



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DISEÑO DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO DE UNA SALA DE OPERACIONES  
CONFORME A NORMATIVIDAD VIGENTE**

# **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

GARCÍA MARTÍNEZ MIGUEL  
MONDRAGÓN RODRÍGUEZ DANIEL

DIRECTOR DE TESIS

ING. JULIO C. LUNA CASTILLO

2013



# AGRADECIMIENTOS

*A través de estas líneas quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento:*

*A **Dios** por haber guiado mis pasos, por darme fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida, por darme todo lo que tengo y sobre todo por ser mi mejor amigo.*

*A mi **Madre Cecilia** quien ha puesto toda su confianza en mí y ha sido mi principal apoyo, que sin su educación, simple y sencillamente no sería la persona que soy el día de hoy, ha luchado conmigo desde el día de mi nacimiento, en cada prueba ha estado conmigo guiándome en lo que es correcto. No existe forma alguna de agradecer todo lo que esa guerrera me ha dado. Este triunfo no es mío, sino de ella, y no me queda más que agradecerle a Dios por haber elegido a esta mujer para ser mi madre.*

*A mis **Padres Vicente y Cecilia** que me han brindado su apoyo en todo momento, por cada uno de los valores que me han inculcado y sobre todo por ser excelentes ejemplos de vida a seguir.*

*A mi **Tío Benjamín** quien ha llegado a ser como un padre para mí, él forma parte de este caminar ya que sin interés alguno me brindó su apoyo desde la infancia logrando que yo cumpliera esta meta, que Dios lo cuide hoy y siempre.*

*A mis **Tíos Raymundo, Verónica y Judith** quienes han creído en mí y que han estado siempre conmigo y con mi familia apoyándonos en toda circunstancia..*

*A mi **Amiga Haideé** gran mujer que Dios me permitió conocer en la Facultad y que ha llegado a tomar un papel muy importante en mi vida, ha estado no solo en los momentos buenos, sino también en aquellas situaciones difíciles, gracias por su amistad y que Dios la cuide hoy y siempre.*

*A **Miguel** amigo y compañero de este trabajo, por todo el apoyo que me ha brindado en la realización de esta tesis, y que gracias a su constancia y esfuerzo ha sido posible lograr este triunfo.*

*Al **Ing. Julio C. Luna Castillo** por darnos la oportunidad de ser nuestro director de tesis, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la tesis.*

*A todos ellos, de corazón. Muchas gracias por todo lo compartido.*

**Daniel M. Rodríguez**

## **RECONOCIMIENTO y AGRADECIMIENTO**

*Especial reconocimiento merece el interés mostrado para nuestro trabajo por un excelente profesionalista que gracias a sus aportaciones ha apoyado en el desarrollo de ingenieros en nuestro país, se trata del Ing. Saúl E. Treviño García con el que nos encontramos en deuda por el ánimo infundido y la confianza en nosotros depositada. Ya que sin interés alguno decidió aportarnos de todo su conocimiento sobre la ingeniería hospitalaria, agradezco por la orientación, el seguimiento y la supervisión de esta tesis, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.*

*¡Muchas gracias!*

*Daniel M. Rodríguez*

## AGRADECIMIENTOS

*Dedico este trabajo a Dios, a mis padres Miguel García Robledo y Virginia Martínez Raya, a mis hermanos Javier y José Luis, a mis amigos Daniel Mondragón Rodríguez y Saúl Eduardo Treviño García y a todas las personas que con su apoyo han hecho posible que hoy tenga la satisfacción de cumplir una meta muy importante en mi vida.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, hermanos y a mi tío Isaías García Robledo por el invaluable esfuerzo que hicieron a lo largo de estos años para brindarme los recursos y el tiempo que requerí, pero sobre todo gracias por el ejemplo que me han dado siempre.*

*Agradezco especialmente:*

*Al Ing. Saúl Eduardo Treviño por dedicarnos parte de su tiempo tan valioso y compartirnos sus conocimientos y experiencias, sin más interés que el gusto por la Ingeniería y el deseo de darle a nuestro país personas capaces de aportar cosas positivas.*

*A mi amigo Daniel por trabajar en equipo conmigo no solo en éste, sino en varios proyectos importantes a lo largo de nuestra formación académica.*

*A la UNAM por ser una excelente institución educativa que me ha proporcionado los elementos indispensables para cumplir mi propósito profesional.*

*Miguel García Martínez.*

# ÍNDICE

II. Agradecimientos.

X. Índice de Figuras.

XII. Índice de Tablas.

XII. Índice de Gráficas.

XIII. Introducción.

XV. Objetivos.

## 1 Sala de Operaciones (Quirófano).

1.1 Antecedentes de las Salas de Operaciones (Quirófanos).

1.2 Conceptos y Definiciones.

1.2.1 Instalaciones en Lugares de Atención a la Salud.

1.2.2 Hospital.

1.2.3 Áreas de Atención al Paciente.

1.2.4 Áreas de Atención General.

1.2.5 Áreas de Atención Crítica.

1.2.6 Lugares con Procedimientos Húmedos o Mojados.

1.2.7 Sala de Operaciones.

1.2.8 Unidad Quirúrgica.

1.2.9 Área de Transferencia.

- 1.2.10 Área Blanca.
- 1.2.11 Área Gris.
- 1.2.12 Área Negra.
- 1.2.13 Vecindad del Paciente.

### 1.3 Clasificación de las Salas de Operaciones.

- 1.3.1 Sala de Operaciones de Corta Estancia.
- 1.3.2 Salas de Expulsión.
  - 1.3.2.1 Unidad de Obstetricia o Tocología.
  - 1.3.2.2 Unidad Tocoquirúrgica.
- 1.3.3 Salas de Cirugía.
  - 1.3.3.1 Cirugía Mayor Ambulatoria.
  - 1.3.3.2 Cirugía General.
  - 1.3.3.3 Cirugía de Especialidad.

### 1.4 Infraestructura y Equipamiento de la Sala de Operaciones.

- 1.4.1 El Diseño Arquitectónico.
- 1.4.2 Ubicación.
- 1.4.3 Tamaño.
- 1.4.4 Equipamiento de Una Sala de Operaciones.

## 2 Peligros Potenciales en una Sala de Operaciones.

### 2.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.

- 2.1.1 Aportaciones de Charles F. Dalziel.
- 2.1.2 Efectos y Niveles de la Corriente en un Choque Eléctrico.

- 2.1.3 **Parámetros que Intervienen en los Efectos Fisiológicos de un Choque Eléctrico.**
- 2.1.4 **Impedancia del Cuerpo Humano.**
- 2.1.5 **Tiempo.**
- 2.1.6 **Frecuencia.**
- 2.1.7 **Recorrido de la Corriente Eléctrica a Través del Cuerpo.**
- 2.2 **Salas que Involucren Gases Anestésicos Inflamables y Gases Anestésicos no Inflamables.**
  - 2.2.1 **Salas que Involucran Gases Anestésicos Inflamables.**
    - 2.2.1.1 **Incendio y Explosión.**
    - 2.2.1.2 **Electricidad (Cargas Estáticas y Pisos Conductivos).**
    - 2.2.1.3 **Corto Circuito y Falla a Tierra.**
    - 2.2.1.4 **Protecciones Eléctricas (Paciente y Personal Operativo).**
    - 2.2.1.5 **Ventilación y Extracción.**
  - 2.2.2 **Gases Anestésicos no Inflamables.**
    - 2.2.2.1 **Incendio y Explosión.**
    - 2.2.2.2 **Electricidad (Cargas Estáticas).**
    - 2.2.2.3 **Corto Circuito (Puesta a Tierra).**
    - 2.2.2.4 **Protecciones Eléctricas.**
    - 2.2.2.5 **Ventilación y Extracción.**
- 2.3 **Lugares con Procedimientos Húmedos y Mojados.**
  - 2.3.1 **Protecciones Eléctricas.**

- 2.3.2 Corrientes de Fuga.
- 2.4 Intervenciones Quirúrgicas por Métodos Invasivos que Involucran al Músculo Corazón.
  - 2.4.1 Corrientes de Fuga en Instalaciones y Equipo Médico.
  - 2.4.2 Sistema Eléctrico Aislado.
    - 2.4.2.1 Instalación del Sistema Eléctrico Aislado.
    - 2.4.2.2 Instalación del Monitor de Aislamiento de Línea.
- 2.5 Intervenciones Quirúrgicas por Métodos Invasivos que no Involucran al Músculo Corazón.
  - 2.5.1 Sistema Eléctrico Aislado VS Aterrizado.

### **3 Diseño del Sistema Eléctrico General.**

- 3.1 Sistema Eléctrico General.
- 3.2 Sistema Eléctrico Esencial.
  - 3.2.1 Sistema de Emergencia.
  - 3.2.2 Sistema de Equipo.
- 3.3 Sistema Eléctrico no Esencial (Sistema Eléctrico Normal).
- 3.4 Sistemas Alternos de Energía.
  - 3.4.1 Generadores Propulsados por Motores de Combustible.
  - 3.4.2 Acometida Externa de la Empresa Suministradora.
- 3.5 Sistema Eléctrico Aislado (Alimentadores).
- 3.6 Programa de Mantenimiento.
  - 3.6.1 Iluminación (Instalación y Mantenimiento de Luminarios).

### **3.7 Pruebas Establecidas por la NFPA en Salas de Operaciones.**

**3.7.1       Requerimientos para la Realización de las Pruebas.**

**3.7.2       Equipo de Medición a Utilizar en las Pruebas.**

**3.7.3       Listado de Pruebas a Realizar.**

## **4 Conclusiones.**

**Bibliografía.**

**Mesografía.**

# Índice de Figuras.

Figura 1. Hospital Regional de Ciudad Juárez .....	3
Figura 2. Área de Atención General .....	4
Figura 3. Área de Atención Crítica .....	5
Figura 4. Sala de Operaciones .....	6
Figura 5. Unidad Quirúrgica .....	7
Figura 6. Área Blanca .....	8
Figura 7. Área Gris .....	9
Figura 8. Área Negra .....	10
Figura 9. Vecindad de un Paciente .....	11
Figura 10. Diseño de una Sala de Operaciones en Donde el Área de Trabajo se Encuentra Separada por un Corredor .....	18
Figura 11. Diseño de Una Sala de Operaciones en Donde el Núcleo Central Contiene los Equipos y los Materiales Limpios y Estériles .....	18
Figura 12. Estructura de la Piel Humana .....	32
Figura 13. Valores Porcentuales Relativos de la Impedancia del Cuerpo Humano para Diferentes Trayectorias .....	34
Figura 14. Trayectoria de la Corriente en el Macroshok .....	37
Figura 15. Trayectoria de la Corriente en el Microshok .....	38
Figura 16. Chispazo Generado por Dos Elementos Eléctricos .....	40
Figura 17. Comportamiento de las Cargas Eléctricas .....	42
Figura 18. Utilización de Pisos Conductivos en una Sala de Operaciones .....	44
Figura 19. Representación de un Corto Circuito .....	45
Figura 20. Representación del Sistema Eléctrico Aislado .....	47
Figura 21. Contacto con Interruptor de Falla a Tierra .....	54
Figura 22. Principio de Funcionamiento del Transformador de Aislamiento .....	62

<b>Figura 23. Integración del Monitor de Aislamiento de Línea al Sistema Eléctrico Aislado .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 24. Instalación del Sistema Eléctrico Aislado y Contactos .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 25. Identificación de Contactos en un Sistema Eléctrico Aislado .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 26. Instalación del Monitor de Aislamiento de Línea .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 27. El Sistema Eléctrico General .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 28. Uso de Desconectores de Transferencia .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 29. Recepción del Suministro Eléctrico por Dos Acometidas de Subestaciones Eléctricas Diferentes .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 30. Alimentador del Sistema Eléctrico Aislado .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 31. Instalación de la Lámpara Quirúrgica en una Sala de Operaciones ...</b>	<b>97</b>
<b>Figura 32. Modo de Empleo del Isotester en la Prueba No. 1 .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 33. Prueba a los Interruptores de Falla a Tierra (GFCI).....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 34. Modo de Empleo del Electrical Safety Analyzer Para la ejecución de la Prueba 4.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 35. Medición de la Corriente de Fuga a la Unidad Electroquirúrgica .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 36. Medición de la Resistencia de un Piso Conductivo .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 37. Identificación de Conductores en los Contactos del SEA .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 38. Medición de Continuidad en Partes Metálicas de la Sala de Operaciones .....</b>	<b>111</b>

## **Índice de Tablas.**

Tabla 1. Equipo Médico de Utilización.....	24
Tabla 2. Límite de Inflamabilidad de los Gases Anestésicos .....	50
Tabla 3. Tipos de Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva....	91
Tabla 4. Tabla 4. Clasificación de Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva .....	92
Tabla 5. Equipo de Medición a Utilizar en las Pruebas .....	101

## **Índice de Gráficas.**

Gráfica 1. Niveles de la Corriente Eléctrica y Efectos Fisiológicos que Produce la Corriente en un Cuerpo Humano.....	31
Gráfica 2. Relación Entre el Efecto de la Corriente y la Frecuencia, Elaborada por el Dr. Dalziel de Manera Experimental.....	36

# Introducción.

El diseño de los sistemas eléctricos para los lugares dedicados a la atención de la salud de los seres humanos, en particular para las salas de operaciones y áreas críticas, se considera como una especialización del diseño de las instalaciones eléctricas, ya que su objetivo es el de preservar la vida y garantizar la seguridad de los pacientes en condiciones de corrientes de falla que pueden ocasionar la muerte por electrocución, además debe proteger contra choques eléctricos a los profesionales de la medicina (médicos, enfermeras e ingenieros biomédicos) y dispositivos médicos en condiciones operativas.

Como se describirá a detalle a lo largo de este documento, la corriente eléctrica tiene diversos efectos a su paso por el cuerpo humano, desde una simple sensación de hormigueo hasta quemaduras graves, sin olvidar los efectos fisiológicos que se presentan, entre los cuales el más grave es la fibrilación cardiaca. Todos los daños mencionados varían dependiendo de la densidad de corriente que circule, la frecuencia y el tiempo durante el cual se mantenga el flujo.

Hoy en día existen documentos normativos que están basados en una gran cantidad de datos históricos, experimentos e investigaciones de ingenieros y médicos especializados, por lo tanto el diseño de un sistema eléctrico se debe realizar conforme a una normatividad en el caso de nuestra Nación la norma que nos rige en cuestión de instalaciones eléctricas es la NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (Utilización)” la cual dedica el capítulo 517 a las Instalaciones en Establecimientos De Atención de la Salud, en éste se establecen criterios para la construcción e instalaciones eléctricas en establecimientos de atención de la salud de seres humanos,.

Tanto las normas oficiales mexicanas como el contenido de esta tesis no pretenden ser una guía de instalación, únicamente pretenden establecer los parámetros mínimos de seguridad en una instalación de atención a la salud y por lo tanto a la hora de diseñar y de mantener en funcionamiento el establecimiento, es indispensable la intervención de personal especialmente capacitado, es decir, ingenieros biomédicos e ingenieros eléctricos.

Esta tesis se compone de tres capítulos con el desarrollo de la investigación y uno más de conclusiones.

En el primer capítulo se presenta la sala de operaciones definiéndola desde el punto de vista normativo, así como su diseño arquitectónico, equipamiento y cada una de las áreas

por la que está integrada, otro punto y uno de los temas más importantes, es la clasificación que les da la Secretaría de Salud a las salas de operaciones de acuerdo con la intervención quirúrgica a realizar. Este apartado toma importancia, ya que de acuerdo con la intervención a realizarse se diseñará con el equipo eléctrico adecuado a la actividad que ahí se realice.

El segundo capítulo describe los peligros potenciales en una sala de operaciones, como son explosiones debido al uso de gases anestésicos, interrupciones de energía debido a fallas de las instalaciones. así como los peligros de electrocución de los pacientes y del personal médico, para ello expondremos los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano, mencionando cada uno de los niveles de corriente que se han establecido con base en los experimentos y estudios realizados por importantes ingenieros y médicos entre los cuales destaca Charles F. Dalziel.

El tercer capítulo entrelaza cada uno de los conceptos de los primeros dos capítulos para darles un sentido a través de las normas vigentes, con la finalidad de establecer criterios de diseño que representan ventajas en los niveles de seguridad, el grado de sencillez y las inversiones iniciales y de mantenimiento de una instalación eléctrica. Una parte que se debe tomar muy en cuenta del capítulo tres, es el apartado dedicado a las pruebas y mantenimiento de una sala de operaciones, ya que no basta con realizar un buen diseño y una buena instalación eléctrica, sino que se debe verificar periódicamente el buen funcionamiento de todo el conjunto, ya que es bien sabido que cualquier material sufre de deterioro con el uso y el paso del tiempo, de esta forma una sala de operaciones siempre será susceptible de fallas ocasionadas por este motivo.

# OBJETIVOS.

## General.

Realizar el diseño del sistema eléctrico de una sala de operaciones, de acuerdo con lo contenido en los documentos normativos aplicables, con el propósito de prevenir las molestias y accidentes durante una interrupción de la energía eléctrica, así como, evitar los choques eléctricos a las personas y pacientes, debido a la utilización y operación de las instalaciones y equipo médico de utilización.

## Específicos.

- Documentar lo referente a salas de operaciones, partiendo desde los elementos más simples como son definiciones y conceptos, con la finalidad de establecer una clasificación de acuerdo con el tipo de intervención quirúrgica que se realizará en el área, además se establecerá la infraestructura y equipamiento que se requiere en una sala de operaciones.
- Establecer los valores de afectación de la corriente eléctrica en el ser humano y posteriormente realizar un análisis de los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo.
- Analizar los peligros potenciales que se puedan presentar en una sala de operaciones debido a la utilización de materiales y equipos médicos, y de esta manera establecer los sistemas de protección más adecuados en cada área.
- Establecer las bases de un diseño eléctrico, así como un programa de mantenimiento y pruebas en una sala de operaciones.

**CAPÍTULO**

**1**

**Sala de Operaciones  
(Quirófano).**



## 1.1 Antecedentes de las Salas de Operaciones (Quirófano).

La idea de realizar intervenciones quirúrgicas en locales especiales ha evolucionado a través de la historia y recientemente se ha vinculado con el desarrollo de la tecnología. Desde la Grecia clásica, los hipocráticos seleccionaban en forma empírica locales limpios y ventilados para llevar a cabo los procedimientos manuales e instrumentales; ejercían la profesión en establecimientos llamados iatreion, de los que existen descripciones, tanto del equipo, como instrumentos quirúrgicos e incluso, de las condiciones de la luz, la cual ya se clasificaban en natural y artificial, directa e indirecta.

Se tiene documentado que la reunión de los equipos de salud tiene sus antecedentes desde los campamentos romanos los cuales condujeron al diseño de áreas para llevar a cabo intervenciones quirúrgicas en hospitales. En el renacimiento las pocas instalaciones que existían para este propósito tenían el nombre de anfiteatro de operaciones, eran edificios redondeados y con gradas para espectadores que asistían a las demostraciones de los eventos clínicos y quirúrgicos. Este tipo de instalaciones permaneció prácticamente hasta principios del siglo XIX; en esta época, los cirujanos observaron que era más frecuente que se infectaran los enfermos quirúrgicos dentro de estos sitios, lo cual provocó que acudieran a los domicilios de los pacientes y acondicionaran una habitación para realizar la operación en ella.

Probablemente estas experiencias hicieron florecer a los pequeños hospitales y en donde fue evidente la necesidad de concentrar los recursos y crear las condiciones necesarias en áreas específicas de los hospitales. Uno de los primeros logros fue la aplicación del método antiséptico en 1893 por Félix Terrier del hospital Bichat quien hizo de la sala de operaciones un recinto de limpieza. A partir de entonces casi todas las innovaciones técnicas del siglo XX y XXI han encontrado una utilidad en el desarrollo y enriquecimiento de las salas de operaciones.





## 1.2 Conceptos y Definiciones.

Para la realización del diseño eléctrico de una sala de operaciones es necesario conocer como está estructurado un hospital de acuerdo con las actividades que se realizan en cada área, puesto que en un sistema como éste no sólo se brinda la atención a los pacientes si no que también está compuesto por áreas de administración, de docencia entre otras.

En este caso las de nuestro interés son las áreas de atención directas al paciente y en específico una de las unidades de atención crítica, la cual es, la sala de operaciones.

