 El corazón**

El corazón se puede considerar como una bomba. La mitad derecha del corazón, conocida como corazón derecho, es la bomba que suministra sangre a los pulmones para que se oxigene, mientras que el corazón izquierdo suministra sangre al resto del sistema.

La acción del bombeo se lleva a cabo mediante la contracción de los músculos que circundan cada cavidad del corazón. La sangre entra en el corazón en el lado derecho a través de las dos venas principales; la vena cava superior que lleva la sangre de las extremidades superiores, y la vena cava inferior que lleva la sangre

a los órganos del cuerpo y de las extremidades situadas por debajo del corazón. La sangre entrante llena la cámara de almacenamiento, la aurícula derecha. (Figura B.1)

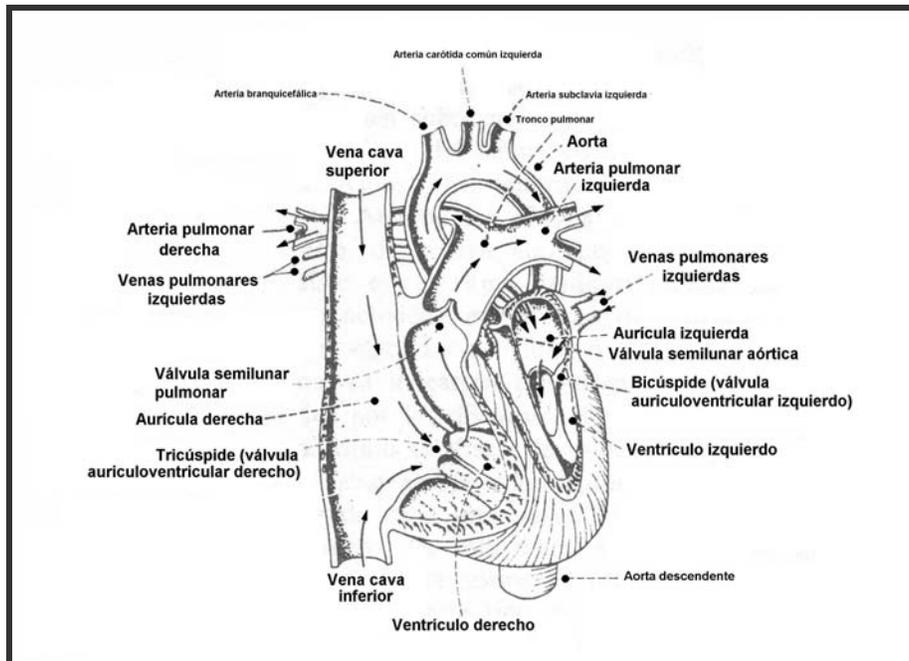


Figura B.1: El corazón

Cuando la aurícula derecha esta llena se contrae y obliga a la sangre a que pase, a través de la válvula tricúspide, al ventrículo derecho, el cual entonces se contrae para bombear la sangre dentro del sistema circulatorio pulmonar. Cuando la presión ventricular supera a la presión auricular, la válvula tricúspide se cierra y la presión en el ventrículo obliga a la válvula semilunar a que se abra, produciendo de este modo un flujo de sangre en la arteria pulmonar, que se ramifica en los dos pulmones. Una vez oxigenada la sangre vuelve al corazón a través de la vena pulmonar.

La sangre entra en la aurícula izquierda por la vena pulmonar, y de allí se bombea hacia el ventrículo izquierdo, a través de la válvula mitral o bicúspide, mediante la contracción de los músculos de la aurícula. Cuando los músculos del ventrículo izquierdo se contraen, la presión en el ventrículo obliga a que se abra la válvula

aórtica, produciendo así un paso brusco de la sangre desde el ventrículo a la aorta. Hay que tener en cuenta que esta acción se produce en sincronismo con el bombeo de sangre del ventrículo derecho hacia la arteria pulmonar.

## B.2 Actividad eléctrica del corazón

El sistema eléctrico de excitación necesario para producir y controlar las contracciones musculares del corazón no procede directamente del sistema nervioso central como la mayor parte de las otras inervaciones musculares, sino que se inicia en el nódulo sinoauricular, o marcapasos, un grupo especial de células excitables.

El nódulo sinoauricular (SA) crea un impulso de excitación eléctrica que se propaga por las aurículas derecha e izquierda; la aurícula derecha es la primera en recibir la excitación debido a su proximidad al nódulo SA. Esta excitación produce la contracción de la aurícula y, un breve periodo de tiempo después, estimula el nodo auriculoventricular (AV). El nódulo AV activado inicia, después de un breve retraso, un impulso en los ventrículos, a través del haz de His, y en las ramas del haz que conectan con las fibras de Purkinje del miocardio. (Figura B.2).

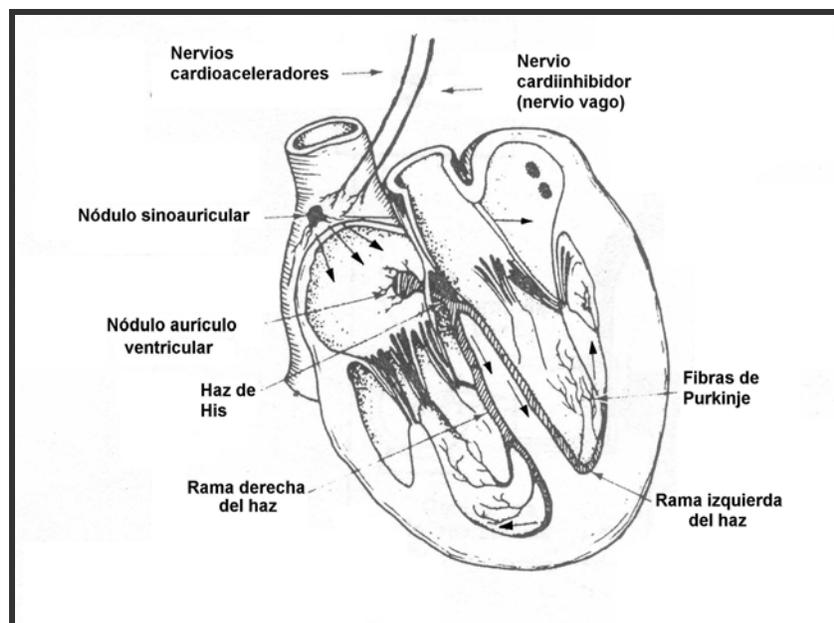


Figura B.2: Sistema de conducción cardíaco

El ritmo cardiaco está controlado por la frecuencia a la cual genera impulsos el nódulo SA. No obstante, algunos nervios del sistema nervioso simpático y el nervio vago del sistema parasimpático producen respectivamente, la aceleración y la desaceleración del ritmo cardiaco. Cabe mencionar de forma muy concreta que el sistema nervioso simpático está relacionado principalmente con la movilización del organismo para afrontar las emergencias mientras que el sistema parasimpático está relacionado con la digestión, la actividad sexual y la eliminación de residuos.

### ***B.2.1 Potenciales de acción que dan origen al electrocardiograma***

El fenómeno eléctrico generado durante el proceso de conducción del estímulo al músculo puede ser registrado en forma de un electrocardiograma (ECG) que refleja la propagación eléctrica de la despolarización y la repolarización en las cámaras. Estos fenómenos de despolarización y la repolarización se llevan a cabo en distintos tiempos y velocidades, dependiendo del nivel en que se encuentren en el sistema de conducción; en consecuencia, la suma de cada una de estas propagaciones da origen al registro que conocemos como ECG. Figura B.3.

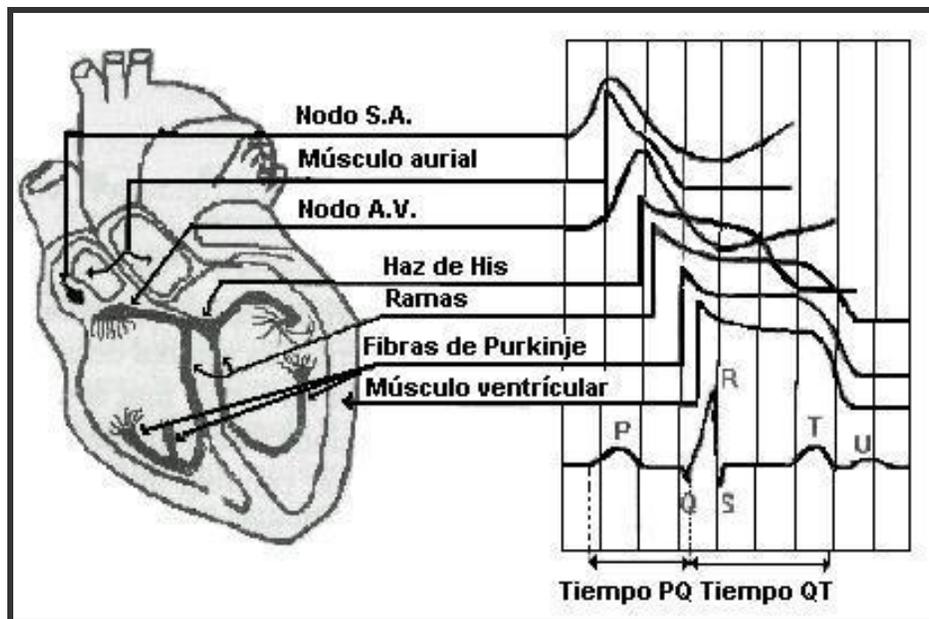


Figura B.3: Esquema del sistema de conducción cardíaco y sus ondas características.