A continuación detallaremos algunas definiciones de las más importantes y que serán útiles para el desarrollo de este trabajo y que tienen como referencia a dos de las Normas Oficiales Mexicanas, esto con el fin de no utilizar términos que puedan entrar en controversia, ejemplo de ello, sería la sala de operaciones, aunque comúnmente esta área es llamada quirófano ninguna Norma Oficial hace uso de este término. Las dos normas a las que nos apegaremos son las siguientes:

- **NOM-016-SS3-2012 Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada.**
- **NOM- 001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas (utilización).**

Las siguientes definiciones están jerarquizadas, partiendo de las más generales a las más particulares, es decir definiendo desde que es un lugar de atención a la salud hasta llegar a lo que se conoce como vecindad del paciente.

### 1.2.1 Instalaciones en Lugares de Atención a la Salud.

Son las instalaciones en edificios o partes de edificios o unidades móviles que proporcionan servicios médicos, tales como hospitales, establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios, establecimientos de atención limitada, clínicas y consultorios médicos o dentales.





### 1.2.2 Hospital.

Establecimiento público, social o privado que tenga como finalidad la atención a enfermos que se internen para fines de diagnósticos, tratamiento o rehabilitación. Puede también tratar enfermos ambulatorios y efectuar actividades de formación y desarrollo de personal para la salud y de investigación.



Figura 1. Hospital Regional de Ciudad Juárez

### 1.2.3 Áreas de Atención del Paciente.

Son las áreas de las instalaciones en lugares de atención de la salud en las cuales se examinan o se tratan a los pacientes; se clasifican como áreas de atención general y áreas de atención crítica, pudiendo ser cualquiera de ellas clasificada como local húmedo. Es responsabilidad del cuerpo de administración el designar estas áreas de acuerdo con el tipo de atención y cuidados que se otorguen al paciente y con las siguientes definiciones:



### 1.2.4 Áreas de Atención General.

Al servicio que cuenta con camas censables para atender pacientes internos, proporcionar atención médica con el fin de realizar diagnósticos, aplicar tratamientos y cuidados continuos de enfermería. El paciente está en contacto con dispositivos ordinarios tales como el sistema de llamado a enfermeras, teléfonos y aparatos de entretenimiento. En esta área puede ser necesario que los pacientes estén conectados con equipo médico tales como electrocardiógrafos, aspiradores, monitores de signos vitales, otoscopios, oftalmoscopios, etc.



Figura 2. Área de Atención General

### 1.2.5 Áreas de Atención Crítica.

Son los espacios de atención especial tales como: Terapia Intensiva (adulto, pediátrica y neonatal), Terapia Intermedia, Salas de Operaciones, Área de Recuperación, Cirugía de Corta Estancia, Urgencias, Tococirugía, Unidades de Cuidados Coronarios, Hemodiálisis y Diálisis Peritoneal, Área de Quemados, Salas de Angiografía, Salas de Tomografía Computarizada, Salas de Resonancia Magnética, Gabinete de Radioterapia, y/o áreas similares en las cuales los usuarios (pacientes) estén sujetos a procedimientos invasivos y conectados a equipos médicos de alta tecnología que estén energizados mediante



contactos grado hospital. Para el caso de Laboratorios Clínicos, Laboratorios de Citología y/o áreas donde se almacenan reactivos, medicamentos, vacunas, sangre y hemoderivados serán también consideradas áreas de atención crítica.



Figura 3. Área de Atención Crítica

### 1.2.6 **Lugares con Procedimientos Húmedos o Mojados.**

Son los locales de atención a pacientes donde normalmente existen 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 o mojadas, siempre y cuando alguna de estas condiciones esté íntimamente relacionada con el uso de equipos médicos, los pacientes y con el personal. Los procedimientos de limpieza rutinarios y derrames accidentales de líquidos no definen un lugar con procedimientos húmedos o mojados.





### 1.2.7 Sala de Operaciones.

Al local donde se realizan las intervenciones quirúrgicas y aquellos procedimientos de diagnóstico y tratamiento que requieren efectuarse en un local aséptico.



Figura 4. Sala de Operaciones

### 1.2.8 Unidad Quirúrgica.

Al conjunto de locales y áreas tales como: vestidores con paso especial a un pasillo “blanco”, pasillo “gris” de transferencia, prelavado, sala de operaciones, área de recuperación y central de esterilización y equipos.





Figura 5 Unidad Quirúrgica

### 1.2.9 Área de Transferencia.

Al espacio de transición que dispone de un elemento físico de separación, entre áreas con diferentes condiciones de asepsia que controla el paso de pacientes y de personal de salud en condiciones especiales.

### 1.2.10 Área Blanca.

A la zona restringida correspondiente a la sala de operaciones y al pasillo de acceso al personal de salud a ésta, en ella se encuentra el lavabo para cirujanos.

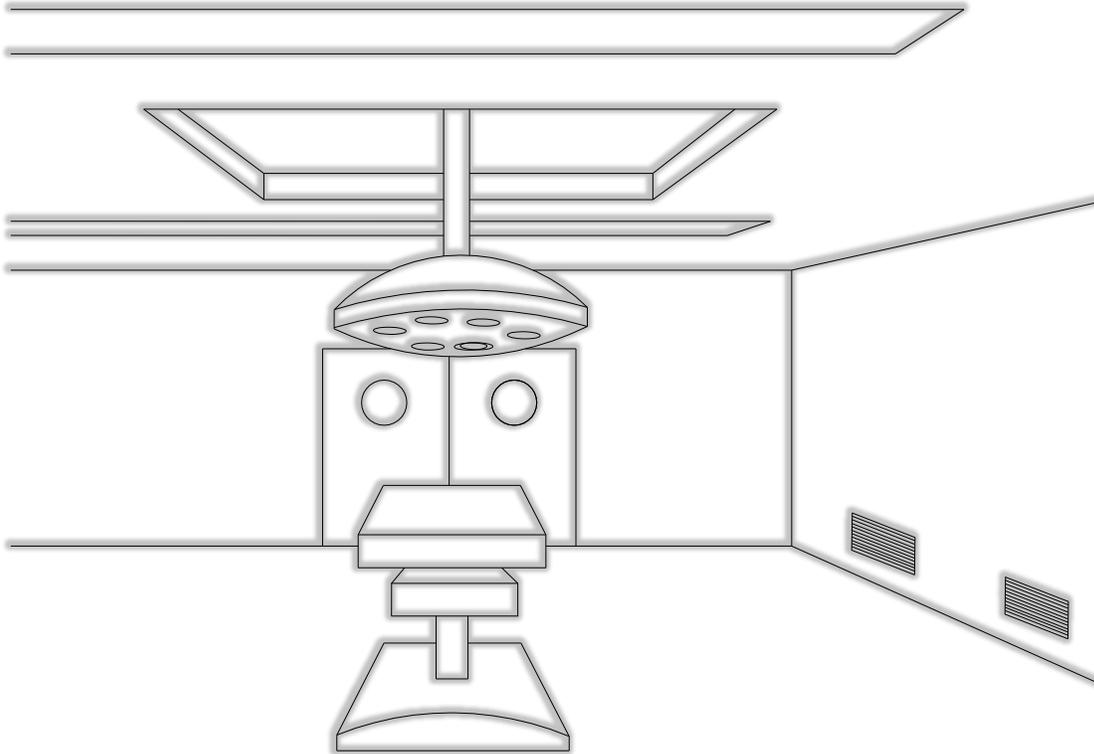


Figura 6. Área Blanca

### 1.2.11 Área Gris.

A la zona semirrestringida a la que ingresa el paciente a través de un área de transferencia a la camilla que lo transporta a la sala de operaciones, así como la zona de recuperación, que incluye las áreas de trabajo de anestesia y de enfermería. Se caracteriza por tener áreas de circulación amplias por las cuales se pueden desplazar camillas, equipos médico-quirúrgicos y personal. Además de contar con las trampas para camillas y trampas de materiales y equipos.



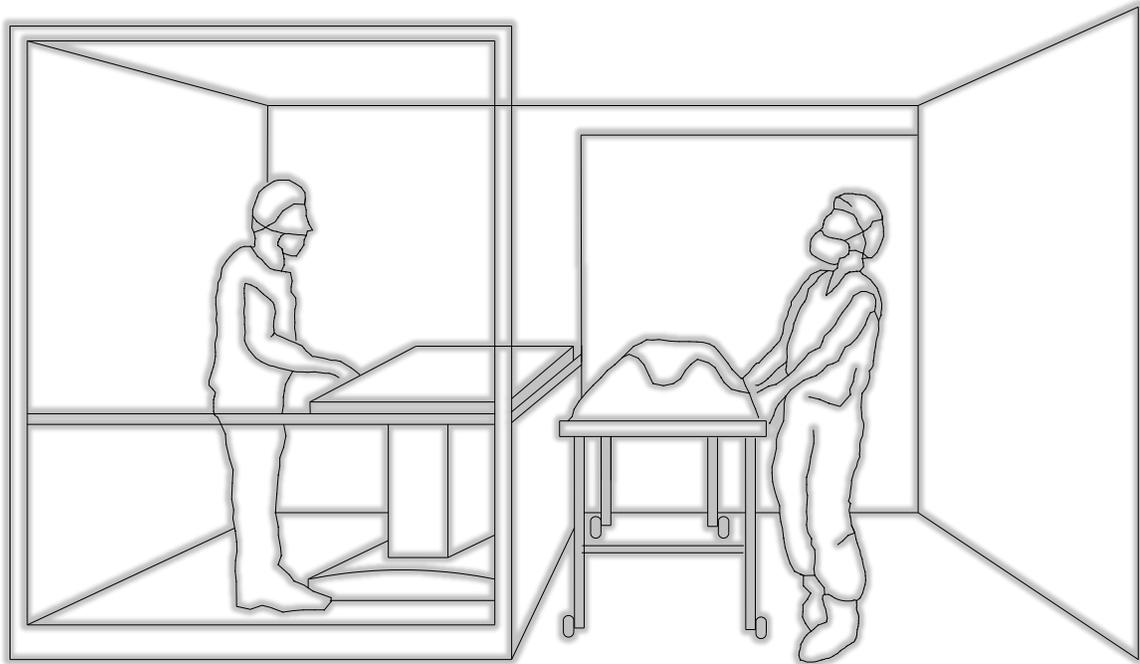


Figura 7. Área Gris

### 1.2.12 Área Negra.

A la zona no restringida, externa a la unidad quirúrgica. Esta área funciona como frontera entre todas las instalaciones del hospital y el área de quirófanos, se trata de una zona de protección y acceso en la que se supervisan las condiciones en que ingresan los pacientes.

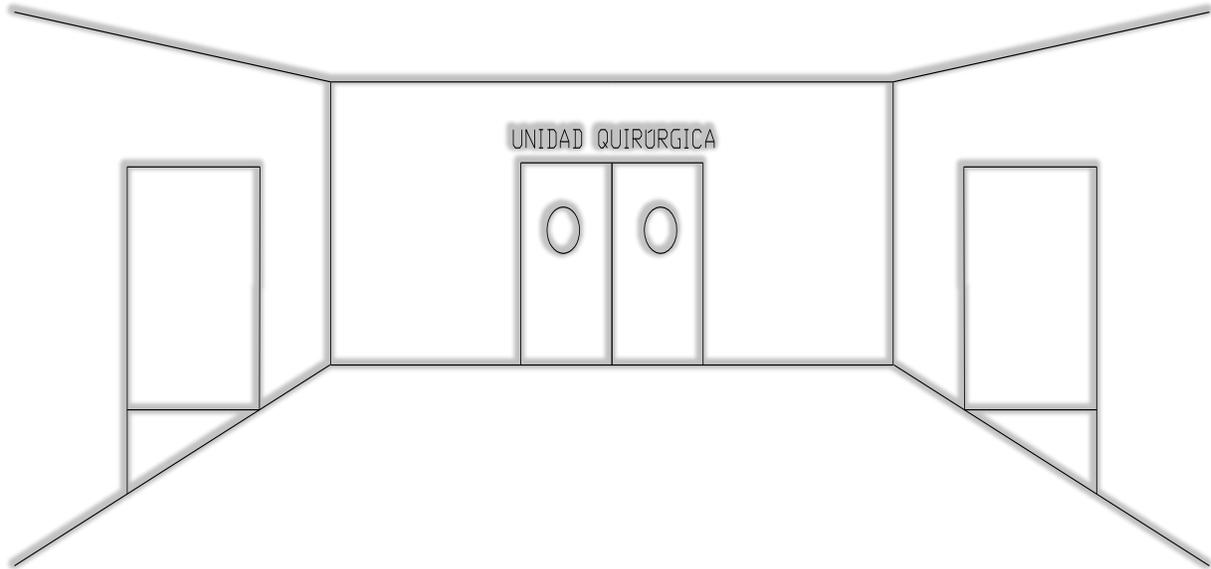


Figura 8. Área Negra

### 1.2.13 Vecindad de un Paciente.

Es el espacio dentro del cual el paciente puede estar en contacto con las superficies expuestas o algún asistente que pueda tocarlo. Típicamente la vecindad de un paciente comprende un espacio de al menos 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.



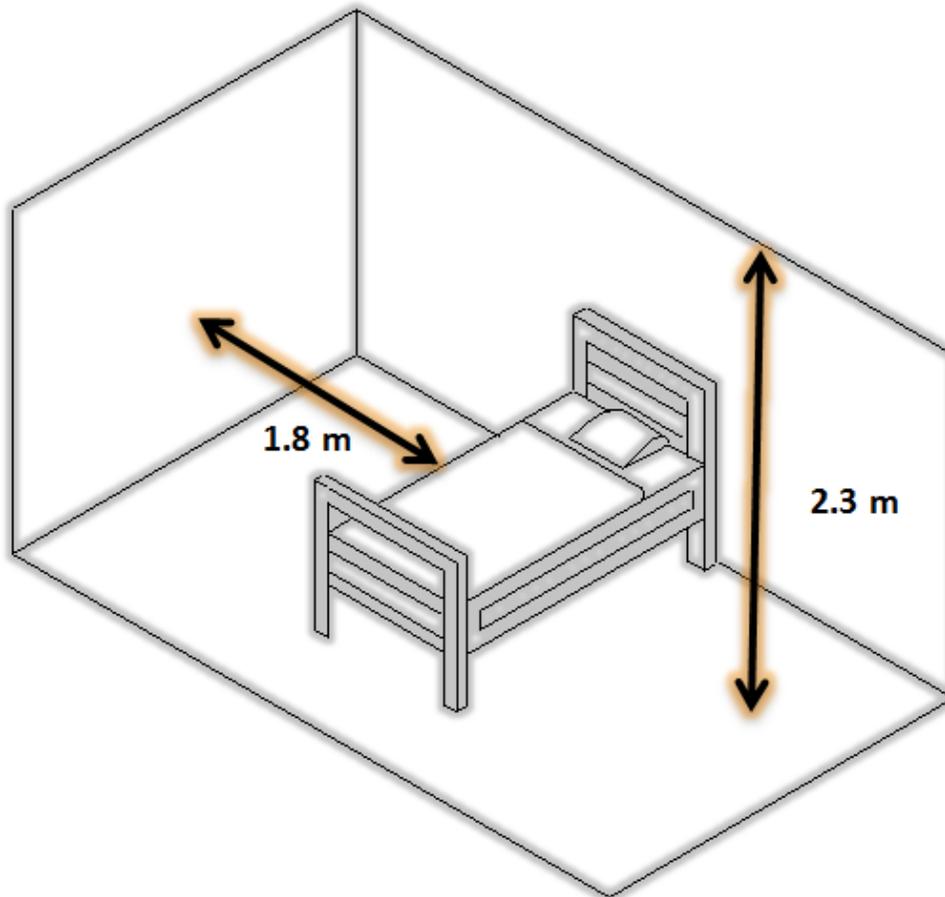


Figura 9. Vecindad de un Paciente



## 1.3 Clasificación de las Salas de Operaciones.

En México no hay una clasificación específica de las salas de operaciones, puesto que no existe un diseño universal para éstas, por lo tanto no las encontraremos en una tipificación como tal en las Normas Oficiales Mexicanas, ya que cada una de las salas está proyectada para satisfacer las necesidades particulares de asistencia, es decir se diseñan de acuerdo con el tipo de intervención quirúrgica que se realizará.

La Secretaría de Salud establece que, si se requiere de una máquina de anestesia o se involucra algún tipo de anestesia en el proceso, entonces el local se considera como sala de operaciones; una vez que se considera como sala de operaciones, estas son clasificadas de acuerdo con la complejidad del proceso quirúrgico basándose en las Normas Oficiales Mexicanas.

La clasificación de acuerdo con el tipo de intervenciones la podremos describir en tres bloques:

- En un primer bloque se encuentran las salas de operaciones de cirugía general, cirugía de alta especialidad y cirugía ambulatoria.
- En un segundo bloque se encuentran las salas de expulsión o también conocida como área de Tocología y las salas de operaciones de Tococirugía.
- En un tercer bloque se encuentran todas aquellas salas llamadas salas de operaciones de corta estancia.

En el siguiente esquema se muestra la clasificación de las salas de operaciones en los tres bloques antes descritos y de acuerdo con el tipo de intervenciones quirúrgicas realizadas en cada una de ellas.





### 1.3.1 Salas de Operaciones de Corta Estancia.

Con base a la Norma Oficial Mexicana **NOM-040-SSA2-2004**, En materia de información en **salud** en el apartado 3.12 define Cirugía de corta estancia como:

*La intervención quirúrgica programada que se realiza en el servicio de corta estancia de un hospital o unidad de atención médica, en la cual el paciente no requiere el uso de una cama censable y su permanencia es menor a 24 horas. No genera egresos hospitalarios y excluye las atenciones de urgencias y las operaciones o procedimientos practicados en consultorio u otra área de atención hospitalaria (generalmente bajo anestesia local) que no requieren de vigilancia hospitalaria durante la recuperación.*





### 1.3.2 Salas de Expulsión.

#### 1.3.2.1 Unidad de Obstetricia o Tocoloqía.

Con base en la Norma Oficial Mexicana **NOM-016-SS3-2012**, Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada. En el apartado 4.25 define como unidad obstetricia o de tocología a:

***Al conjunto de áreas interrelacionadas, en donde se lleva a cabo la valoración, preparación, vigilancia y atención, tanto de la mujer embarazada, como del recién nacido.***

Podemos observar que el término manejado por la NOM es unidad de tocología, La misma NOM maneja como **Unidad al conjunto de áreas, espacios y locales en armonía en el que se realizan acciones, actividades y funciones de atención médico-quirúrgicas y administrativas de un establecimiento médico.** Hace referencia al término “médico quirúrgicas” puesto que en el Apéndice normativo “I” Tocología de la misma Norma se enlista en el equipo requerido una mesa carro anesthesiólogo, y como ya se había mencionado en párrafos anteriores, la Secretaria de Salud clasifica al lugar en donde se lleva a cabo el proceso médico como una sala de operaciones si en la intervención quirúrgica se requiere de alguna máquina de anestesia o algún tipo de anestésico. En una labor de parto, a la paciente se le inyecta una pequeña cantidad de un anestésico llamada anestesia raquídea la cual es un medicamento que insensibiliza partes del cuerpo para bloquear el dolor y se aplican por medio de inyecciones en la columna vertebral o a su alrededor.

#### 1.3.2.2 Unidad Tocoquirúrgica.

Con base en la Norma Oficial Mexicana **NOM-016-SS3-2012**, en el apartado 4.27 define como Unidad Tocoquirúrgica:

***Al conjunto de áreas, espacios y locales en los que se efectúan acciones operatorias de tipo obstétrico.***





### 1.3.3 Salas de Cirugía.

#### 1.3.3.1 Cirugía Mayor Ambulatoria.

Con base en la Norma Oficial Mexicana **NOM-205-SSA1-2002, Para la práctica de la cirugía mayor ambulatoria**, en el apartado 4.3 define como Cirugía mayor ambulatoria a:

*Los procedimientos de cirugía mayor que deben realizarse en salas de cirugía y que por no haber producido invalidez, afectación o modificación de los parámetros de las funciones vitales del paciente en la valoración postoperatoria inmediata; requiere únicamente de hospitalización en cama no censable y ser dados de alta en un lapso no mayor a 24 horas, a partir del ingreso a la unidad quirúrgica.*

#### 1.3.3.2 Cirugía General.

Son los procedimientos quirúrgicos que se establecen después de un diagnóstico patológico, así como de urgencia de origen benigno, inflamatorio, traumático entre otras, en los siguientes aparatos, sistemas y áreas anatómicas: aparato digestivo, pared abdominal, sistema endócrino, mama, piel, partes blandas y afecciones externas de la cabeza y cuello. Para estas áreas de cirugía no se precisa un especialista y un médico general puede llevarlas a cabo. En la mayoría de las intervenciones en cirugía general requiere instrumental similar.