La suma de cada una de las propagaciones en el ECG se le ha dado una designación alfabética; las cuales su origen se describen a continuación: El segmento horizontal que precede a la onda P se designa como línea de base o línea isopotencial. La onda P representa la despolarización de la musculatura auricular. La corriente procedente del nodo sinoauricular y continúa hasta llegar al nódulo auriculoventricular, propagándose al ventrículo, vaciándose la sangre de las aurículas a los ventrículos antes de que estos inicien su contracción, recogiendo el segmento PQ. Seguidamente esta corriente iónica llega al Haz de His y fibras de Purkinje, y a su ritmo se propagan por el músculo ventricular. El ECG registra la curva PQR del potencial de acción ventricular, generándose la contracción ventricular con esta despolarización. Al mismo tiempo, el músculo auricular pasa a su potencial de reposo, repolarizándose (ECG no se registra este hecho). A continuación los músculos ventriculares se polarizan, dando lugar a la curva T el corazón. Después de un retardo temporal crítico, se activan sincrónicamente los potentes músculos ventriculares para bombear la sangre a la circulación mayor.

### B.3 La Cateterización Cardíaca

La cateterización cardíaca es un procedimiento que tiene el propósito de ayudar al médico en la obtención de información diagnóstica en pacientes con sospecha de enfermedades cardiovasculares. Durante este procedimiento, se introduce un catéter en una vena o arteria del cuello, pierna, brazo, o ingle.

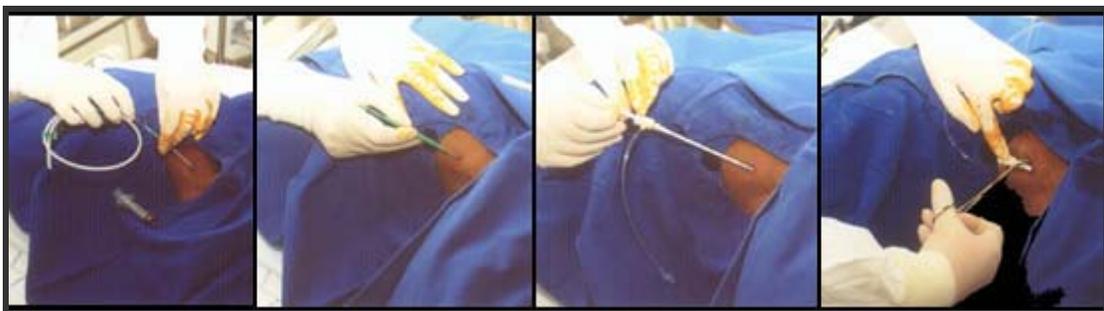
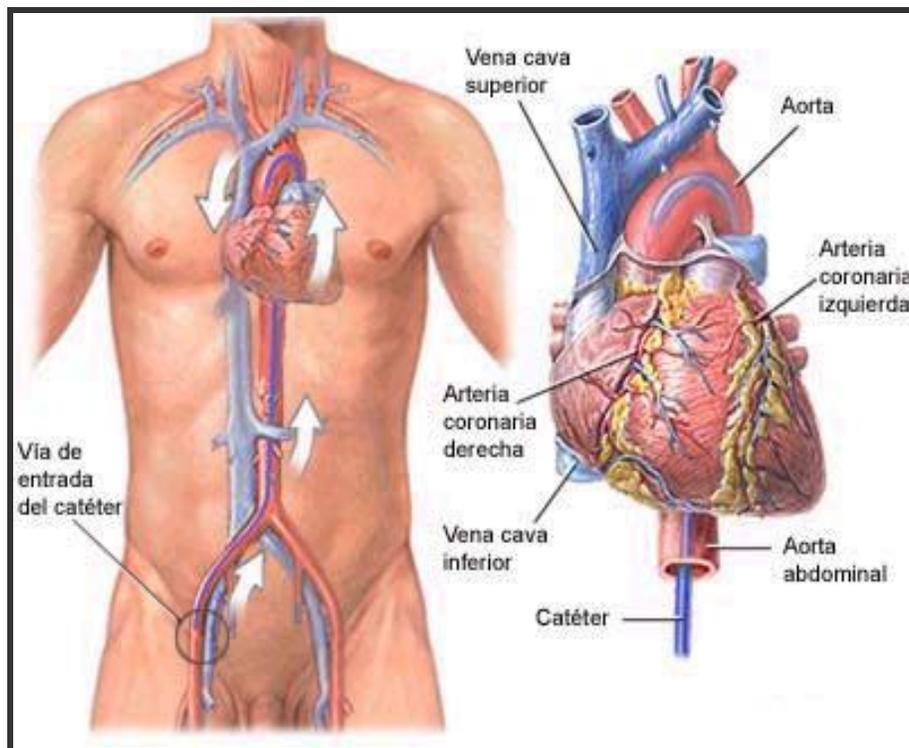


Figura B.3: Inserción de un catéter.

Una vez insertado en la vena o arteria, el catéter se lleva hasta el corazón o hasta una arteria coronaria. Mediante este procedimiento, se puede medir el nivel de presión existente dentro de las cámaras del corazón, medir la cantidad de oxígeno en la sangre, tomar muestras de sangre, evaluar la capacidad de bombeo del corazón, o efectuar una angiografía.



**Figura B.4: Esquema de un catéter dirigido al corazón.**

Uno de los procedimientos en que se utiliza la cateterización son en los estudios electrofisiológicos el cual sirve para estudiar a aquellos pacientes que sufren de irregularidades en los latidos del corazón (lo que se denomina arritmia). Una vez colocado el catéter, se envían pequeños impulsos eléctricos al corazón para hacerlo latir a diferentes velocidades. La estimulación del corazón provoca una arritmia y los médicos pueden registrar en qué lugar del corazón se origina. También pueden administrarse ciertos medicamentos a través del catéter para determinar cuáles logran eliminar la arritmia.

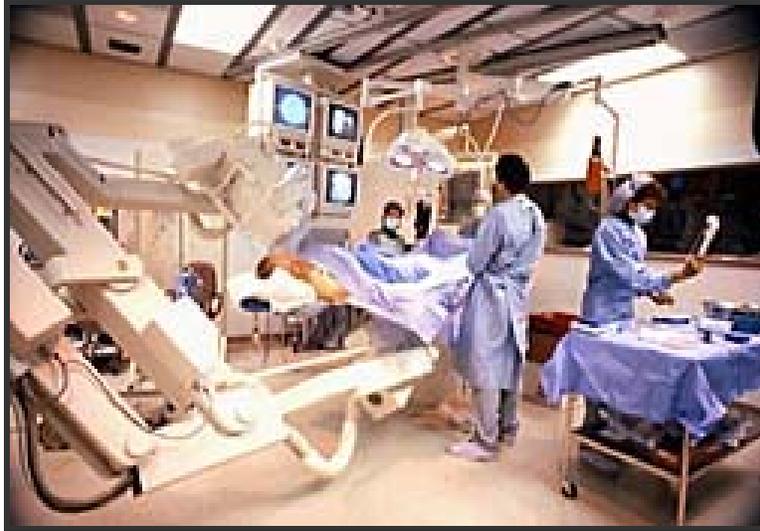


Figura B.5: Sala de cateterización

Como en el caso anterior, el catéter ofrece una conexión eléctrica con el corazón a través de la columna de fluido que está contenida dentro del catéter. Por tratarse de un conductor eléctrico puede constituir uno de los dos puntos que conecten al cuerpo a un circuito eléctrico externo. Cuando se da ese caso, toda la corriente que circule por el catéter pasa directamente a través del corazón. Por tanto la densidad de corriente en el corazón puede ser de una magnitud más alta que cuando se aplica la misma corriente a un contacto más distante del corazón. Por consiguiente, un paciente con cualquier tipo de catéter cardíaco es mucho más sensible a la corriente de lo que sería sin él a la tetanización y a la fibrilación.

#### **B.4 Fibrilación**

Durante la fibrilación, en lugar de las contracciones rítmicas normales de las aurículas y los ventrículos, se produce una contracción irregular rápida de paredes musculares. La fibrilación de la musculatura auricular se denomina *fibrilación auricular*, mientras que la fibrilación de los ventrículos se conoce como *fibrilación ventricular*. Cuando la fibrilación ocurre en los ventrículos, el corazón deja de bombear sangre

Bajo condiciones de fibrilación auricular, los ventrículos todavía pueden funcionar normalmente, pero responden con un ritmo irregular al bombardeo de estimulación eléctrica proveniente de la aurícula en fibrilación. Dado que la mayor parte del flujo sanguíneo hacia los ventrículos se produce antes de la contracción auricular, los ventrículos disponen aún en este caso de sangre para el bombeo. De este modo, a pesar de la fibrilación auricular se puede mantener la circulación si bien de forma no del todo eficiente. Con todo, la sensación producida por la aurícula fibrilante y la acción ventricular irregular puede ser completamente traumática para el paciente.

La fibrilación ventricular es mucho más peligrosa, los ventrículos en estas condiciones son incapaces de bombear sangre; y si no se corrige la fibrilación, sobrevendrá la muerte.

En experimentos con perros, la fibrilación se puede alcanzar con un valor tan pequeño como 20uA. Watson (Electrical threshold for ventricular fibrillation in man, 1973) determinó 199 uA para producir fibrilación ventricular y 15uA para fibrilación auricular a partir de aplicar a los corazones de 56 pacientes corrientes eléctricas durante una cirugía cardíaca. Para proporcionar un margen de seguridad las especificaciones para equipo médico establecen límites mucho más bajos.

### **B.5 Periodo vulnerable del corazón a la fibrilación**

Este periodo es una parte relativamente pequeña del ciclo cardíaco durante el cual las fibras del corazón están en un estado no homogéneo de excitabilidad y la fibrilación ventricular se produce si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de intensidad suficiente. Un estímulo al corazón durante la primera mitad de la onda T produce fibrilación cardíaca. (Figura B.6)