#### 1.3.3.3 Cirugía de Especialidad.

Se trata de las instalaciones en donde se efectúan operaciones en pacientes que por la complejidad en la intervención quirúrgica se requiere de un tamaño más grande que el de cirugía general, además de un número mayor de personal médico y de equipo médico especializado, ejemplo de ello son las salas de traumatología en estas salas se requiere el uso de extensores y equipos especiales, es importante considerar que para el uso de traumatología se requiere de equipos que producen niveles altos de acústica, por lo que se considera en el diseño un tipo de material especial para las paredes.

Entre otras cirugías de especialidad se pueden mencionar las oftalmológicas, cardiovasculares, neurológicas.





## 1.4 Infraestructura y Equipamiento de la Sala de Operaciones.

Con respecto a la infraestructura una vez más nos basamos en la NOM-016-SS3-2012, la cual define el término de infraestructura física como:

*“Al conjunto de edificaciones, áreas, locales y materiales, interrelacionados con los servicios indispensables para la prestación de servicios de atención médica.”*

En una sala donde se realizan intervenciones quirúrgicas es de suma importancia cumplir con los requerimientos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas para que se puedan llegar a efectuar con las necesidades y requerimientos de los especialistas de la atención médica, a continuación exponemos los requerimientos mínimos en cuanto al diseño arquitectónico de una sala de operaciones.

### 1.4.1 El Diseño Arquitectónico.

El diseño de una sala de operaciones es un reto para todo aquel especialista encargado de la planificación y construcción de un hospital ya que se requiere perfeccionar su eficiencia creando modelos realistas de trabajo y tránsito de pacientes, personal y suministros. El diseño debe ser flexible y permitir una futura expansión. El especialista debe consultar a los cirujanos y al personal administrativo de enfermería para que este pueda distribuir el espacio disponible.

En cuanto a las salas de operaciones cabe mencionar que ninguna sala puede ser construida de la misma manera ya que cada una se diseña en forma individual para cubrir las necesidades específicas previstas. El número y tamaño de cada sala va a depender de lo siguiente:

- El número y la duración de los procedimientos quirúrgicos previstos.
- El tipo y la distribución del equipo y del personal quirúrgico de cada especialidad.
- La proporción de pacientes ingresados, de operaciones quirúrgicas programadas
- El tipo de cirugía que se llevará a cabo, ya sea de primer, segundo o tercer nivel.





- La política de programación relacionada con el número de horas al día y de días a la semana que estará en funcionamiento el departamento, y de las necesidades de personal.

### 1.4.2 Ubicación.

El área de las salas de operaciones suele situarse en una zona accesible a las áreas de cuidados intensivos quirúrgicos y de los servicios de los departamentos de servicio complementarios y servicios centrales. El tamaño del hospital es un factor determinante ya que es imposible ubicar cada departamento o unidad inmediatamente adyacente a las salas de operaciones. Es necesaria una ubicación apartada con el fin de evitar el paso de cualquier tránsito no relacionado con el departamento.

Dos diseños son muy comunes se muestran en las siguientes figuras, en la figura 10 las salas de operaciones están separadas del área de trabajo por un corredor. Estas salas se disponen alrededor de una pista. Las áreas de transición se ubican en un extremo para poder controlar el tráfico hacia el departamento quirúrgico en un solo lugar. En la figura 11, el núcleo central contiene los equipos y los materiales limpios y estériles. Las áreas de trabajo, donde los instrumentos y el equipo contaminado se procesan, se ubican en otra área fuera del núcleo central. El objetivo del diseño es separar claramente los equipos sucios de los limpios.





Figura 10. Diseño de Una Sala de Operaciones en donde el área de trabajo se Encuentra Separadas por un corredor.



Figura 11. Diseño de Una Sala de Operaciones en donde el núcleo central contiene los equipos y los materiales limpios y estériles.

### 1.4.3 Tamaño.

El tamaño de la sala varía. Por motivos de economía y flexibilidad, es deseable que cada una tenga el mismo tamaño, de manera que puedan utilizarse de forma indistinta para acomodar las intervenciones quirúrgicas programadas y de emergencia. El tamaño adecuado para un quirófano multiuso es de al menos de 6m x 6m x 3m (aproximadamente 37 m<sup>2</sup> de superficie); el tamaño máximo superado el cual se pierde eficacia es 6m x 10m x 3m (60 m<sup>2</sup>).

Es posible diseñar una sala de operación para una sola especialidad si se piensa que su uso para este servicio será muy elevado. La sala debe acomodar un cierto equipamiento, como láseres, microscopios o equipo de video que puedan ser fijos (instalados permanentemente) o portátiles (móviles). El equipo portátil puede requerir más superficie de suelo, un mínimo de aproximadamente 45 m<sup>2</sup>. Algunas salas especializadas, como las equipadas para circulación extracorpórea o traumatología pueden requerir hasta 60 m<sup>2</sup> de espacio libre.





#### 1.4.4 Equipamiento de una Sala de Operaciones.

Muchas piezas de equipo y del mobiliario son estándares en la mayoría de las salas de operaciones. Siempre hay un equipo de anestesia en cada sala de intervenciones quirúrgicas. También hay equipos accesorios, como monitores fisiológicos, un carro con suministros de anestesia, envases para administración de líquidos intravenosos, bancos y taburetes. Otros implementos comunes son los dispositivos de aspiración y las unidades de electrocirugía.

Todos los muebles deben ser de acero inoxidable porque no es poroso y es fácil de descontaminar. Todo mueble que integre parte del campo quirúrgico debe cubrirse con campos estériles antes de la cirugía.

La **NOM-016-SS3-2012** Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada, enlista una serie de mobiliario con la que debe contar cada sala de operaciones. A continuación se muestra el equipo de una sala en general, cabe aclarar que en una sala de alta especialidad se requieren equipos más sofisticados:





<b>Sala de Operaciones</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
*Asiento giratorio	*Aspirador de succión regulable
*Asiento giratorio con respaldo	*Equipo básico para anestesia
*Banqueta de altura	*Estetoscopio
*Bote para RPBI (bolsa roja)	*Esfigmomanómetro
*Bote para basura tipo municipal (bolsa de cualquier color excepto rojo o amarillo)	*Lámpara de emergencia portátil
Bote para RPBI (bolsa amarilla)	*Lámpara sin sombras para cirugía
*Brazo giratorio	*Monitor de signos vitales: ECG, presión arterial no invasivo, temperatura, oxímetro (1)(2)
*Mesa carro anesthesiólogo	*Negatoscopio
*Mesa Mayo	*Reloj para quirófano con segundero
*Mesa quirúrgica	*Portavenoclisis rodable
*Mesa riñón	*Unidad electroquirúrgica
*Mesa transportadora de material	
*Portacubeta rodable	
*Portalebrillo doble	
*Recipiente rígido para punzocortantes	
*Riel portavenoclisis	





<b>Recuperación Post-Anestésica</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Bote para RPBI (bolsa roja)</li> <li>*Bote para basura tipo municipal (bolsa de cualquier color excepto rojo o amarillo)</li> <li>*Cama camilla para recuperación</li> <li>*Carro portaexpedientes</li> <li>*Recipiente rígido para punzocortantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Aspirador de succión regulable</li> <li>*Esfigmomanómetro</li> <li>*Estetoscopio</li> <li>*Monitor de signos vitales: ECG, presión arterial no invasivo, temperatura, oxímetro (1)(2)</li> <li>*Portavenoclisis rodable</li> </ul>

<b>Trabajo de Enfermeras Recuperación Post-Anestésica</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Asiento giratorio</li> <li>*Bote para basura tipo municipal (bolsa de cualquier color excepto rojo o amarillo)</li> <li>*Bote para RPBI (bolsa roja)</li> <li>*Gabinete universal</li> <li>*Mesa alta con tarja</li> <li>*Mesa Mayo</li> <li>*Mostrador escritorio</li> <li>*Mueble para guarda</li> <li>*Recipiente rígido para punzocortantes</li> <li>*Toallero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Aspirador de succión regulable</li> <li>*Desfibrilador con monitor integrado al carro rojo</li> <li>*Lámpara de haz dirigible</li> <li>*Portavenoclisis rodable</li> </ul>





<b>Transfer de Camillas</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
*Carro camilla	

<b>Lavabo de Cirujanos</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
*Bote para basura tipo municipal (bolsa de cualquier color excepto rojo o amarillo) *Capillero para uso quirúrgico *Jabonera de pedal *Lavabo para cirujanos *Surtidor automático de antiséptico	

<b>Prelavado de Instrumental</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
Bote para RPBI (bolsa roja) Mesa alta con doble fregadero central	





<b>CEYE</b>	
<b>Mobiliario:</b>	<b>Equipo:</b>
Anaqueles para paquetes esterilizados	Esterilizador
Anaqueles para paquetes pre-esterilización	
Guarda de insumos	
Mesa alta con tarja	
Mesa para preparación de paquetes	





*Equipos e Instrumental Diversos, Apropriados para las Cirugías Especificadas en el Programa Médico*

- \*Equipo de adeno-amigdalectomía
- \*Equipo de amputación
- \*Equipo de aseo general básico
- \*Equipo de aseo vulvar
- \*Equipo de asepsia
- \*Equipo de bloqueo peridural
- \*Equipo de cesárea
- \*Equipo de circuncisión
- \*Equipo de cirugía gastrointestinal
- \*Equipo de cirugía general básica
- \*Equipo de cirugía ginecología abdominal
- \*Equipo de cirugía ginecológica vaginal
- \*Equipo de cirugía menor y debridación
- \*Equipo de cirugía ocular menor
- \*Equipo de cirugía pediátrica
- \*Equipo de colecistectomía
- \*Equipo de ginecología y planificación familiar
- \*Equipo de curación para cirugía
- \*Equipo de curación para hospitalización
- \*Equipo de epidídimo y vasectomía
- \*Equipo de hemorroidectomía
- \*Equipo de instrumental básico odontológico
- \*Equipo de instrumental obstétrico
- \*Equipo de intubación endo-traqueal
- \*Equipo de legrado uterino
- \*Equipo de parto
- \*Equipo de safenectomía
- \*Equipo de salpingoclasia
- \*Equipo de traqueostomía
- \*Equipo de vasectomía sin bisturí
- \*Equipo de venodisección

Tabla 1. Equipo Médico de Utilización.



# CAPÍTULO 2

## **Peligros Potenciales en una Sala de Operaciones.**



La seguridad absoluta no deja de ser una utopía, y más aún en los lugares dedicados a brindar atención médica a las personas; en específico una sala de operaciones, la cual se encuentra rodeada de un sinnúmero de instrumental médico altamente complejo representa un peligro potencial para cualquier persona que se encuentre dentro de esta.

Una gran parte de los medios técnicos y clínicos utilizados en el proceso quirúrgico, en especial los vinculados con la anestesia, pueden llegar a desencadenar una serie de peligros si no se hace un uso correcto de los equipos y/o si estos no se encuentran bien instalados o no se les da el mantenimiento adecuado; los incendios, explosiones y descargas eléctricas son algunos ejemplos de accidentes que pueden surgir en una sala de operaciones y que pueden llegar a ser en ocasiones mortales. Estos potenciales de riesgo se presentan cuando están involucrados líquidos y vapores inflamables, sobre todo en el uso de viejos anestésicos inhalatorios, entre los cuales el oxígeno es el vehículo que amplía los límites de ignición; pero también para los gases fisiológicos endógenos y para toda una serie de detergentes cutáneos, desengrasantes y desinfectantes.

Con el uso de aparatos eléctricos cada vez más abundantes, complejos y sofisticados para la atención del paciente en la cirugía, si bien se ha ganado mucho con estos progresos, también se ha implicado un nuevo riesgo, el de la mayor exposición a los peligros de la energía eléctrica, esto trae consigo mayores posibilidades de fallas eléctricas. Lo mismo ocurre con los materiales sintéticos y las cargas estáticas, que pueden provocar la aparición de “chispas” y desencadenar cortos circuitos e incluso incendios.

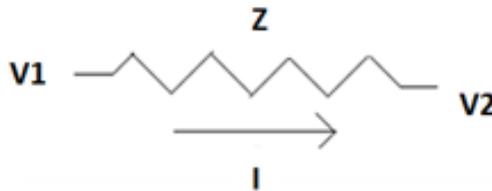
Para describir los riesgos eléctricos, se estudiarán primeramente los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica, se explicarán detalladamente cada uno de estos cuando la corriente llega a circular en el cuerpo, puesto que en el ambiente hospitalario muchas fuentes de energía eléctrica están dirigidas al paciente y al personal médico que labora en él. Las complicaciones derivadas de estas fuentes eléctricas son la aparición de alteraciones en la función de las membranas celulares, lo que puede originar arritmias, quemaduras e incluso paro cardíaco.





## 2.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.

Para que la energía eléctrica produzca efecto alguno en el organismo, el cuerpo humano, debe formar parte de un circuito eléctrico cerrado, es decir, si consideramos al cuerpo humano como un conductor de corriente eléctrica, éste estará regido por la “Ley de Ohm”, la cual dice que al conectar los dos extremos de un material, cuya resistencia es finita, a tensiones diferentes, fluirá una corriente eléctrica a través de dicho material. En el caso de las personas el material de resistencia finita es el propio cuerpo humano, entonces tenemos que:



$$V = IZ$$

Donde:

V= Tensión o diferencia de potencial entre dos conexiones [V].

I= Corriente que circula a través del circuito [A].

Z= Impedancia de la trayectoria total y no solo del cuerpo humano [ $\Omega$ ].

La tensión es generalmente la única cantidad conocida con certeza, y en los circuitos eléctricos la impedancia de los conductores es generalmente despreciable en comparación con la impedancia del cuerpo humano, y la magnitud de la corriente depende de la diferencia de potencial entre las conexiones y de la resistencia eléctrica del cuerpo.





### 2.1.1 Aportaciones de Charles F. Dalziel.

Para comenzar a hablar acerca de los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano es necesario mencionar a un ingeniero experto sobre los peligros del electrochoque, Charles F. Dalziel, quien fue miembro de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos), del AIEE (Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos), delegado, en 1961, de la Reunión de Expertos sobre los Accidentes Eléctricos Sus principales aportaciones fueron en materia de seguridad eléctrica para los pacientes y personal médico, corrientes de fuga de aparatos eléctricos. Cabe aclarar que Dalziel no es el único ingeniero que ha realizado investigaciones en esta materia, sin embargo, solo hacemos referencia a él porque sus experimentos han sido los más acertados hasta la fecha.

Su contribución más importante fue la serie de experimentos que le realizó a una población de aproximadamente 170 personas, integrada por hombres y mujeres, cuya finalidad era determinar los efectos de choque eléctrico en los seres humanos. Para un primer experimento utilizó una cantidad de 167 hombres a los cuales se les colocó un pequeño alambre de cobre del número 8 AWG y les pidió que con la otra tomaran una placa de latón haciendo circular corriente por el circuito, con ello se descubrió que el valor promedio en que percibían la corriente era de aproximadamente 1,1 [mA] en hombres, mientras que el promedio de las mujeres fue de alrededor de 0,7 [mA]. Un segundo experimento realizado consistió en aumentar la corriente, y lo que notó fue que las personas comenzaban a presentar sensaciones de hormigueo y de calor, también observó que si la corriente se incrementaba lo suficiente, llegaba un momento en que el sujeto no podía soltar el conductor por lo que la llamo corriente "let go" o de retiro.

Un último experimento consistió en determinar las corrientes que puedan producir la fibrilación Cardíaca, pero como estos experimentos no se pueden realizar en humanos, se utilizaron animales y los valores obtenidos se extrapolaron al hombre. Aunque este método introduce incertidumbres, es el mejor que se ha propuesto hasta ahora.

Recalamos que el Ingeniero Dalziel no es el único que realizó investigaciones acerca de los efectos de la corriente en el cuerpo, sin embargo sus aportaciones han servido como referencia para organizaciones como la IEEE y la NFPA, es por ello que se le da una importancia mayor para efectos de esta tesis.





### 2.1.2 Efectos y Niveles de la Corriente en un Choque Eléctrico.

La corriente eléctrica a través de su paso por el cuerpo puede presentar diversos efectos, en primer lugar se produce una excitación eléctrica de los tejidos (nervios y músculos), comenzando con una sensación de “hormigueo” que si alcanza una intensidad suficientemente elevada puede ser dolorosa y molesta. La estimulación de estos nervios o músculos motores puede provocar contracciones y si ésta aumenta puede producirse la tetanización del músculo. En segundo lugar puede aparecer un incremento de la temperatura del tejido debido a la resistencia que presenta y la energía disipada por el mismo. Por último, el aumento de temperatura, si es elevado, puede provocar lesiones (quemaduras) en el tejido. El órgano más susceptible a la corriente eléctrica es el corazón. 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 y por lo tanto puede llegar a provocar la muerte, también puede llegar a presentarse la fibrilación ventricular la cual es una desincronización del corazón (más adelante se detallarán estos dos temas en el apartado de Circuitos Eléctricos que Involucren al Corazón).

Gracias a las aportaciones de Charles F. Dalziel se logró estandarizar los valores de la corriente eléctrica cuando se presenta un choque eléctrico, para ello se tomó el peso de un individuo promedio con un peso de 70 kg, a una frecuencia de 60 Hz, un tiempo de exposición de la corriente de 1 a 3 segundos, y en contacto con un alambre de cobre en condiciones de humedad. A continuación, se comentan los efectos fisiológicos que se producen en el cuerpo humano en función de la magnitud de la corriente eléctrica que circula a través de él.

- **Umbral o nivel de percepción**

Se define nivel de percepción como la intensidad mínima de corriente que el ser humano es capaz de detectar, este valor varía en función del sujeto y oscila entre los 2 y 10 [mA].

- **Corriente de “let-go” o de retiro.**

Para niveles superiores de corriente, los nervios y músculos pueden excitarse y provocar contracciones que pueden llegar a ser molestas y dolorosas llegando a ocasionar una pérdida sobre el control de los músculos evitando soltarse. Los valores de la corriente de retiro se presentan a partir de los 9 [mA].





- **Parálisis respiratoria, dolor y fatiga.**

Para valores más elevados de corriente, entre 18 y 22 [mA] aparecen contracciones involuntarias de los músculos respiratorios, provocando situaciones de asfixia si la corriente no se interrumpe. Las contracciones involuntarias de los músculos y estimulación de los nervios pueden provocar dolores y causar fatiga si permanecen expuestos a la corriente eléctrica durante largo tiempo.

- **Fibrilación ventricular.**

Corrientes mayores pueden dar origen a pérdidas de sincronismo de las diferentes fibras que constituyen el músculo cardíaco. Una vez que se desincroniza la actividad ventricular, el corazón deja de funcionar como bomba, ocasionando un paro en la circulación sanguínea y la muerte súbita si no se consigue la reversión inmediata. El nivel de corriente que puede producir fibrilación varía entre 75 y 400 [mA].

- **Contracción del miocardio sostenida (Tetanización).**

Cuando la corriente es suficientemente elevada, el músculo entero del corazón se contrae. Aunque el corazón deja de latir mientras la corriente se aplica, cuando esta cesa, vuelve el ritmo normal. El margen de corriente que producen una contracción sostenida del miocardio oscila entre 1 y 6 [A].

- **Daños físicos y quemaduras.**

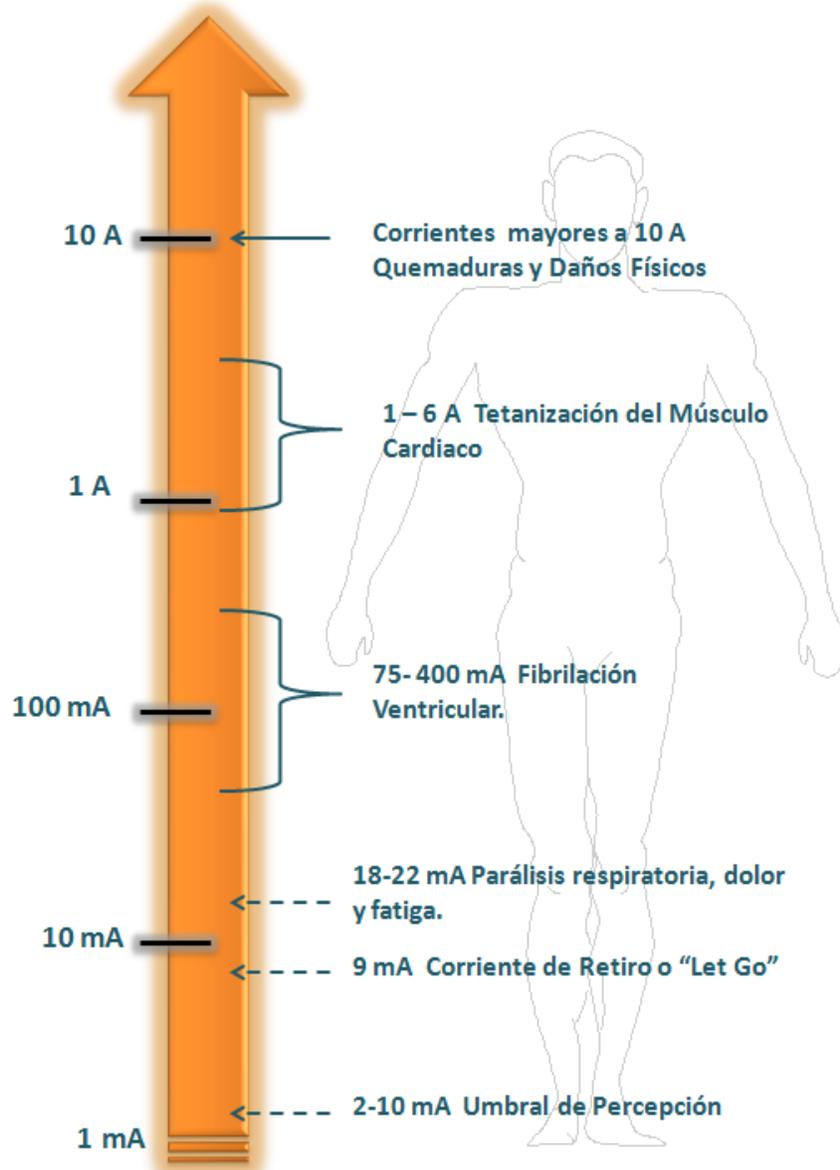
Muy poco se conoce sobre los efectos de la corriente cuando ésta excede de 10 [A], sobretodo en corriente de corta duración. La resistencia que ofrece el cuerpo humano causa quemaduras, principalmente sobre la piel y en los puntos de entrada de la corriente, puesto que la resistencia de la piel es muy elevada y es donde se disipa mayor potencia.

Enseguida se resumen en forma gráfica los efectos fisiológicos que se producen en el cuerpo humano, así como los niveles de la corriente cuando ésta atraviesa el cuerpo humano.





Capítulo II: Peligros Potenciales en una Sala de Operaciones



Gráfica 1. Niveles de la corriente eléctrica y efectos fisiológicos que produce la corriente en un cuerpo humano de 70 kg, a 60 Hz y un tiempo de exposición de 1 a 3 segundos.



### 2.1.3 *Parámetros que Intervienen en los Efectos Fisiológicos de un Choque Eléctrico.*

Los efectos de la corriente eléctrica que produce sobre el cuerpo humano van a depender fundamentalmente de los siguientes parámetros:

- Impedancia del cuerpo entre los puntos de contacto.
- Tiempo de contacto o de paso de la corriente.
- Frecuencia [Hz] de la corriente.
- Trayectoria o recorrido de la corriente a través del cuerpo.

### 2.1.4 *Impedancia del Cuerpo Humano.*

La impedancia del cuerpo humano está muy influenciada por las condiciones de humedad de la piel. Los tejidos que forman la estructura de la piel pueden compararse con un dieléctrico, en donde la resistencia se encuentra principalmente en la capa superficial llamada epidermis, la cual varía ampliamente en diferentes partes del cuerpo y notablemente entre individuos dependiendo su sexo, peso y edad, en la figura 12 se puede observar la estructura de la piel. La piel seca puede tener una resistencia de 100,000 a 300,000 ohm por centímetro cuadrado, pero cuando está mojada, la resistencia puede ser sólo del uno por ciento de este valor.

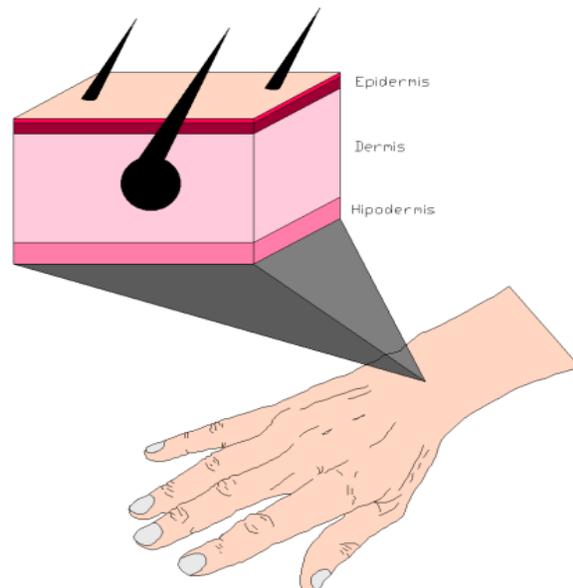


Figura 12. Estructura de la Piel Humana.

El contacto con líquidos y lugares húmedos reduce en gran medida la resistencia de la capa córnea, un ejemplo de ello es la sudoración y la transpiración que se presenta cuando se trabaja a temperaturas más elevadas, pero no sólo las condiciones fisiológicas influyen en



la resistencia de la piel, sino también las psicológicas, por ejemplo, el estado de ánimo en que se encuentre la persona como es el caso de ansiedad y las sensaciones de miedo, son causantes de que en algunos individuos se presenten la transpiración y sudor, y por lo tanto existe una disminución significativa en la resistencia de la piel.

Para el diseño de subestaciones eléctricas se representa al cuerpo con una impedancia de 1,000  $[\Omega]$  entre mano y mano, en condiciones normales de sudoración de una persona, mientras que en el interior del organismo se considera un valor de sólo 500  $[\Omega]$ , puesto que la mayor parte de los tejidos y órganos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de líquidos, lo que provoca que la resistencia eléctrica que presentan sea baja y puedan considerarse como un buen conductor.

Cabe señalar que el valor de 1,000  $[\Omega]$  que se menciona en el párrafo anterior, representa el 100% de la resistencia del cuerpo midiéndola entre mano y mano, pero como el cuerpo humano es un conductor volumétrico no homogéneo, la distribución del flujo de la corriente es diferente en cada punto del cuerpo, lo cual provoca que el porcentaje de la impedancia sea menor, así una trayectoria de la corriente de una mano a la cabeza, tendrá sólo un 50% de la impedancia que corresponde a una trayectoria mano a mano, ahora si hablamos de la trayectoria de dos manos a la cabeza tenemos que será sólo el 30 % de la impedancia que corresponde a una trayectoria de mano a mano. En la figura 13 se muestran los porcentajes del valor de la impedancia entre una mano y diferentes partes del cuerpo (Fig.13a) y entre dos manos y distintas partes del cuerpo (Fig. 13b) respecto a la impedancia correspondiente a la trayectoria mano-mano.



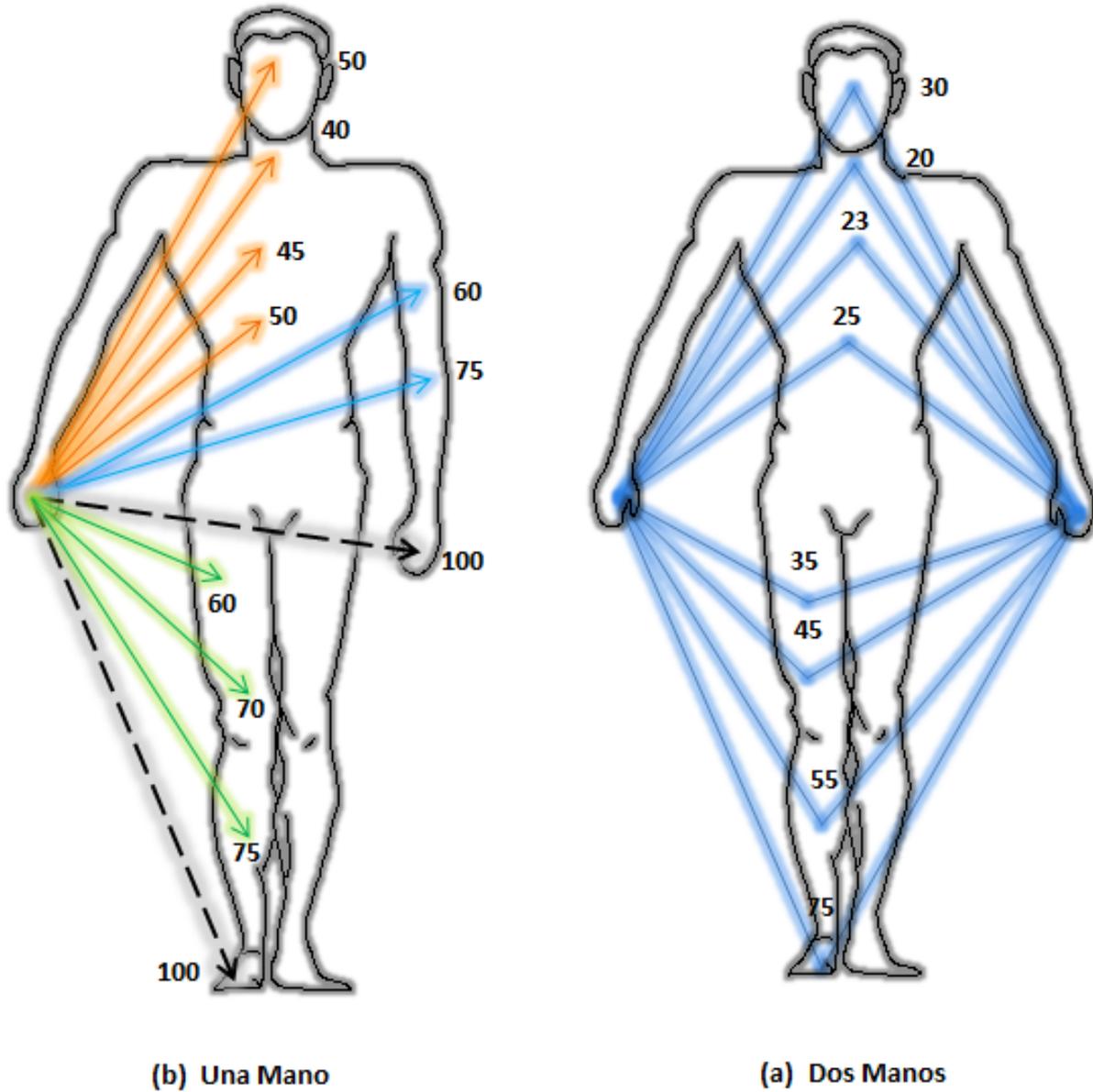


Figura 13. Valores porcentuales relativos de la impedancia del cuerpo humano para diferentes trayectorias. La trayectoria de referencia corresponde al recorrido mano-mano.



### 2.1.5 *Tiempo.*

El tiempo es el mayor condicionante del grado de lesiones producidas por la corriente eléctrica, ya que a mayor tiempo de contacto, mayor es la energía liberada y mayor es el daño tisular. El doctor Dalziel dedujo una ecuación que lo llevó a encontrar aquellos valores en que la corriente eléctrica puede llegar a ser peligrosa, la expresión es la siguiente:

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

$$I = \sqrt{S_B}$$

Donde:

k es una constante que depende del peso.

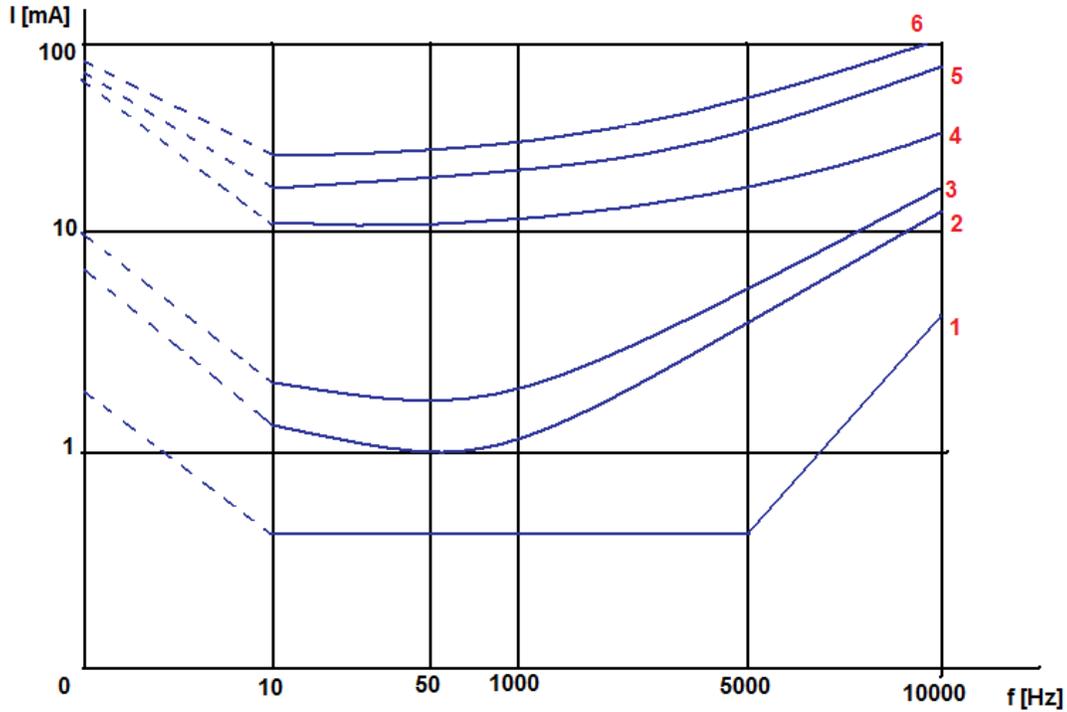
t es el tiempo de exposición del paso de la corriente de choque expresado en segundos.

$S_B$  es la energía que puede soportar el 99.5 % de las personas, para un peso de 50 kg es de 0.0135 [Ws] y para un peso de 70 kg es de 0.0246 [Ws].

### 2.1.6 *Frecuencia.*

El cuerpo humano es muy sensible a la frecuencia de la onda de la corriente eléctrica. Cuanta más alta sea la frecuencia, menor es la respuesta, es decir, el límite superior para la estimulación del sistema nervioso del ser humano es de 100 [kHz]. Las ondas de energía por encima de los 100 [kHz] no interfieren con la actividad bioeléctrica necesaria para mantener la vida, sin embargo, esto no quiere decir que la corriente eléctrica que atraviese no tenga efecto alguno, ya que la piel del cuerpo puede sufrir quemaduras con corrientes de tal frecuencia, pero el corazón y los demás mecanismos bioeléctricos no son afectados. Un ejemplo del uso de altas frecuencias se encuentra presente en las unidades electroquirúrgicas, las cuales operan con frecuencias que van desde 300 [kHz] a 1 [MHz]. Cada modo empleado en electrocirugía se produce a través de una combinación específica de frecuencia, voltaje, potencia y tiempo de exposición al tejido. Los efectos térmicos provocados por la unidad electroquirúrgica y el electrodo activo (el instrumento que transmite la corriente eléctrica) se usan para cortar y coagular los tejidos.





Gráfica 2. Relación entre el efecto de la corriente y la frecuencia elaborada por el Dr. Dalziel de manera experimental.  
 CURVA 1: límite de los valores de corriente que no dan lugar normalmente a alguna reacción.  
 CURVA 2: umbral de percepción para el 50% de la personas examinadas.  
 CURVA 3: umbral de percepción para el 99.5% de la persona examinadas  
 CURVA 4: corriente limite en donde el 99.5% de las personas pueden soltarse del electrodo  
 CURVA 5: el 50% de las personas pueden soltar el electrodo  
 CURVA 6: el 99.5% no puede soltar el electrodo





### 2.1.7 Recorrido de la Corriente Eléctrica a Través del Cuerpo.

Cuando la corriente se aplica entre dos puntos cualesquiera del cuerpo humano, sólo un pequeño porcentaje de corriente eléctrica total atraviesa al corazón, pero cuando se ve expuesto directamente al corazón mediante equipo médico la situación se torna distinta. De esta forma, pueden darse básicamente dos tipos de situaciones: el Macroshock y el Microshock.

#### Macroshock.

Está relacionado con la circulación de corriente en la superficie corporal y se define como el paso de corriente de una parte del cuerpo a otra, especialmente de un brazo a otro y, por tanto, a través del exterior del corazón.

En el macroshock la intensidad de corriente es grande y se puede llegar a provocar lesiones por quemaduras en los tejidos, y al interponerse la piel, la densidad de corriente que alcanza al corazón es mucho menor que la de la superficie corporal, pero aún así se puede presentar la fibrilación ventricular con niveles de corriente de 100 [mA].

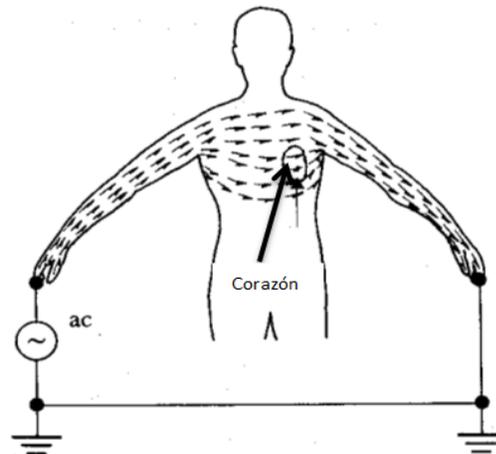


Figura 14. Trayectoria de la Corriente en el Macroshock.





### Microshock.

Se refiere a aquellos casos en los que el corazón del paciente se ve involucrado directamente con equipo médico como es el caso de un catéter cardiaco. Si una corriente eléctrica circula directamente por el miocardio puede ocasionar grandes daños al paciente e incluso la muerte, el límite de seguridad es de 10  $[\mu\text{A}]$ . Una corriente de 20  $[\mu\text{A}]$  puede ser fatal, causando una fibrilación ventricular.

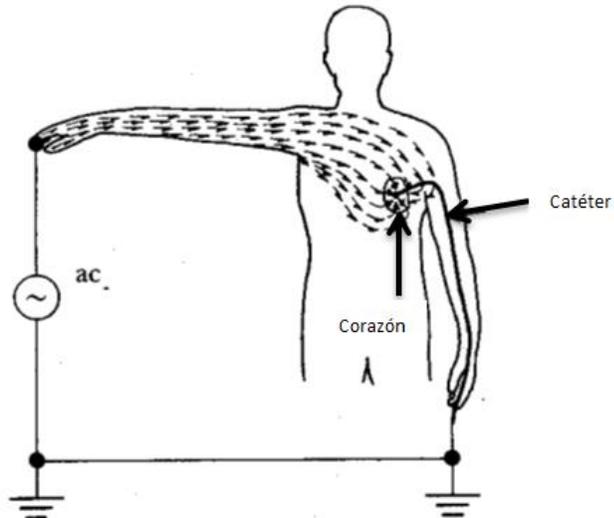


Figura 15. Trayectoria de la Corriente en el Microshok.

## 2.2 Salas que Involucren Gases Anestésicos Inflamables y Gases Anestésicos no Inflamables.

Los sistemas eléctricos en los hospitales y específicamente en las salas de operaciones son tan importantes, que desde el momento de la planeación y diseño deben tomarse muy en cuenta, ya que de ello dependen muchos factores de seguridad para las personas e incluso para evitar que el equipo médico de utilización se dañe.

Como en muchos casos la meta en el diseño del sistema eléctrico de una sala de operaciones es alcanzar el más alto nivel de confiabilidad; esto implica que se debe realizar un análisis detallado de las condiciones bajo las cuales se mantendrá el sitio e identificar las necesidades y los peligros potenciales que se puedan derivar.