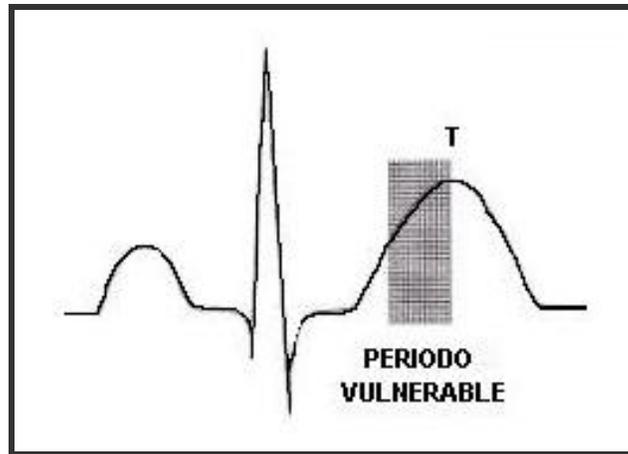


Figura B.6: Periodo vulnerable del ciclo cardíaco

La figura B.7. reproduce un electrocardiograma en el cual se representan los efectos de la fibrilación ventricular, indicándose las variaciones que sufre la presión arterial cuando se produce la fibrilación, la presión arterial experimenta una oscilación e inmediatamente, decrece, en cuestión de un segundo, hacia valores mortales.

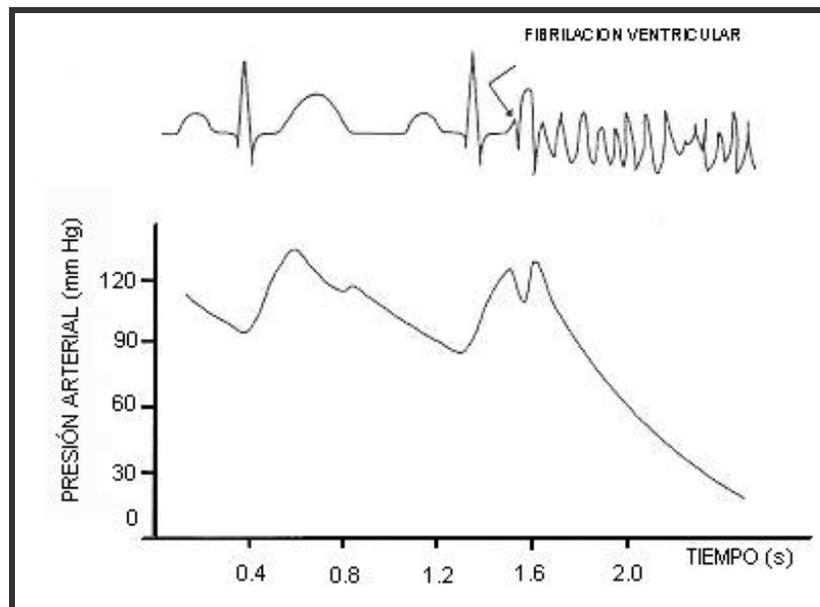


Figura B.7: Efecto de la fibrilación ventricular en el electrocardiograma.

Con la finalidad de proteger al paciente, es necesario implementar las medidas de seguridad que permitan evitar o por lo menos reducir el flujo de corrientes que lleven a la fibrilación.

## **Apéndice C: Áreas de Servicio de un Hospital**

Este apéndice está orientado a describir las funciones de los principales espacios que en ocasiones conforman un hospital para todo aquel que no esté familiarizado con este lugar de atención de la salud; para que de forma rápida conozca como se integra este.

### **C.1 Recepción**

La Recepción es una parte del hospital cuya característica es encontrarse en la parte inmediata de la entrada del hospital, en este lugar se llevan a cabo las siguientes funciones respecto a los pacientes:

- Información General.
- Vigencia de Derechos.
- Apertura de Expedientes Clínicos.
- Solicitud de Consulta.
- Solicitud de Visita Médica a Domicilio.
- Informes acerca del estado de los pacientes.
- Autorización de visitas a los enfermos internados.
- Solicitud de entrega de cadáveres.

### **C.2 Archivo Clínico**

Las funciones propias del Archivo Clínico son la formación, guarda y manejo de los expedientes clínicos de los pacientes y en consecuencia también los catálogos que se requieren para dicho manejo; la elaboración de estadísticas que se derivan de los mismos expedientes y por otra parte la coordinación de sus labores propias con las de vigencia de derechos, recepcionistas y auditoría médica.

### **C.3 Trabajo Social**

La labor de Trabajo Social que tiene es muy amplia y trascendente en cuanto al estado de salud integral de los individuos, en los hospitales desempeña un papel muy importante como complementario de la atención médica de los

derechohabientes, limitado solamente por posibilidades económicas. Las trabajadoras sociales investigan y tratan de resolver los problemas que derivan el estado de enfermedad de los pacientes, su medio familiar, social o de trabajo, ayudan con persuasión a que la conducta del paciente dentro del hospital sea conveniente para él y los demás enfermos, controlan las visitas de familiares en las horas reglamentarias y autorizan visitas especiales.