Para el caso particular de las salas que involucran gases anestésicos inflamables, se debe tener un especial cuidado, puesto que a diferencia de las salas en las que no se administran este tipo de agentes anestésicos, las precauciones que se deben tener son mucho más estrictas.

Gracias a los grandes avances en la medicina hoy en día, no se encuentran dentro de los hospitales concentraciones explosivas, lo cual representa una gran ventaja para el diseño de la instalación eléctrica, sin embargo es importante conocer acerca de los riesgos que implica cada uno de los casos, para tener un panorama general que permita diseñar de acuerdo con las necesidades y peligros potenciales que se tengan.

### **2.2.1 Salas que Involucran Gases Anestésicos Inflamables.**

Se definen como gases anestésicos inflamables a todos aquellos vapores o gases anestésicos que pueden formar mezclas inflamables o explosivas con el aire, oxígeno, o los gases reductores como el óxido nitroso de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012. Algunos ejemplos de gases anestésicos inflamables son:

- Fluroxeno
- Ciclopropano
- Éter divinyl
- Cloruro de etileno
- Etileno

En un lugar donde se apliquen gases anestésicos por inhalación, el volumen hasta 1.52 m del nivel del piso debe considerarse como un área peligrosa clase 1 división 1 de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012; el volumen restante hasta la estructura del plafón se considera que está arriba de un área peligrosa clasificada, por lo tanto todos los equipos instalados en estas áreas deben ser equipos aprobados específicamente para atmósferas peligrosas.

En las salas que sean utilizados gases anestésicos inflamables, es necesario contar con medios de protección al personal y al paciente que prevengan accidentes como incendios y explosiones originadas a partir de pequeñas chispas en combinación con un gas anestésico inflamable. A lo largo de este apartado se hablará acerca de los peligros que representa el





uso de agentes inflamables dentro de un quirófano, así como los métodos establecidos en la normatividad vigente para que la instalación eléctrica no sea el origen de un accidente.

### 2.2.1.1 *Incendio y Explosión.*

En todas las salas de operaciones es indispensable el uso de interruptores y algunos motores eléctricos, estos dispositivos son capaces de encender las mezclas de gases anestésicos inflamables a causa de chispas o arcos eléctricos; en algunos casos es inevitable que surjan chispas o arcos eléctricos ya que estos son formados por dos electrodos y que a causa del paso de la corriente eléctrica, indispensable para el funcionamiento de diversos equipos médicos, elevan su temperatura rápidamente.

A partir del punto en el que se origina cualquiera de los dos fenómenos mencionados, es probable que se genere un incendio, dependiendo de la cantidad de combustible y comburente, que para este caso los gases anestésicos son el combustible.

No solo los chispazos originados por dispositivos eléctricos representan un peligro de ignición en lugares que involucren gases inflamables, existe otro punto muy importante que no debemos pasar por alto, y este es la acumulación de cargas estáticas; ya que es bien sabido que al poner en contacto dos cuerpos cargados eléctricamente con potenciales distintos se establecerá un flujo de corriente momentáneo suficiente para provocar un incendio o explosión, este fenómeno representa un riesgo en una sala en la que se utilicen compuestos inflamables.

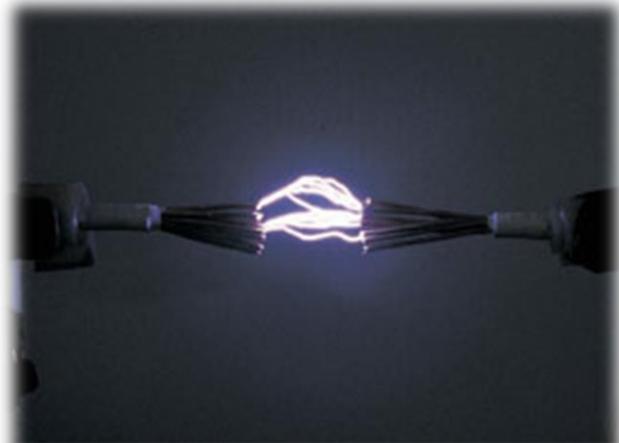


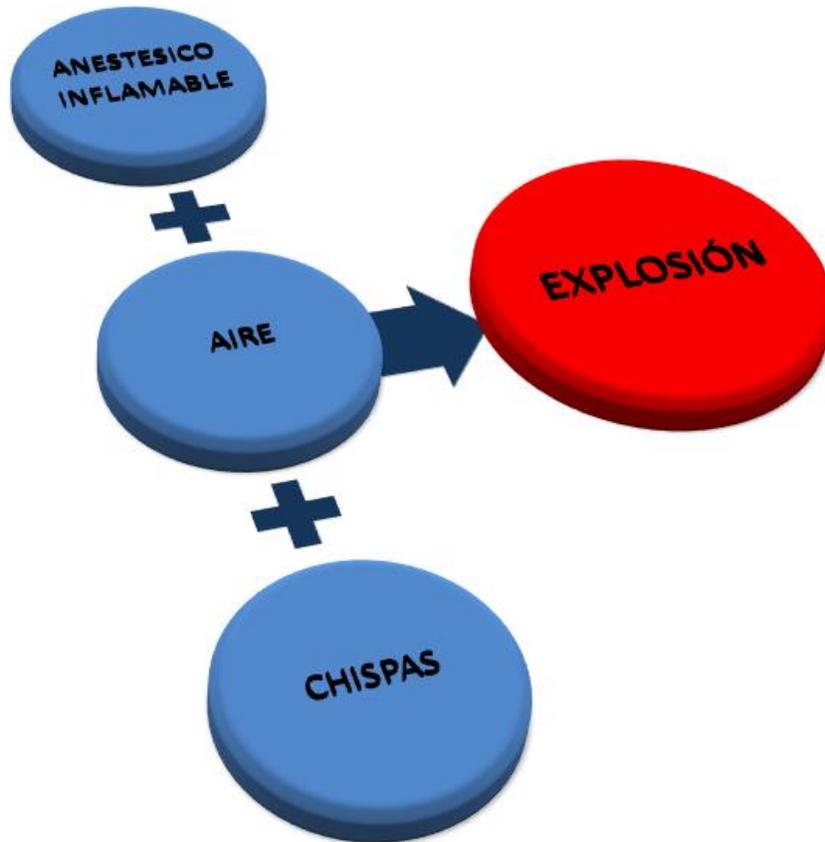
Figura 16. Chispazo Generado por Dos Elementos Eléctricos.

Primeramente para evitar un incendio o explosión dentro de una sala de operaciones, debe estar estrictamente prohibido fumar e introducir cualquier objeto que genere fuego como encendedores, cerillos u otros artículos considerados peligrosos, además desde el momento de diseñar una sala que operará con el uso de gases inflamables, deben ser





instaladas las protecciones establecidas por la NOM-001-SEDE-2012 Y NFPA-99, y de ser posible adoptar las recomendaciones de otras normas voluntarias.



### 2.2.1.2 *Electricidad (Cargas Estática y Pisos Conductivos).*

Las cargas estáticas son un fenómeno natural que representa un desequilibrio temporal en la repartición de cargas en la superficie de dos materiales, de esta forma se crea un campo eléctrico y una diferencia de potencial entre dichos materiales. Hay muchos factores que determinan la magnitud y la frecuencia de las cargas estáticas por ejemplo:

- Clima: las atmósferas secas favorecen el almacenamiento de cargas estáticas en los objetos cuando estos no están conectados a tierra en forma adecuada.
- Humedad: tener una humedad adecuada en el aire crea una película de humedad muy fina que hace más fácil un objeto se descargue constantemente impidiendo la acumulación de cargas estáticas.

Cuando hay dos cuerpos conductores cargados eléctricamente y separados por un dieléctrico se genera un efecto capacitivo entre los cuerpos conductores, en este caso solo es cuestión de establecer una vía corta entre ambos objetos cargados eléctricamente con potenciales distintos para liberar la energía almacenada.

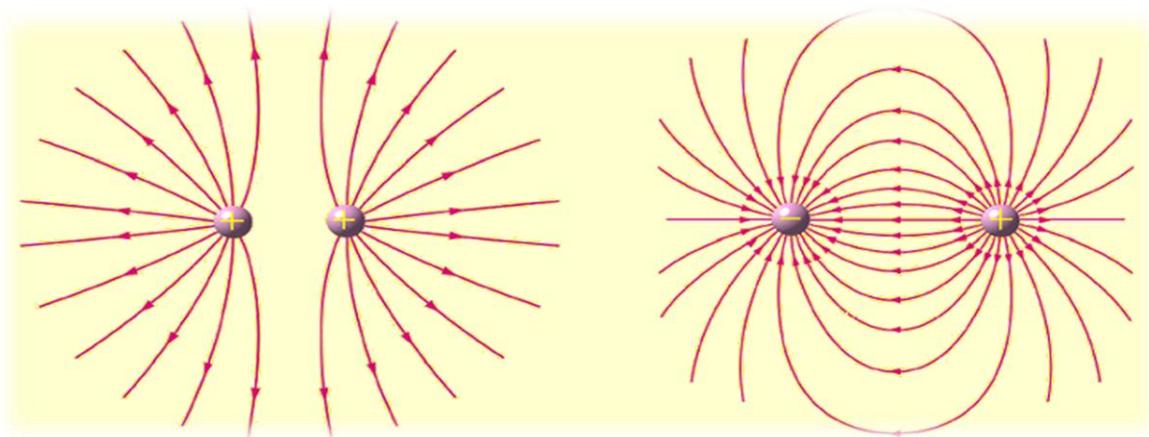


Figura 17. La imagen anterior nos muestra gráficamente el comportamiento de las cargas eléctricas, cargas distintas se atraen y cargas iguales se repelen, bajo este principio cuando un objeto o persona cargado eléctricamente encuentra cerca de él otro objeto que represente una carga distinta se establecerá un flujo momentáneo de electrones y posiblemente una chispa que puede ser peligrosa.



Este fenómeno representa un riesgo en una sala de operaciones en la que es utilizado algún compuesto inflamable, dado que al establecer el camino por el cual se pueda descargar un objeto eléctricamente cargado, generalmente se origina una chispa que puede ser capaz de iniciar un incendio. Un alto porcentaje (más del 60%) de incendios en presencia de gases inflamables es originado por cargas estáticas.

Los medios más efectivos para controlar el peligro de ignición a causa de la electricidad estática son:

- El uso de pisos conductivos
- Control del porcentaje de humedad relativa a no menos del 50%
- Uso de motores e interruptores tipo cuchilla.

### **Piso Conductivo.**

El piso conductivo es un elemento que no se considera obligatorio, siempre y cuando se cuente con otro método de disipación de cargas estáticas, sin embargo, es un método frecuentemente empleado debido a que sus características antiestáticas reducen en gran medida los peligros potenciales a los que se expone al paciente, además de que brinda protección a los equipos sensibles que pueden alterar su funcionamiento, incluso con las pequeñas descargas de estática. Es indispensable que antes de instalar el piso conductivo, el ingeniero encargado del diseño y/o mantenimiento de la sala de operaciones se cerciore de que este sea un material certificado para su uso en hospitales y que la colocación sea la adecuada, ya que una mala instalación o el uso de materiales no aprobados para este efecto puede originar que el piso conductivo no realice su cometido dejando de este modo expuesto al paciente y personal médico.





Figura 18. Utilización de Pisos Conductivos en una Sala de Operaciones.

De acuerdo con lo anterior el piso conductivo debe instalarse cuando:

- Se utilicen dentro del local gases anestésicos inflamables.
- No se cuente con otro medio o ambiente que prevenga las cargas estáticas.

Una vez instalado el piso conductivo es necesario que periódicamente se realicen las pruebas pertinentes para tener la certeza de que el piso conductivo esté cumpliendo adecuadamente con su función, dichas pruebas se mencionarán en el capítulo 3.

### **2.2.1.3 Corto Circuito y Falla a Tierra.**

A lo largo de este apartado se ha hablado de la peligrosidad de las pequeñas chispas iniciadas por el funcionamiento de algunos equipos o por el flujo repentino de corriente eléctrica, el tema del corto circuito y falla a tierra no es la excepción, sin embargo, es importante que antes de hablar de los riesgos que representan en una sala de operaciones se establezca la diferencia entre cada uno de los conceptos.





Un corto circuito ocurre cuando se juntan intencional o accidentalmente dos conductores vivos, es decir, dos conductores energizados de fases distintas; por otro lado la falla a tierra consiste en que un conductor energizado haga algún contacto directo con la tierra.

Ya que tanto en el corto circuito como la falla a tierra implican una conexión entre conductores a través de una impedancia muy baja o nula, se genera una corriente muy alta que provoca un sobrecalentamiento de los conductores e incluso chispas o flamas que resultan letales en combinación con los gases anestésicos inflamables, por esta razón bajo estas circunstancias se deben instalar dispositivos de protección contra este tipo de fallas.

Las protecciones eléctricas que son empleadas contra el corto circuito y la falla a tierra son el sistema eléctrico aislado, el sistema de puesta a tierra y los interruptores, los cuales deben ser especiales para su uso en atmósferas peligrosas. A continuación se detallará más a fondo cada una de las protecciones mencionadas.



Figura 19. Representación de un Corto Circuito.

#### 2.2.1.4 Protecciones Eléctricas (Paciente y Personal Operativo).

##### Sistema Eléctrico Aislado.

Principalmente en las salas de operaciones, independientemente de si en estas son utilizados gases inflamables o no, se usa como medio de protección el sistema eléctrico aislado, el cual es un sistema de distribución que se encuentra eléctricamente aislado del resto de los sistemas eléctricos que alimentan al hospital.





La NOM-001-SEDE-2012 establece que cada uno de los circuitos que se encuentren dentro o parcialmente dentro de un área peligrosa clasificada debe alimentarse de un sistema eléctrico aislado, y solo debe ser utilizado equipo aprobado para este propósito, es decir, los contactos y clavijas dentro del área peligrosa clasificada deben estar aprobados para su uso en atmósferas peligrosas, incluyendo la conexión del conductor para puesta a tierra. Los cordones flexibles de los equipos móviles o fijos deben ser para uso extra rudo, y siempre deben incluir un conductor para la puesta a tierra.

Es fundamental que todo el equipo instalado en estos sitios y que pueda producir arcos eléctricos, chispas o partículas de metal calientes, por ejemplo, desconectadores, generadores, motores o equipos con escobillas deslizantes deben ser del tipo totalmente cerrado, de tal forma que evite el escape de chispas o partículas calientes.

Debido a que en un sistema aislado los dos conductores del devanado secundario son considerados como vivos, es decir, no existe la distinción entre fase y neutro como en el caso del sistema eléctrico aterrizado, al momento de hacer el cableado de los contactos el conductor naranja debe conectarse al tornillo plateado del contactos, en el que comúnmente se conecta el conductor neutro de un sistema aterrizado; el conductor café se conecta al tornillo identificado con un color cobre, en el que comúnmente se conectaría el conductor vivo de un sistema aterrizado, y finalmente el conductor verde debe hacer contacto con la pantalla electrostática del transformador de aislamiento y con el tornillo verde de cada contacto. Se debe respetar el cableado y la identificación de los conductores como se ha descrito con la finalidad de conservar una polaridad en toda la sala de operaciones.

La siguiente imagen muestra a grandes rasgos como debe realizarse la conexión de un contacto en un sistema aislado.



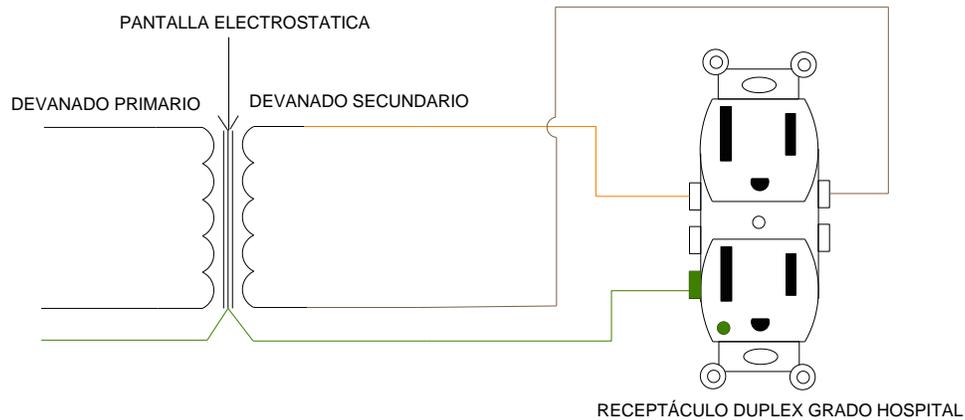


Figura 20. Representación del Sistema Eléctrico Aislado.

De acuerdo con NFPA 99 los lugares donde se involucren gases anestésicos inflamables, deben cumplir con los requerimientos de la división clase 1 y deben estar aislados.

### Puesta a Tierra.

En cualquier área de anestesia, todas las superficies conductoras no portadoras de corriente deben ser puestas a tierra de acuerdo con lo indicado en la NOM-001-SEDE-2012; en caso de que los equipos operen a no más de 10 [V] entre conductores, no será estrictamente necesario que tenga conexión a tierra.

El sistema de puesta a tierra consiste simplemente en colocar un conductor en paralelo con el usuario de la instalación eléctrica de tal forma que en condiciones de falla la mayor cantidad de corriente circule a través del conductor y no a través del paciente, por tal motivo el sistema de puesta a tierra debe ser diseñado de tal forma que tenga capacidad de conducción, baja impedancia y continuidad. Es muy importante que se cumplan con estas tres características para garantizar un nivel mínimo de seguridad. Las características del sistema de puesta a tierra se tratarán con más detalle en un apartado posterior.



### 2.2.1.5 Ventilación y Extracción.

La ventilación natural generalmente es insuficiente para lograr remover el aire contaminado de un espacio y cambiarlo por aire fresco, esta falta de intercambio de aire ocurre particularmente en los espacios cerrados que tienen pocas aberturas de acceso incluso por la misma configuración del sitio, como es el caso de las salas de operaciones. La ventilación y/o extracción en ambientes explosivos juega un papel muy importante para evitar accidentes en atmósferas potencialmente peligrosas manteniéndolas en bajo riesgo y diluyendo los aportes de gases o vapores que se generen dentro del sitio.

Dadas las condiciones bajo las que operarán los equipos de ventilación en una sala de operaciones cuando estos sean instalados, deben ser equipos intrínsecamente seguros por su diseño, es decir, el equipo debe estar debidamente aislado y conectado a tierra como lo indican las normas correspondientes.

Se pueden definir 3 objetivos primordiales del sistema de ventilación en una sala de operaciones:

1. Extraer el aire contaminado (inflamable o tóxico) del interior para mantener niveles seguros de concentración en términos de los límites de explosión permitidos.
2. Proporcionar aire fresco y respirable.
3. Crear un ambiente más confortable.

Los objetivos mencionados solo se pueden cumplir llevando a cabo una evaluación de cada caso en particular, ya que este debe ser diseñado con base en el contenido que se tendrá dentro de la sala, las actividades que se llevarán a cabo dentro de ella, y el espacio total que se desea abarcar. Es de vital importancia que el sistema de ventilación esté funcionando un tiempo adecuado antes de entrar a trabajar, con la finalidad de que en caso de existir concentraciones inflamables sean reducidas a niveles aceptables antes de que el paciente y el personal se introduzcan en la sala.





### 2.2.2 Gases Anestésicos no Inflamables.

Hasta la primera mitad del siglo XX se utilizaron en las salas de operaciones como medios anestésicos algunas sustancias entre las cuales se encontraban las mencionadas en el apartado anterior, debido a su composición química su uso resultaba un riesgo potencial, ya que estos podían desencadenar explosiones o incendios en presencia de cualquier chispa. Por esta razón era necesario tener un especial cuidado con el uso de las instalaciones eléctricas de los lugares destinados a la presencia de gases anestésicos inflamables.

Actualmente los gases anestésicos inflamables han sido desplazados por otro tipo de compuestos químicos que no solo reducen en gran medida el riesgo de incendio y explosión, sino que tienen otras grandes ventajas clínicas; por mencionar algunos ejemplos en las salas de operaciones son utilizados el  $N_2O$ , el halotano, enflurano, isoflurano, desflurano, y sevoflurano, estos anestésicos desarrollados en los años 50's constituyen lo que conocemos como anestésicos no inflamables, los cuales además poseen una farmacocinética más favorable, es decir, producen menor sensibilización al miocardio, menor potencial de toxicidad hepática y una baja solubilidad en la sangre lo cual produce una rápida emersión y recuperación de la anestesia.

La introducción de nuevos anestésicos, surge de la necesidad de eliminar los efectos indeseables de los antiguos anestésicos, en este caso específico surgen tras la necesidad de eliminar el potencial de riesgo de explosión e incendio a causa de los anestésicos en combinación con la electricidad. Aunque en la actualidad ya no se usan anestésicos explosivos, si se llegaran a utilizar en cualquier instalación, para este caso de una sala de operaciones, se debe colocar una señal permanente que ponga sobre aviso a cualquier persona que se introduzca en un área de este tipo.

#### 2.2.2.1 Incendio y Explosión.

Como se comentó, en la actualidad es muy raro encontrar alguna sala de operaciones en la cual sean utilizados los gases anestésicos inflamables, de este modo el riesgo de incendio o explosión por esa causa es nulo y permite al ingeniero encargado del diseño del sistema eléctrico omitir algunos detalles en este sentido, sin embargo, no se debe confundir esto con otros riesgos que existen en la sala de operaciones y que pueden ocasionar serios daños al paciente y al personal, las medidas de protección deben seguirse tomando en cuenta.





A continuación se muestra una tabla con los anestésicos mencionados, así como los límites de inflamabilidad de cada uno.

ANESTÉSICO	LÍMITE DE INFLAMABILIDAD
N <sub>2</sub> O (Óxido de nitrógeno)	Ninguno en aire
Halotano	Ninguno
Enflurano	Ninguno
Isoflurano	Ninguno
Desflurano	20.8% en oxígeno 27.8% en óxido nitroso 29.8% en oxígeno/óxido nitroso
Sevoflurano	11% en oxígeno 10% en óxido nitroso

Tabla 2. Límite de inflamabilidad de los Gases Anestésicos.

Aunque la tabla anterior nos muestra los límites de inflamabilidad para cada uno de los gases anestésicos más utilizados en la actualidad, la NOM-170-SSA1-1998 establece que cada fabricante está obligado a proporcionar la información físico-química de estos compuestos.

De esta forma deben tomarse en cuenta los gases que serán utilizados en una sala de operaciones, para diseñar conforme a lo que se utilizará dentro de la misma, por ejemplo, algunas protecciones eléctricas no podrán ser utilizadas cuando exista el riesgo de presencia de compuestos inflamables, esto debido a que dichas protecciones suelen emitir chispazos en el momento en que operan, tal es el caso de todas las protecciones termomagnéticas.

### 2.2.2.2 *Electricidad (Cargas Estáticas).*

Es muy frecuente observar que las personas y algunos objetos acumulan carga estática, es decir, se cargan eléctricamente, sobre todo en lugares con climas muy secos o por la fricción con algunos objetos dieléctricos, con el uso de los gases anestésicos inflamables esto constituía un riesgo en una sala de operaciones ya que podía provocar explosiones originadas por el chispazo producido al descargarse una persona u objeto. En la actualidad las cargas estáticas pueden ocasionar daños de una manera muy distinta a la antes





mencionada, ya que la reacción de una persona al sentir la pequeña descarga produce un movimiento involuntario ya sea por parte del médico o el paciente durante una cirugía, esto representa una posible lesión en las personas involucradas.

Los inconvenientes que trae consigo la acumulación de cargas estáticas en las salas de operaciones han sido disminuidos gracias a algunos métodos como el uso de pisos conductivos y el control de la humedad relativa en el ambiente, aunque una de las razones más importantes y que debemos mencionar es que en la actualidad ya no está permitido el uso de gases anestésicos inflamables en las salas de operaciones.

### **Humedad Relativa.**

La humedad relativa es una condición que varía de acuerdo con el clima y otros factores propios del lugar en cuestión. Se recomienda como promedio general mantener una humedad relativa en las salas de operaciones que no sea inferior a 50%, no obstante, no se debe exceder demasiado este porcentaje para evitar llegar al punto de rocío.

Mantener un nivel adecuado de humedad relativa no solo es importante para la eliminación de cargas estáticas, sino que es un elemento que mantiene un ambiente propicio para la realización de cirugías.

#### **2.2.2.3 Corto Circuito (Puesta a Tierra).**

Es común que se confundan los términos “puesta a tierra” y “puesto a tierra”, por tal motivo aclaramos que el conductor puesto a tierra también es llamado neutro y lo utilizamos como regreso de la corriente de nuestra línea de alimentación, es por donde circula la corriente de regreso hacia los postes de suministro eléctrico; por otro lado el conductor de puesta a tierra de los equipos es una conexión utilizada para que circule la corriente no deseada o las descargas eléctricas hacia tierra con el fin de evitar que dañen a las personas o a los equipos eléctricos, es decir, es una protección para el personal y los equipos contra descargas y sobretensiones de cualquier tipo.





El conductor de puesta a tierra no es más que un conductor que en condiciones de falla aparece como una baja impedancia conectada en paralelo con la persona involucrada en el circuito.

En el diseño de las instalaciones eléctricas de una sala de operaciones es una obligación contar con el conductor de puesta a tierra, puesto que el riesgo de lesiones en los pacientes y el personal ocasionadas por fallas eléctricas, puede verse altamente disminuido si se cuenta con un buen diseño en el sistema de puesta a tierra. Esta protección debe de contar con 3 aspectos fundamentales enumerados a continuación:

- ✓ Baja impedancia
- ✓ Capacidad de conducción
- ✓ Continuidad

**Baja impedancia:** Debido a esta característica, el conductor de puesta a tierra es el encargado de conducir la mayor cantidad de corriente en la falla, de tal forma que por el cuerpo de la persona involucrada únicamente circulará una corriente que no será capaz de dañarla.

**Capacidad de conducción:** El hilo de puesta a tierra debe tener una capacidad de conducción adecuada de acuerdo con los cálculos de corrientes de falla de la instalación y con las especificaciones de la NOM-001-SEDE-2012, debido a que a través de él deberá circular una corriente muy alta en condiciones de falla, de lo contrario el sistema de puesta a tierra no realizará su función y dejará expuesto al paciente.

**Continuidad:** La importancia de que se mantenga continuidad en el conductor de puesta a tierra, radica en que, si esta condición no se cumple el paciente queda expuesto a una falla y a través de su cuerpo circulará toda la corriente de falla.

Es común encontrar en las instalaciones eléctricas que los mismos usuarios de los equipos rompen con alguna de las condiciones anteriores e incluso hay instalaciones eléctricas en las que no se cuenta con sistema de puesta a tierra, poniendo en riesgo la seguridad de las personas que hacen uso de las instalaciones.





#### 2.2.2.4 Protecciones Eléctricas.

Las protecciones utilizadas en las salas en las que involucran gases anestésicos no inflamables son:

- Sistema de puesta a tierra
- Sistema eléctrico aislado
- Interruptor de falla a tierra

#### Sistema de Puesta a Tierra.

De acuerdo con el artículo 517 de la NOM-001-SEDE 2012 en las áreas para atención a los pacientes todos los contactos y todas las superficies no conductoras de corriente eléctrica de equipo eléctrico fijo que funciona a más de 100 [V] y sujeto al contacto con personas, deben conectarse a tierra por medio de un conductor de cobre aislado que cumpla con los requisitos establecidos en la tabla 250-95 de la misma norma, este sistema sirve para drenar las corrientes de falla hacia tierra y además mantiene una equipotencialidad en toda la vecindad del paciente a través de un punto de puesta a tierra.

#### Sistema Eléctrico Aislado (Sistema no Aterrizado).

Aunque anteriormente se describió a los sistemas eléctricos aislados, se puede resumir que son sistemas en los cuales, a través de un transformador, ninguno de los conductores del devanado secundario está conectado al conductor puesto tierra, por lo cual la corriente de cualquiera de los dos conductores aislados solo puede regresar a su fuente a través del otro conductor aislado, con esto las superficies metálicas expuestas dejan de ser buenas trayectorias para que la corriente regrese a su fuente.

Otras ventajas del sistema eléctrico aislado son que, impide que las corrientes de fuga de todo el sistema intervengan en el circuito eléctrico conectado al devanado secundario del transformador de aislamiento, además de que en caso de ocurrir una falla a tierra no se originará la interrupción del suministro eléctrico.





### Contacto con Interruptor de Falla a Tierra.

Este tipo de protecciones es comúnmente utilizado en locales que normalmente se encuentran en condiciones de humedad, disponen de transformadores de corriente que comprueban que la corriente del conductor vivo sea la misma corriente que regrese a través del conductor neutro, de tal forma que de no ser así, provocan la apertura de un dispositivo de desconexión del circuito alimentador, no el de la acometida, esta acción la realiza en un tiempo aproximado de 50 [ms] y permite interrumpir el suministro eléctrico antes de que este alcance corrientes peligrosas que puedan dañar a las personas. Es importante hacer un análisis de la carga que se dispone a alimentar antes de seleccionar este tipo de protección, ya que como se ha mencionado, este provoca la apertura del circuito alimentador y por lo tanto no debe ser instalado en lugares en los que no se tolere la primera falla, dado que esto puede traer consigo un grave problema para el paciente si este se encuentra conectado a un equipo de soporte de la vida.



Figura 21. Contacto con Interruptor de Falla a Tierra.

#### 2.2.2.5 Ventilación y Extracción.

Para el caso de la ventilación y extracción en las salas de operaciones se debe tomar en cuenta que debido a que es considerada un área blanca esta debe permanecer lo más limpia posible, de tal manera que la ventilación que se maneje en esa área no debe permitir la recirculación del aire, esto con la finalidad de evitar que se generen bacterias. En estos casos son instalados filtros en los ductos de la ventilación que impiden la proliferación de microorganismos, estos filtros deben ser cambiados periódicamente y se deben hacer pruebas dentro de las salas, para corroborar que el nivel de limpieza en el ambiente sea propicio para llevar a cabo una cirugía.

El sistema de acondicionamiento de aire debe mantenerse siempre en buen estado para garantizar su funcionamiento durante toda la actividad quirúrgica y debe mantener una





presión positiva, es decir, debe mantener una sobrepresión con respecto a otras zonas adyacentes. Esta última condición se logra controlando las diferencias entre los caudales de aire de impulsión y de extracción.

## 2.3 Lugares con Procedimientos Húmedos y Mojados.

Los lugares húmedos y mojados son aquellos en los que, mientras esté presente el paciente, constantemente se encuentran en condiciones de humedad, ya sea por la presencia de agua o por la presencia de cualquier líquido que sea conductivo, como puede ser el sudor o la sangre, siempre y cuando estas condiciones estén íntimamente relacionadas con el paciente o con el personal y con el uso de aparatos eléctricos. Estas áreas generalmente las constituyen depósitos con fluidos a nivel del piso.

De acuerdo con el concepto anterior lo más adecuado es considerar una sala de operaciones, como un local húmedo debido a que es un sitio en el que generalmente se tiene la presencia de sangre u otros líquidos corporales altamente conductivos, además de que en la sala de operaciones se cuenta con una gran diversidad de equipo eléctrico. Para este caso se debe tener especial cuidado, ya que los líquidos facilitan la ocurrencia de fallas eléctricas.

### 2.3.1 Protecciones Eléctricas.

En los locales húmedos todos los contactos y equipo fijo dentro del local deben incluir un interruptor por falla a tierra GFCI como protección para el personal y el paciente, si la interrupción de energía bajo condiciones de falla puede ser tolerada, si esta interrupción no puede ser tolerada la alimentación debe ser por un sistema de energía aislado.

Generalmente en las salas de operaciones (locales húmedos) son empleados los sistemas aislados, estos están conformados por un transformador de aislamiento, un monitor de





aislamiento de línea, dispositivos para la desconexión y protección, envolventes y un tablero de los circuitos derivados no puestos a tierra.

El transformador de aislamiento debe contar con dos devanados acoplados solo inductivamente y físicamente separados por una pantalla electrostática integrada entre ellos; el devanado primario debe ser energizado por un sistema alimentador puesto a tierra.

El monitor de aislamiento de línea LIM, es un medidor diseñado para censar periódicamente la corriente de fuga del circuito aislado, y que además deberá activar una alarma visible, y audible si se desea, en caso de que la corriente censada sobrepase el nivel establecido de 5 [mA], cabe mencionar que el LIM no deberá activarse con la corriente de fuga del propio sistema aislado.

En la actualidad los sistemas aislados son usados comúnmente para la protección contra electrocución en unidades de cuidados intensivos, unidades de cuidados coronarios, salas de emergencias, locales húmedos y salas de operaciones, entre otros.

En ningún sistema de aislamiento que suministre energía eléctrica a una sala de operaciones o área crítica los devanados primario y secundario deben exceder los 600 [V], el tamaño del transformador debe estar limitado a 10 [KVA] como máximo y los conductores para los sistemas aislados deben ser de color naranja y café.

### 2.3.2 *Corrientes de Fuga.*

Debido a que no existe un sistema o equipo eléctrico perfecto, aun cuando estos trabajen perfectamente, cada pieza o componente del sistema eléctrico produce una corriente de fuga, la cual consiste en cualquier corriente, incluyendo la capacitiva, que no sea deseada y que si llega a alcanzar valores no tolerados por el cuerpo humano puede ocasionar graves lesiones en el paciente e incluso la muerte.

En este sentido el sistema eléctrico aislado juega un papel fundamental, gracias a que impide que las corrientes de fuga de los equipos eléctricos instalados fuera de la sala de operaciones, intervengan en el circuito eléctrico alimentado por el devanado secundario del transformador de aislamiento y tiene la capacidad a través del LIM de poner sobre aviso

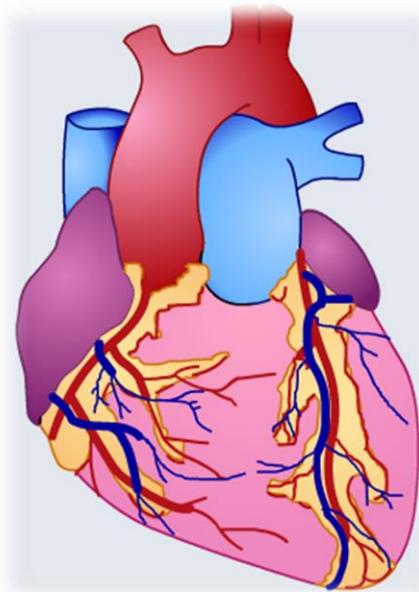




al paciente y a los médicos de un peligro potencial ocasionado por corrientes de fuga no toleradas.

## 2.4 Intervenciones Quirúrgicas por Métodos Invasivos que Involucren al Músculo Corazón.

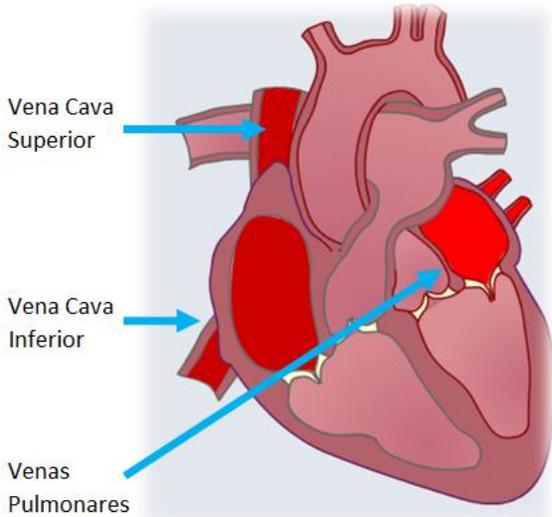
Se le conoce como *método Invasivo a cualquier procedimiento médico que reduzca o elimine la resistencia de la piel, y que convierta al paciente en un sujeto susceptible de electrocución*. Cabe mencionar que la práctica de los métodos invasivos se pueden llevar a cabo en cualquier parte el cuerpo humano, pero en este apartado trataremos sólo en los que el corazón se ve involucrado.



El corazón uno de los órganos más importantes del cuerpo humano, es una bomba que, con su acción impulsora proporciona la energía necesaria para que la sangre y las sustancias que ésta transporta circulen adecuadamente a través de las venas y las arterias. Presenta dos tipos de movimientos, uno de dilatación llamado diástole, donde las aurículas se llenan de sangre; y otro de contracción llamado sístole, donde dirige la sangre al resto del cuerpo. El corazón no está nunca ni completamente vacío ni completamente lleno, y nunca se para: a cada sístole le sigue una diástole. Cada contracción del músculo cardíaco recibe el nombre de latido. Los latidos tienen una frecuencia de 70 a 80 latidos por minuto (en reposo). Cada latido se produce por un impulso que se origina en el miocardio, en el punto en que la vena cava superior desemboca en la aurícula derecha, y de ahí

se difunde por todo el sistema de conducción. En las siguientes imágenes veremos el ciclo cardíaco:



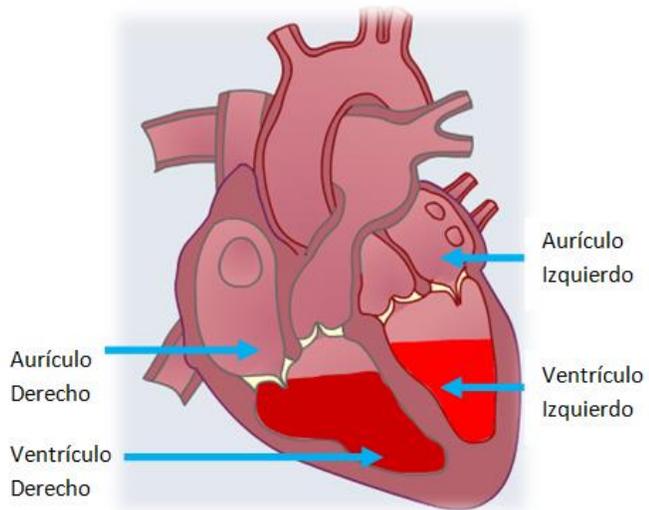


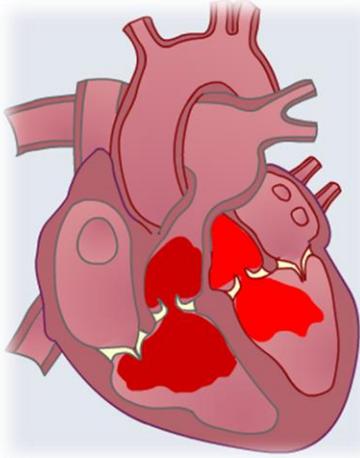
**Diástole.**

La sangre entra en las aurículas a través de las venas cava superior y cava inferior y de

**Sístole Auricular.**

Se produce la contracción simultánea de las aurículas, así, la sangre pasa de estas a los ventrículos a través de los orificios aurícula-ventriculares cuyas válvulas están abiertas





### Sístole Ventricular.

A medida que el impulso cardíaco va avanzando y pasa a los ventrículos, se produce la contracción de los mismos (también simultáneamente), se cierran las válvulas aurícula-ventriculares y se abren las sigmoideas, con lo que sale la sangre a través de las arterias. A continuación el músculo cardíaco se relaja hasta originarse nuevamente un pulso.

Cuando se aplica directamente una corriente al corazón del orden de los **10 [μA]**, su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por rotura del ritmo cardíaco. El corazón, al no tener una coordinación en los ventrículos, no puede bombear sangre a los diferentes tejidos del cuerpo humano y particularmente grave a los tejidos del cerebro donde es imprescindible una oxigenación continua de los mismos por la sangre. Si el corazón fibrila el cerebro no puede mandar las acciones directoras sobre órganos vitales del cuerpo, produciéndose unas lesiones que pueden llegar a ser irreversibles, dependiendo del tiempo que esté el corazón fibrilando.

En las intervenciones quirúrgicas en donde el corazón se ve involucrado directamente, los sistemas de monitorización y los dispositivos intracardiacos, son los principales potenciales de que se presente la fibrilación cardiaca, ya que pueden poner en contacto a través del suero salino los electrodos de los transductores con el corazón.





### 2.4.1 Corrientes de Fuga en Instalaciones y Equipo Médico.

Como mencionamos en el apartado anterior los equipos médicos pueden llegar a ser mortales cuando están conectados directamente al corazón, esto debido a los niveles de las corrientes de fuga que fluyen por el sistema de cateterización o electrodos.