#### **C.4 Consulta Externa**

La Consulta Externa es el departamento en el cual se imparte atención médica a los pacientes no internados y cuyo padecimiento les permite acudir al hospital. La atención medica principalmente consiste en el interrogatorio y examen que conducen al diagnostico y a la prescripción de un tratamiento y también del tratamiento mismo cuando este no requiere equipos y condiciones especiales. Comprende lo que a grandes rasgos se define como Medicina Preventiva, Medicina General y Medicina de Especialidades. Los locales que integran la consulta externa son:

##### ***C.4.1 Salas de Espera***

Se componen de los espacios con asientos destinados a los pacientes y de los puestos de control de las recepcionistas. Las salas de espera deben contar con una buena iluminación eléctrica que al mismo tiempo no represente fatiga para los pacientes durante su espera. En algunas ocasiones cuentan con televisores para hacer más relajada su estancia en este espacio.

##### ***C.4.2 Consultorios de Medicina General***

En el se lleva a cabo un interrogatorio y ocultación a cargo del medico, con la finalidad de realizar un diagnostico para un posterior tratamiento o transferir al paciente a otra área para su atención. Sustancialmente constan de un vestidor, un escritorio para interrogatorio y una mesa de exploración y no existen equipos electromédicos.

**C.4.3 Consultorio de Ginecología y Obstetricia**

Se atiende tanto la secuela de los embarazos, como los padecimientos de los órganos genitales de la mujer, debido a esto frecuentemente existen exámenes endoscópicos.

**C.4.4 Consultorio de Cirugía**

A estos consultorios se envían a los pacientes que en opinión del médico general requieren alguna intervención quirúrgica especial. Para ello los médicos especializados en cirugía realizan una serie de exámenes que no son realizados dentro de este consultorio para ratificar o rectificar el diagnóstico del médico general. El consultorio de Cirugía no se diferencia del Consultorio de Medicina General.

**C.4.5 Consultorio de Gastroenterología**

A este consultorio acuden los pacientes cuyo médico general ha diagnosticado algún padecimiento específico del esófago, estómago, intestino, del hígado o vías biliares. Las exploraciones que se realizan a los pacientes son palpando y percutiendo el vientre del paciente, acudiendo a tactos rectales y mediante la observación de reflejos.

**C.4.6 Consultorio de Ortopedia-traumatología**

A él se remiten todos los pacientes que han sufrido una luxación o fractura de huesos largos, así como deformaciones congénitas y cualquier traumatismo en la piel y tejidos superficiales, en huesos y articulaciones. Si las fracturas no están expuestas, el traumatólogo podrá poner férulas y enyesados en el mismo consultorio.

**C.4.7 Consultorio de Neumonología**

A este consultorio se remiten todos los pacientes de las vías aéreas, de la laringe, traquea, pulmón y pleura. Los neumólogos consideran indispensable el uso

constante del fluoroscopio, el cual no se encuentra dentro del consultorio, sino en una habitación anexa a este

#### ***C.4.8 Consultorio de Cardiología***

En este consultorio se llevan a cabo exploraciones mediante el uso de equipo electromédico como son el electrocardiógrafo y el fluoroscopio, este último como lo fue en el caso del laboratorio de Neumonología no se encontrara dentro del consultorio.

#### ***C.4.9 Consultorio de Dermatología***

Se atienden los diversos padecimientos de la piel. En este consultorio pueden llevarse a acabo biopsias y efectuarse pequeñas cirugías. El médico utiliza una lámpara de rayos ultravioleta para hacer aparecer algunos padecimientos dermatológicos.

#### ***C.4.10 Consultorio de Alergología***

En este consultorio se atienden todas las enfermedades producidas por reacciones anafilácticas, todas ellas manifestaciones de tipo congestivo como las urticarias, asma, etc. El consultorio es semejante al consultorio general con la diferencia que el consultorio de alergología requiere un refrigerador para guardar los antígenos.

#### ***C.4.11 Consultorio de Urología***

Se atienden los padecimientos de la vejiga, la uretra, la próstata y en general vías urinarias. Este consultorio está compuesto de un consultorio tipo medicina general y un anexo donde se realizan las endoscopias.

#### ***C.4.12 Consultorio de Proctología***

En este consultorio se atienden las enfermedades del colon, recto y ano.

#### **C.4.13 Consultorio Dental**

Se realizan extracción de piezas dentarias y preparación de cavidades. En este consultorio existe el equipo eléctrico que se utiliza para la atención del paciente, tal como el succionador, silla y esterilizador.

#### **C.4.14 Consultorio de Otorrinolaringología**

Se atienden las enfermedades nasales y padecimientos de oído. Este consultorio está compuesto de un consultorio tipo medicina general y un anexo donde se realizan las exploraciones con equipo electromédico y las curaciones.

#### **C.5 Farmacia**

La farmacia provee de medicamentos para uso de los pacientes externos e internos de los hospitales. En ocasiones cuentan con montacargas para mejorar el traslado de los medicamentos hasta el almacén.

#### **C.6 Laboratorios Clínicos**

Los laboratorios se califican como uno de los principales auxiliares o medios de diagnóstico. Los laboratorios realizan análisis referentes tanto a pacientes externos como internos, siendo análisis de rutina hematología, microbiología y química. En ellos existe una numerosa variedad de equipos eléctricos con los cuales se llevan a cabo estos análisis. Además que debe contar con una buena iluminación, control de temperatura y aire acondicionado.