En todo sistema eléctrico existen corrientes de fuga, puesto que no existen aislamientos perfectos, y como una consecuencia de la pérdida de aislamiento una parte de la corriente puede llegar a circular a través del paciente, existen dos tipos de corriente de fuga de acuerdo con el mecanismo de producción:

- **Corrientes de fuga tipo resistivo:** se producen por contacto directo entre un conductor activo y un objeto. Los ejemplos más claros son el corto circuito y la falla a tierra, debido a un contacto simultáneo entre el conductor vivo y el conductor neutro, o entre el conductor vivo y el conductor de puesta a tierra respectivamente.
- **Corrientes de fuga tipo capacitivo:** se deben a la capacidad de los cuerpos metálicos de acumular energía como si se trataran de capacitores de placas paralelas.

Un fenómeno capacitivo se presenta cuando en dos elementos conductores, la frecuencia de la corriente disminuye la impedancia al paso de la corriente entre los dos elementos, pudiéndose establecer una corriente de fuga. Esto solo ocurre a frecuencias del orden de los 10 [kHz]. Si tenemos en cuenta que las unidades electroquirúrgicas operan con frecuencias de esa magnitud, se puede comprender que existirán corrientes de fuga. A continuación en la siguiente expresión de la reactancia capacitiva podemos observar que si la frecuencia aumenta la impedancia disminuirá.

$$X_c = j \frac{1}{2\pi f C}$$





### 2.4.2 Sistema Eléctrico Aislado.

El Sistema Eléctrico Aislado debe instalarse cuando se llegase a presentar cualquiera de las siguientes condiciones:

1. *Cuando se utilicen gases anestésicos inflamables.*
2. *Cuando no se tolere la interrupción de la energía eléctrica de un GFCI en un lugar o área considerada mojada o húmeda.*
3. *Se presente riesgo de daño al paciente por ser clasificado como susceptible de electrocución.*
4. *Cuando no se permite riesgo de choque eléctrico al paciente, personal médico y de enfermería.*

Hasta el momento sólo hemos nombrado la aplicación de los dos primeros puntos en apartados anteriores. Ahora con el objetivo de limitar las corrientes de fuga ocasionadas por el equipo médico o por los conductores, y puesto que representa un riesgo de daño al paciente por ser clasificado susceptible de electrocución, haremos uso del sistema eléctrico aislado, para lograr el aislamiento al paciente, ya que pueden presentarse corrientes de fuga mayores a **10 [μA]**; como ya lo hemos mencionado, este sistema está integrado por un transformador de aislamiento y un monitor de aislamiento de línea.

#### Transformador de Aislamiento.

Al igual que un transformador ordinario, consta de una bobina primaria y una bobina secundaria, las cuales están separadas por una pantalla electrostática, la diferencia con un transformador ordinario, es que en el transformador de aislamiento se energiza el devanado primario el cual está puesto a tierra, esto genera una corriente, por medio de inducción electromagnética, en el devanado secundario, el cual está completamente aislado del devanado primario, es decir, el devanado secundario no está puesto a tierra.

El transformador de aislamiento proporciona la misma energía eléctrica útil que la que proporciona un circuito de energía puesto a tierra. Otra diferencia es que al no estar puesto a tierra tenemos en nuestro circuito secundario dos conductores vivos. A continuación en la siguiente ilustración observaremos el principio de funcionamiento de este transformador.



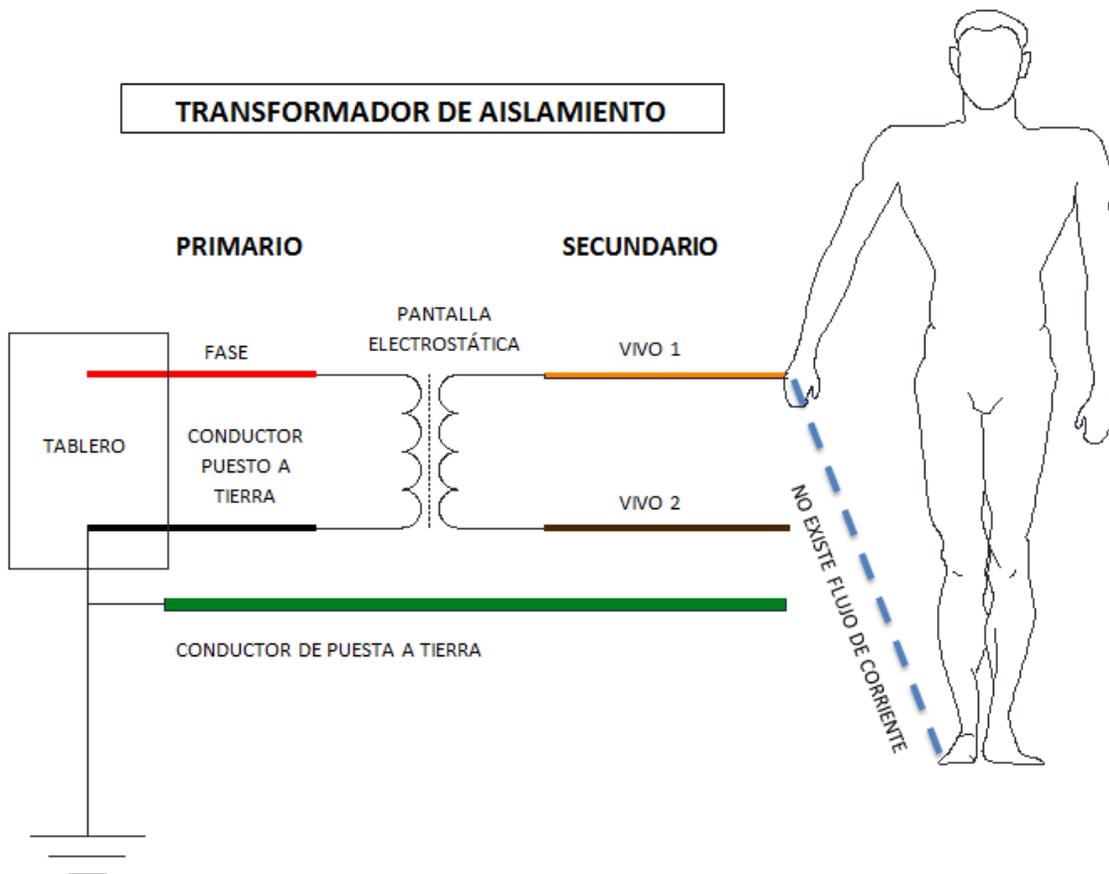


Figura 22. Se muestra el principio de funcionamiento del transformador de aislamiento, podemos observar que si un individuo llegase a tocar por un lado el conductor de color naranja (vivo 1) y así mismo está en contacto con la tierra no recibirá un choque eléctrico, dado que no está cerrando el circuito, ya que el conductor naranja (vivo 1) es parte del sistema aislado y el otro punto que es el suelo es parte del lado primario del transformador que está puesto a tierra, de esta manera aislamos a nuestro paciente y así podemos protegerlo contra una electrocución.



## Monitor de Aislamiento de Línea.

Puesto que la seguridad del transformador de aislamiento se basa en la ausencia del conductor de puesta a tierra, que brinda una vía de baja impedancia que pudiera cerrar un circuito en caso de existir una corriente de falla, es fundamental detectar la aparición de cualquier defecto que conlleve una pérdida de aislamiento, lamentablemente no hay aislamiento perfecto, por eso, todo el equipo médico que sea conectado, incluyendo los conductores, al sistema eléctrico aislado, en algún momento puede llegar a conectarse a tierra debido a una falla, por ejemplo si un conductor de algún equipo que esté conectado en el sistema eléctrico aislado entra en contacto con tierra, el sistema se revierte a la configuración de un sistema puesto a tierra y se pierde completamente la protección. Por consiguiente, debe haber una forma de monitorizar la integridad del aislamiento del sistema, para ello es recomendable incorporar al circuito, un sistema de monitorización, que indique cuando el sistema se ha puesto a tierra y active una alarma, audible y visible cuando tal incidente ocurra.

La alarma no significa que exista un peligro inminente para el paciente, indica que el sistema se ha convertido en un sistema puesto a tierra, con ello el personal puede corregir el problema tan pronto como sea posible, sin interrumpir procedimientos que se están llevando a cabo. El monitor (LIM) requiere de una segunda falla eléctrica antes de que se presente una condición peligrosa.

El **Monitor de aislamiento de línea (LIM)** tiene como finalidad verificar continuamente la impedancia total del sistema aislado. Este debe responder audible y visiblemente cuando la impedancia del sistema se degrada al nivel en el que fluyan 6 [mA] de corriente a través de cualquier conductor del sistema hacia tierra de acuerdo con lo establecido en la NOM 001 SEDE 2012. Una cosa muy importante por mencionar es que el LIM, no interrumpe el servicio eléctrico. La pérdida de integridad de un sistema no puesto a tierra no afecta la operación de los dispositivos de apoyo a la vida, en la figura 23 se muestra la integración de un LIM al Transformador de Aislamiento.



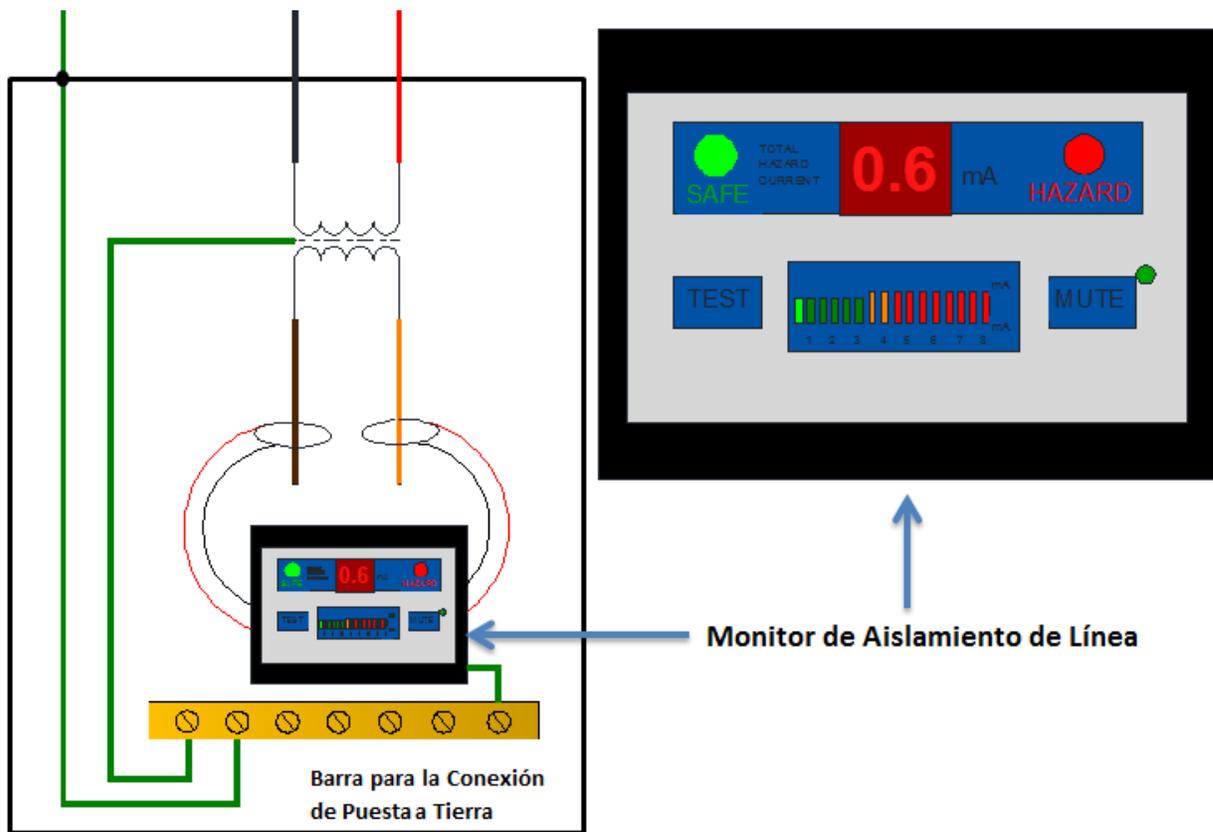


Figura 23. Integración del Monitor de Aislamiento de Línea al Sistema Eléctrico Aislado. En ella se puede observar que el monitor está colocado en la parte secundaria del transformador (parte aislada), con el objetivo de censar la corriente total de fuga que se pueda presentar en la intervención quirúrgica debido a los equipos médicos.



### 2.4.2.1 *Instalación del Sistema Eléctrico Aislado.*

El Sistema Eléctrico Aislado, se instalará de acuerdo con lo establecido por las normas que apliquen en el territorio mexicano en este caso NOM 001 SEDE 2012 Instalaciones Eléctricas (Utilización), aunque también hay que considerar normas extranjeras las cuales son mencionadas en la NOM 001 como consultas, tal es el caso de la NFPA 99 “Health Care Facilities”, IEEE White Book “Electric Systems in Health Care Facilities” entre otras.

En el artículo 517 “Instalaciones en Lugares de Atención de la Salud” de la NOM-001-SEDE-2012, se dedica el apartado **G** para la instalación correcta del sistema eléctrico aislado. Entonces tomando como consideración lo anterior a continuación explicaremos detalladamente la instalación de un sistema eléctrico aislado:

#### **Instalación.**

- 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. El aislamiento puede lograrse por medio de uno o más transformadores que no tengan conexión eléctrica entre los devanados primario y secundario; por medio de conjuntos motor generador, o por medio de un sistema aislado de baterías.
- 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. Los circuitos alimentados directamente desde las baterías o del conjunto motor generador no deben ser puestos a tierra, y deben protegerse por sobrecorriente de la misma manera que los circuitos secundarios alimentados del transformador. Para el caso del transformador de aislamiento, si existe una pantalla electrostática, debe conectarse al mismo punto de puesta a tierra de referencia.





### Ubicación.

- La norma nos indica que los transformadores de aislamiento, los conjuntos motor generador, las baterías y cargadores de baterías, y los dispositivos por sobrecorriente asociados al primario o secundario, no deben instalarse en áreas peligrosas (clasificadas).
- Debemos considerar la ubicación del tablero del sistema eléctrico aislado junto con los contactos para el uso de equipos médicos, ya que si instalamos éstos por todas partes corremos el riesgo de que la corriente de fuga de los conductores eléctricos aumente por el efecto capacitivo (ya mencionado con anterioridad). Con respecto a los contactos es bueno posicionarlos en un lugar adecuado, ya que el uso de los cordones de los equipos médicos pueden llegar a ocasionar accidentes entre las enfermeras que están en constante movimiento y podrían llegar a tropezarse, además de que al estar posicionados inadecuadamente, propicia el uso de extensiones las cuales están proscritas por la norma debido a que aumentan las corrientes de fuga, por los motivos anteriores, se recomienda que se instalen en un lugar adecuado en donde el LIM sea visible para los médicos y los contactos no estorben a la hora de conectar equipo médico, en la siguiente imagen se ilustra una correcta instalación del tablero y de los contactos, se puede observar que el Sistema eléctrico aislado está posicionado en un lugar en donde es visible para el médico, también podemos observar que los contactos son los necesarios para la operación del equipo médico, y que están posicionados de tal manera que no estorban al personal médico , además éstos se encuentran lo más cercanos al SEA, de esta manera podemos reducir la distancia de conductores.



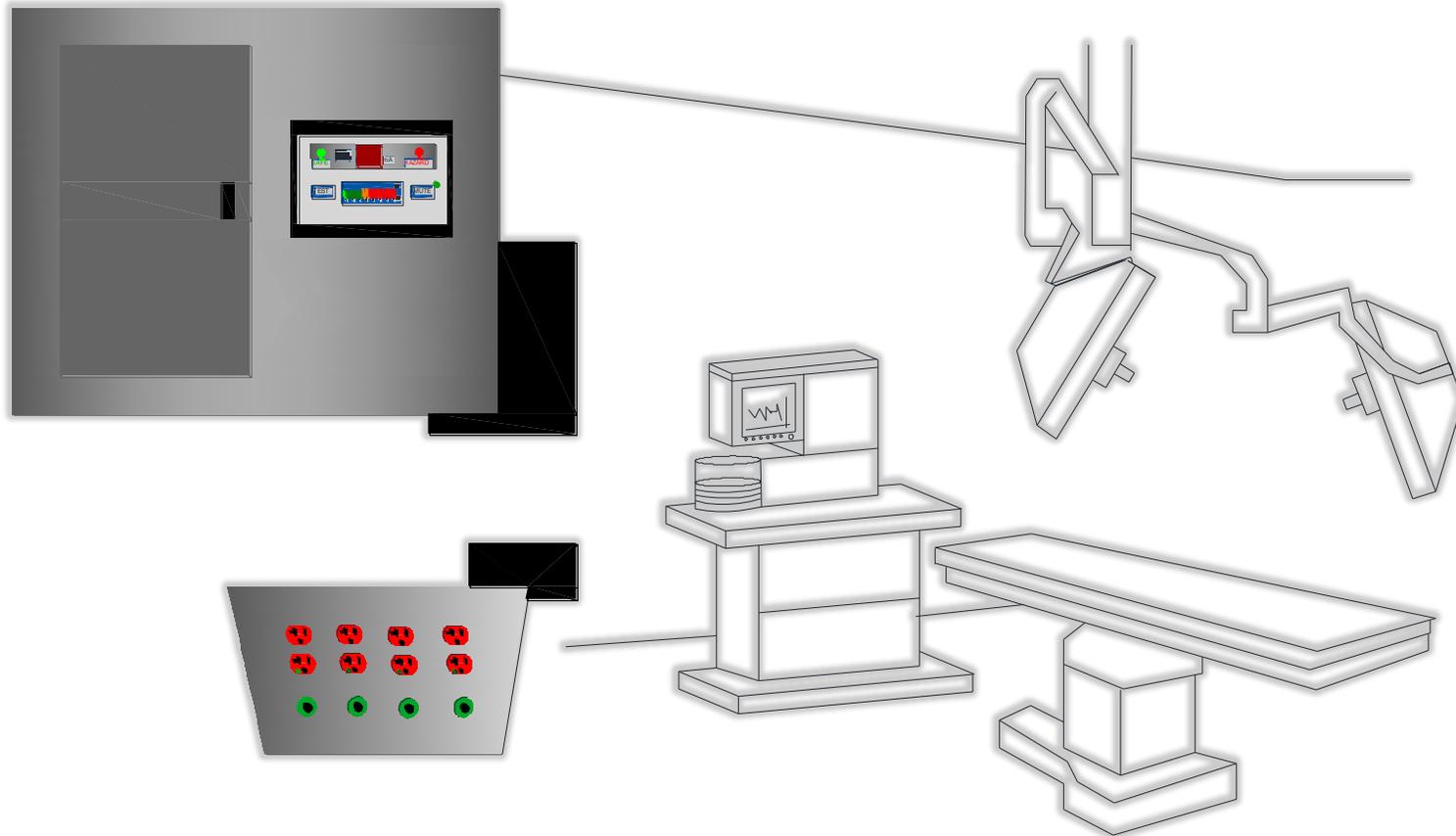


Figura 24. Instalación del Sistema Eléctrico Aislado y Contactos.





Un transformador de aislamiento no debe alimentar más de una sala de operaciones, a continuación se detalla por qué se hace esta restricción; supongamos que tenemos una sala A y una sala B alimentadas de un mismo transformador y en ambas se están llevando a cabo intervenciones quirúrgicas, si en la sala A se presenta un corto circuito en un equipo médico, éste provocara la interrupción de la energía eléctrica de las dos salas debido a la operación de la protección del transformador, esta situación pondría en riesgo incluso de muerte al paciente de la sala B que se encuentra en cirugía, debido al fallo de energía eléctrica.

Otra de las medidas que la NOM recomienda, es limitar el tamaño del transformador de aislamiento a 10 [kVA] con el propósito de limitar las corrientes de corto circuito, ya que si en nuestro diseño hacemos uso del conductor 12 AWG éste no soportará corrientes de corto circuito generadas por transformadores de capacidad mayores a 10 [kVA].

Una vez instalado el transformador de aislamiento se deben seguir las siguientes recomendaciones para su instalación:

- Reducir al mínimo la longitud de los conductores del circuito derivado.
- Utilizar aislamientos de conductores con una constante dieléctrica (k) menor que 3,5 y una resistencia de aislamiento correspondiente a una constante mayor que 6 100 [MΩ-m] a 16 °C.