#### **C.7 Banco de Sangre**

Tiene como función obtener sangre de personas para ser empleada, la mayor parte de las veces, en las transfusiones que requieren los pacientes en el curso de las operaciones y partos o en las secuelas de estas intervenciones en la que permanecen los pacientes en el hospital, la sangre es colocada en equipos que preservan y la mantienen siempre lista para ser utilizada, esto claro después de ser examinada y aceptada para uso.

### **C.8 Radiodiagnóstico**

La radiología clínica presta una contribución importante al estudio integral del paciente. Se trata genéricamente de obtener imágenes de las partes internas del cuerpo humano, haciendo pasar un haz de rayos X a través de él, e imprimiendo la imagen emergente en una placa fotográfica que posteriormente es revelada o convirtiendo la imagen emergente en la pantalla fluorescente. Como tratamiento, se emplean las radiaciones para producir efectos biológicos de las células vivas con objeto de combatir las enfermedades.

### **C.9 Medicina Nuclear**

La Medicina Nuclear es uno de los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, caracterizado por el empleo de sustancias radioactivas para alcanzar dichos fines.

### **C.10 Fisioterapia**

Trata las enfermedades o deficiencias, principalmente de los sistemas músculo esqueléticos y del vascular, por medio de agentes físicos como la electricidad en diversas formas o el agua empleados en masajes o ejercicios musculares. La fisioterapia se emplea en la secuela de muy diversos padecimientos fracturas, quemaduras, accidentes vasculares, reumatismo, amputaciones, parálisis, infecciones, neuritis, encefalitis, etc.

### **C.11 Urgencias**

Tiene por función proporcionar atención médica inmediata en cualquier día y hora a los pacientes cuyo estado así lo requiera y que por tanto no pueden cumplir los procedimientos ordinarios que se siguen para ser atendidos en Consulta Externa o ser internados en forma programada.

Los casos de urgencias pueden ser traumatológicos o médicos, exceptuando de estos los obstétricos, que se atienden en el departamento correspondiente.

El departamento de urgencias esta compuesto por: Sala de Espera con puesto de control, Consultorio de examen, Curaciones niños, Curaciones adultos.

Los pacientes pueden requerir análisis, en cuyo caso se toman muestras y se llevan a los Laboratorios, o quizá sea necesario llevar al paciente al Departamento de Radiología, pero también es probable que sea necesario trasladar al paciente al Quirófano para efectuar una intervención quirúrgica.

### **C.12 Obstetricia**

Durante el periodo de embarazo las pacientes son examinadas en los consultorios de Medicina General o en los de Gineco-Obstetricia de Consulta Externa, al acercarse el termino del embarazo los médicos de la Consulta Externa envían a la paciente a ser atendida al Departamento de Obstetricia. También son atendidas en Obstetricia las pacientes que presentan complicaciones durante el embarazo y aquellas que presentan casos de legrados.

El parto se considera actualmente como un acto quirúrgico y por esta razón, las salas de expulsión se asemejan en muchos aspectos a las salas de operaciones de un quirófano.

### **C.13 Cirugía**

Comprende los espacios e instalaciones necesarios para realizar las intervenciones quirúrgicas llamadas de cirugía mayor, o sea aquellas que requieren un grado elevado de asepsia así como un equipo e instrumental muy amplio.

El Departamento de cirugía esta estrechamente ligado con el Departamento de Urgencias, cuyos pacientes debido a su estado crítico pueden necesitar una intervención quirúrgica no programada. El departamento Toco quirúrgico, donde se atienden intervenciones que no sean estrictamente del dominio obstétrico. Consulta Externa que determina las intervenciones programadas. Y la Central de

Equipos y Esterilización, que esta encargada de proporcionar instrumental y ropa esterilizada.

#### **C.14 Central de Esterilización y Equipos**

En la Central de Esterilización y Equipos se procesa fundamentalmente lo que se refiere al instrumental y material terapéutico y quirúrgico. Recibe artículos nuevos del almacén general del hospital, ropa limpia de la lavandería y entrega material esterilizado o equipos de diversos departamentos del hospital en los que son atendidos los pacientes, externos e internos. Sin embargo, su relación constata es con el Departamento de Cirugía y Gineco-Obstetricia.

#### **C.15 Admisión Hospitalaria**

Es el lugar en el que el paciente o sus familiares hacen los tramites necesarios para el ingreso del hospital.

#### **C.16 Hospitalización**

La atención de los pacientes hospitalizados tiene aspectos terapéuticos a cargo de médicos, enfermeras y auxiliares. En los hospitales los servicios de hospitalización se organizan en Unidades, que corresponden a las grandes ramas de la medicina: Medicina y Cirugía generales, Gineco-obstetricia y Pediatría. En las primeras se atienden los casos de medicina y cirugía, excluyendo los que corresponden a las otras dos unidades. La otra unidad de Gineco-obstetricia están destinadas a los casos de maternidad y a los padecimientos ginecológicos e incluye una sección para niños recién nacidos. Las unidades de Pediatría abarcan todos los padecimientos de niños y adolescentes hasta los 16 años.

Las unidades de hospitalización tienen relación con los siguientes departamentos del hospital: Admisión, Cirugía, Toco quirúrgico, Cocina General, Lavandería y Anatomía Patológica; secundariamente tiene relación con el departamento de Urgencia.

Dentro de la hospitalización de las cuatro ramas principales de la medicina existe la unidad de Cuidados Intensivos, esta unidad proporcionar un cuidado de enfermería de alta calidad para los pacientes que requieren una continua y detallada observación, ya que los pacientes que ingresan a este servicio es por los siguientes problemas: choque, hemorragia, dificultades respiratorias, convulsiones, coma y trastornos circulatorios, por mencionar algunos. Cada una de las camas contará con receptáculos, salidas de oxígeno y vacío y lugar para la colocación de aparatos de registro de los signos vitales.

### **C.17 Anatomía Patológica**

Estudia la disposición de las células en su forma y estructura, los órganos, tejidos, secreciones o líquidos del cuerpo humano a fin de determinar la normalidad o patología de los mismos. El anatonomo patólogo trabaja en tres campos principales: patología quirúrgica (biopsias y órganos completos de la sala quirúrgica), citología exfoliativa (biopsias de consulta externa y hospitalización) y autopsias.

### **C.18 Cocina General**

Se encarga de proporcionar alimentos completos a pacientes internados, al personal de acuerdo con su ocupación y horario de trabajo.

### **C.19 Lavandería**

Es el encargado del lavado, planchado y suministro de ropa limpia y bien presentada, tanto a los pacientes como al personal que labora dentro de la unidad hospitalaria. Un buen surtido de ropa limpia es factor de suma importancia en el tratamiento del paciente.

### **C.20 Vestidores de personal**

En los hospitales son disposiciones reglamentarias que el personal use uniforme, para cumplir esas disposiciones se requieren vestidores centrales que están

divididos de acuerdo con el tipo de trabajo y sexo de las personas que prestan sus servicios en el hospital.

## **C.21 Locales diversos**

### **C.21.1 Almacén**

El hospital debe tener un almacén general, que depende de la oficina administrativa, en el cual se reciben y guardan toda clase de artículos nuevos, con excepción de víveres y de las medicinas, que se guardan directamente en los departamentos de Cocina y Farmacia respectivamente, destinados al consumo de los diversos departamentos: instrumental médico, vidriería y sustancias de laboratorio, colchones, cobertores, ropa en general, artículos de limpieza, etc.

### **C.21.2 Departamento de Mantenimiento**

El Departamento de Mantenimiento o Conservación del hospital, que conviene esté a un ingeniero de las ramas mecánica o eléctrica, se encarga del buen estado de conservación del edificio y de la correcta operación de sus instalaciones y los aparatos o equipos.

Las labores de mantenimiento que realiza, por su índole se dividen en: mantenimiento preventivo y correctivo. El cuidado que preste al primer aspecto significa funcionamiento interrumpido de los equipos e instalaciones, duración de los mismos y menor costo de operación. Para esto se requiere el inventario de los aparatos y equipos que, en forma análoga a los pacientes que atienden el hospital, tienen una tarjeta o expediente en el que constan sus características de fabricación, sus necesidades en cuanto a combustible, lubricantes, corriente eléctrica y las reparaciones de que son objeto en el transcurso del tiempo.

Por otra parte, en forma clasificada de acuerdo con la índole de atención que requieren los equipos, se elaboran las rutinas de trabajo: lubricación, carga de combustible, prueba, cambio de refacciones, y limpieza.

En el mantenimiento correctivo se realizan las reparaciones o sustituciones de piezas o equipos que sea necesario. Comprende también los trabajos de reparación de elementos constructivos del edificio, de reposición de elementos constructivos del edificio, de reposición de materiales de acabados, de pintura en general y la conservación de la jardinería.

### **C.22 Oficinas de Gobierno**

Las oficinas que podemos encontrar de manera general son: Oficina del Director, Oficinas administrativas, Oficinas para jefe de servicio.

### **C.23 Enseñanza**

Cualquier departamento del hospital, ligado directa o indirectamente con la atención médica puede ser un lugar de enseñanza técnica, profesional o de post-graduados.

Por otra parte también se realiza enseñanza dirigida a los derechohabientes o público en general, por medio de pláticas, conferencias o proyecciones como parte de programas de medicina preventiva, de cuidados maternos y de regímenes terapéuticos, dietéticos, higiénicos u otros.

### **C.24 Habitaciones de Médicos**

Las habitaciones son para uso de médicos residentes o internos recién graduados que prestan sus servicios en los hospitales para llenar la práctica que les permita aspirar a puestos de mayor responsabilidad o bien cumplir los requisitos para obtener diplomas de post graduados en alguna especialidad. En las unidades de hospitalización llevan el peso de la atención constante de los enfermos, cumpliendo las instrucciones dadas por los Jefes de Servicio. Aún dentro de sus horas de descanso deben estar dispuestos para acudir al llamado que se les haga de cualquier departamento del hospital en situaciones de urgencia.