Con estas recomendaciones reducimos la corriente de fuga de la línea a tierra, y por lo tanto la corriente peligrosa.

Los conductores de un circuito aislado físicamente deben identificarse como sigue:

Conductor aislado físicamente 1 - naranja.

Conductor aislado físicamente 2 - café.

Para sistemas eléctricos aislados trifásicos, el tercer conductor debe identificarse con el color amarillo.



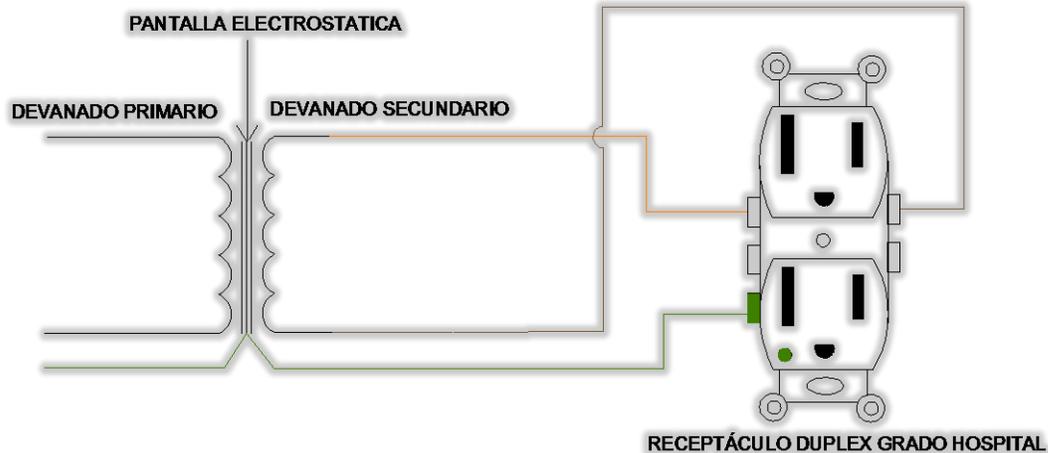


Figura 25. Identificación de contactos en un Sistema Eléctrico Aislado. Cada contacto grado hospital tiene tres tornillos, en donde son colocados los conductores, uno es color níquel ahí se coloca el conductor neutro, otro color cobre ahí va colocado el vivo y el color verde donde es colocado el conductor de puesta a tierra. En un sistema eléctrico aislado el conductor color naranja va colocado en el tornillo color níquel, el conductor café en el tornillo color cobre y en el tornillo verde el conductor verde de puesta a tierra.

#### 2.4.2.2 *Instalación del Monitor de Aislamiento de Línea.*

- Cada monitor que se ha instalado debe diseñarse de tal manera que, cuando el sistema que se encuentra aislado de tierra en forma correcta, la lámpara indicadora de color verde permanezca encendida además de que quede a la vista del personal médico. Cuando la corriente peligrosa total 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 (puede ser remota).
- No debe activarse la alarma del monitor para valores menores a 3,7 [mA] o para una corriente peligrosa total de menos de 5 [mA], también, se permite el diseño de un sistema que opere a un valor menor que el límite de la corriente peligrosa total. En un monitor de aislamiento de línea para tal sistema se permite reducir el valor, pero no debe ser menor que 35% del correspondiente límite de la corriente peligrosa total, y la



corriente peligrosa total del monitor consecuentemente debe reducirse a no más de 50% del valor de alarma de la corriente peligrosa total.

- El monitor de aislamiento de línea debe ser diseñado de modo que tenga impedancia interna suficiente para que, cuando se conecte apropiadamente al sistema aislado, la corriente máxima interna que pueda circular a través del monitor de aislamiento de línea, debe ser 1 [mA], cuando haya algún punto del sistema aislado puesto a tierra.
- En un lugar plenamente visible del monitor de aislamiento de línea, se debe conectar un amperímetro calibrado a la corriente peligrosa total del sistema (Corriente peligrosa de falla más la corriente peligrosa del monitor), con la zona de “alarma situada” aproximadamente al centro de la escala, esto con el fin de tener un respaldo por si llegase a presentarse alguna falla en el monitor de aislamiento, el médico podrá seguir al pendiente con la corriente peligrosa con el amperímetro de respaldo.

A continuación en la figura 26 se muestra en forma detallada el Monitor de Aislamiento en su correcta instalación.



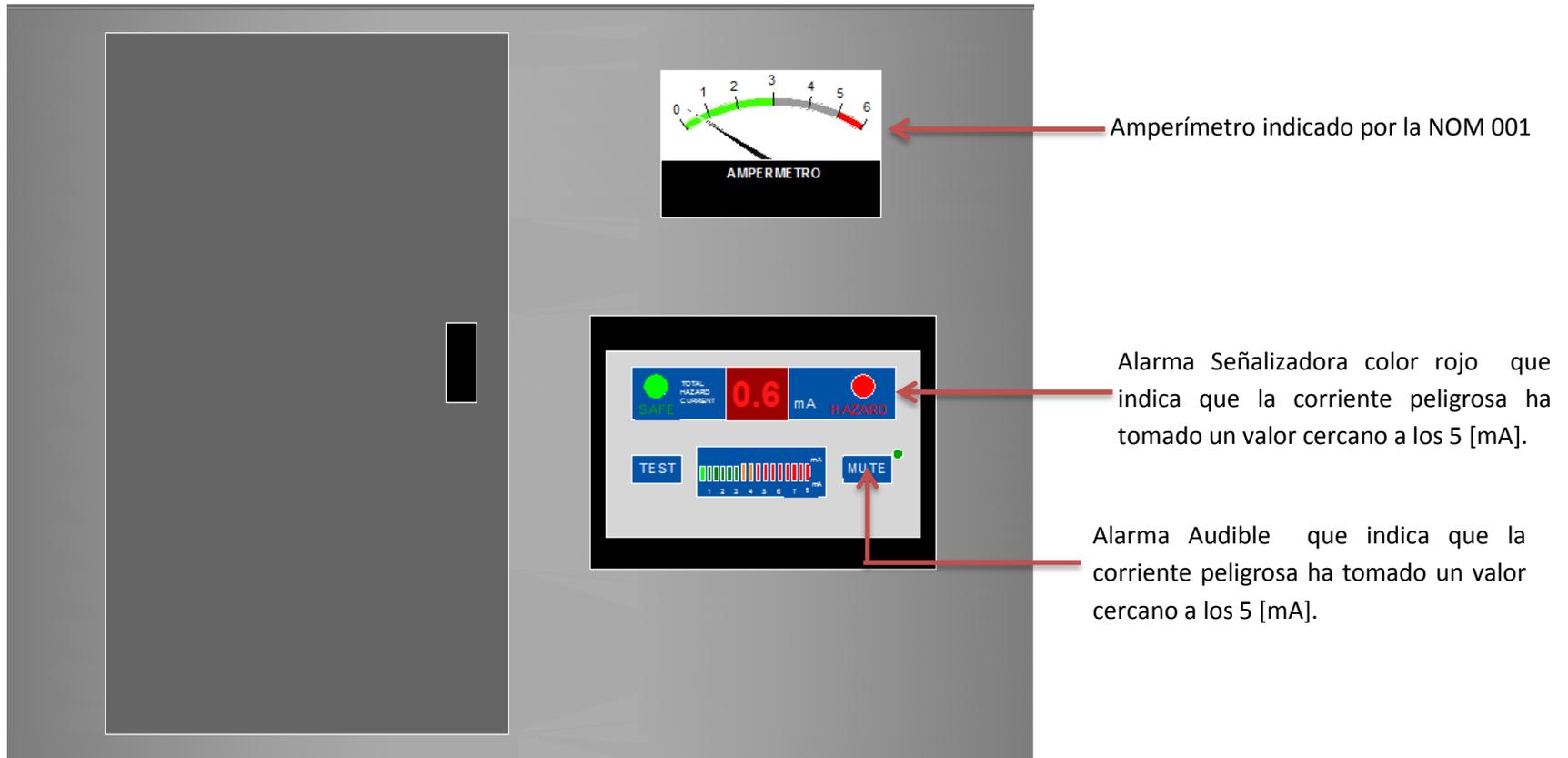


Figura 26. Instalación del Monitor de Aislamiento de Línea.





## 2.5 Intervenciones Quirúrgicas por Métodos Invasivos que no Involucren al Músculo Corazón.

Como vimos en el capítulo 1, las salas de operaciones se clasifican de acuerdo con la intervención quirúrgica que se realizará en cada una de ellas. En este apartado retomaremos nuevamente este tema con la finalidad de identificar aquellas intervenciones quirúrgicas en donde no se ve involucrado directamente al corazón, entre las salas que no involucren este tipo de cirugía están las de corta estancia, las unidades tocológicas y las salas de cirugía Mayor Ambulatoria, que como vimos algunas de estas salas no requieren de hospitalización del paciente, lo cual quiere decir que este tipo de cirugías son muy sencillas, tal vez sean simples heridas que no requieren de mucho tiempo en la intervención o simplemente no se requiere el uso de demasiado instrumental médico.

Contar con esta información ayuda a los proyectistas a tomar la mejor decisión a la hora de diseñar un sistema de protección eléctrica hacia el paciente, ya que se podrá reducir gastos en cuanto material y equipo eléctrico al utilizar un sistema de protección más económico sin dejar de cumplir con el objetivo, la protección del paciente contra choques eléctricos.

### 2.5.1 Sistema Eléctrico Aislado VS Aterrizado.

Como hemos visto la NOM-001-SEDE-2012 indica que debe instalarse un sistema Eléctrico Aislado cuando:

- Se utilicen gases anestésicos inflamables.
- No se tolere la interrupción de la energía eléctrica de un GFCI en un lugar o área considerada mojada o húmeda.
- Se presente riesgo de daño al paciente por ser clasificado como susceptible de electrocución.
- No se permite riesgo de choque eléctrico al paciente, personal médico y de enfermería.





Pero hay ocasiones en las que por el tipo de cirugía a efectuarse, se puede hacer simplemente el uso de los interruptores con detección de falla a tierra (GFCI, por sus siglas en inglés de Ground Fault Circuit Interrupters), los cuales han sido mencionados y descritos más a fondo en su forma de operar (son dispositivos diseñados para evitar choques eléctricos accidentales o electrocución evitando el paso de la corriente a tierra).

Este tipo de protección al paciente puede ser muy económica, sin embargo no hay que dejar pasar todas las recomendaciones que hemos hecho con anterioridad, se permite el uso de estos equipos siempre y cuando el diseño cumpla con los niveles de corriente peligrosa establecidos.

Una vez que se ha tomado la decisión hacer el diseño con interruptores con detección de falla a tierra, se deben seguir las siguientes recomendaciones para su instalación:

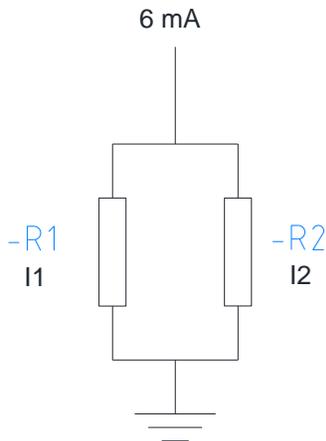
- Que los interruptores Con detección de Falla a Tierra sean de grado Hospital y que operen a 6 [mA].
- Reducir al mínimo la longitud de los conductores del circuito derivado.
- Que los interruptores con detección de falla a Tierra estén lo más cerca posible entre si, esto con el fin de reducir el efecto capacitivo de los conductores.
- Utilizar 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 °C.

Con estas recomendaciones reducimos la corriente de fuga de la línea a tierra, y por lo tanto la corriente peligrosa.

A continuación mostraremos en forma de ejemplo, un pequeño diseño con un sistema de Interruptores con detección de Falla a Tierra.

Tenemos que un GFCI el cual debe operar a 6 mA, la distancia de nuestro circuito derivado es de 3 m y de acuerdo con nuestro cálculo de conductores, debemos usar un conductor del número 12 AWG ,entonces tenemos que:





R1- Resistencia del cuerpo humano: **500 [Ω]**.

I1- Corriente que circulará a través del cuerpo

R2- Resistencia del conductor calibre 12 AWG: **6.50 [Ω-km]**

I2- Corriente que circulará a través del conductor calibre 12AWG.

- Primeramente debemos buscar en la tabla 10.8 Propiedades de los Conductores de la NOM-001-SEDE-2012, el valor de la resistencia del conductor 12 AWG, así obtenemos un valor de **6.50 [Ω-km]**.
- Transformamos el valor de 6.50 [Ω-km]. Ya que lo que requerimos es [Ω-m], así tenemos un valor de 0.0065 [Ω-m].
- Nuestra distancia desde el circuito derivado es 3 metros. Multiplicamos la resistencia del conductor por 3 por lo que tenemos un nuevo valor de **0.0195 [Ω-m]**
- Ahora ya procedemos a encontrar el valor de I1 con la expresión de división de corrientes tenemos que:

$$I_2 = \frac{I_t}{R_2} * \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{I_t R_1}{R_1 + R_2}$$





Sustituyendo valores tenemos que:

$$I_2 = \frac{(6 \times 10^{-3} [A])(500 [\Omega])}{(500 [\Omega] + 0.0195 [\Omega])}$$

$$I_2 = 5.9997 \times 10^{-3} [A]$$

Por lo tanto la corriente que circulará por el cuerpo del paciente será:

$$I_1 = 6 \times 10^{-3} [A] - 5.9997 \times 10^{-3} [A]$$

$$I_1 = 0.02339 \times 10^{-6} [A]$$

Podemos observar que el valor que tenemos es mucho más pequeño del que puede llegar a detener al corazón por lo que este medio de protección puede ser útil en ciertas áreas de cirugía.



# CAPÍTULO 3

## Diseño del Sistema Eléctrico General.



Se le ha titulado a este capítulo “El Sistema Eléctrico General” con el fin de remarcar la importancia que adquiere en los hospitales, un correcto suministro de la energía eléctrica sin fallas, defectos o interrupciones.

Como se ha descrito a lo largo de este documento, el diseño de un sistema eléctrico orientado a dar servicio a un establecimiento de atención para la salud de los seres humanos, es una especialidad de la ingeniería eléctrica y por lo tanto debe apegarse en todo momento a las disposiciones de la documentación creada para tal propósito.

A lo largo de este capítulo, se describirá el diseño del sistema eléctrico esencial de un establecimiento dedicado a brindar atención médica hacia los seres humanos, con el propósito de brindar un panorama general de los criterios de diseño e instalación que se deben aplicar en las áreas de atención crítica, teniendo siempre un especial cuidado con las áreas en las que se lleven a cabo intervenciones quirúrgicas, con la finalidad de minimizar cualquier posibilidad de fallas eléctricas, además, se hará énfasis en un programa de mantenimiento y pruebas en las salas de operaciones, ya que resulta muy importante garantizar una buena operación del sistema eléctrico en todo momento detectando a tiempo las posibles fallas ocasionadas por el deterioro natural de los componentes.

Los documentos normativos oficiales que se deben aplicar son:

- **NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (Utilización)”.**
- **NOM-016-SSA3-2012 “Que Establece Las Características Mínimas De Infraestructura Y Equipamiento De Hospitales Y Consultorios De Atención Médica Especializada”.**
- **National Electrical Code Edition 2011.**
- **NFPA 110 Standard Emergency and Standby Power Systems Edition 2005.**
- **NFPA 99 Health Care Facilities Edition 2005.**





## 3.1 Sistema Eléctrico General.

La planificación de los sistemas eléctricos hospitalarios debe incluir la posibilidad de limitar la interrupción y de continuar los servicios vitales. Estos incluyen la energía eléctrica en los sistemas de mantenimiento de vida y la iluminación de seguridad entre otros. De este modo el suministro eléctrico al hospital debe proceder de más de una fuente y debe estar dividido en ramas esenciales y no esenciales.

El sistema eléctrico general de un lugar dedicado a la atención de la salud, debe cumplir con todo lo indicado en los siguientes capítulos de la NOM-001-SEDE-2012, salvo las modificaciones que sean expresamente señaladas en el artículo 517 de la misma norma:

- 1.-Disposiciones Generales.**
- 2.-Alambrado Y Protección.**
- 3.-Métodos de Alambrado y Materiales.**
- 4.-Equipos de Uso General**

El sistema eléctrico general está compuesto por dos subsistemas que son el sistema eléctrico no esencial y el sistema eléctrico esencial tal como se muestra en la figura 27; se tratará con detalle cada uno de estos más adelante.



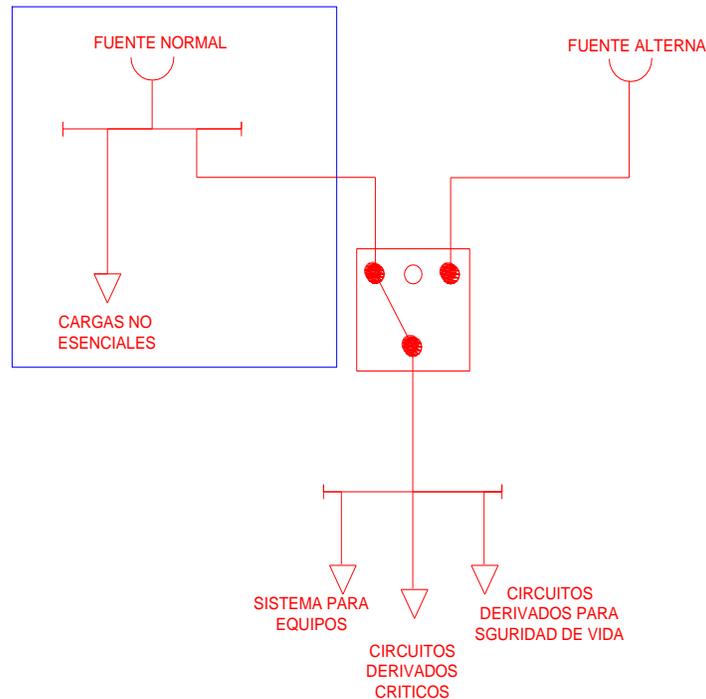


Figura 27. El Sistema Eléctrico General debe quedar compuesto por el Sistema Eléctrico No Esencial marcado con el recuadro color azul y el Sistema Eléctrico Esencial incluye todo el dibujo incluso el sistema eléctrico no esencial.

A grandes rasgos el sistema eléctrico de un lugar dedicado a la atención de la salud debe estar provisto de:

- Una conexión a tierra en cada uno de los contactos instalados y equipo eléctrico fijo, a través de una canalización metálica o cable armado; los requerimientos de la trayectoria de puesta a tierra deben ser consultados en el artículo 250 de la NOM-001-SEDE-2012.

Las barras para puesta a tierra de cualquier circuito, ya sea esencial o no esencial, utilizado en la vecindad del paciente, deben interconectarse con conductores de cobre aislado de un calibre que no debe ser inferior a los 5.26 mm<sup>2</sup> de sección



transversal (10 AWG); en los casos en los que haya 2 o más tableros distribuyendo a un mismo lugar, debe haber conductores continuos de un tablero a otro.

- Cuando los medios de desconexión de la fuente suministradora de energía eléctrica cuentan con protección por falla a tierra, como se especifica en las secciones 230-95 o 215-10, debe proveerse por lo menos de una etapa adicional de protección hacia la carga en cada uno de los circuitos alimentadores del sistema eléctrico no esencial. Tales protecciones están formadas por dispositivos de sobrecorriente, transformadores de corriente u otro equipo de protección equivalente, que provoque la apertura de los dispositivos de desconexión del circuito alimentador y no el de la acometida o servicio. Las protecciones por falla a tierra para la operación de los medios de desconexión de la acometida o del alimentador y de los circuitos alimentadores de la segunda etapa, deben tener selectividad de manera que si la falla a tierra está del lado de la carga abra el dispositivo del circuito alimentador de la segunda etapa y no el de la acometida. Para lograr esto se debe prever una separación de 6 ciclos por lo menos entre las bandas de desconexión de las protecciones de la segunda etapa de los circuitos alimentadores y las protecciones de la acometida o servicio.
- En las áreas de atención crítica, cada cama de paciente debe tener cuando menos dos circuitos derivados, uno o más del sistema de emergencia y uno o más del sistema normal, cuando menos un circuito de emergencia debe alimentar a uno o varios contactos en esta ubicación de la cama. Todos los circuitos de la fuente de suministro normal, deben partir del mismo panel o tablero de alumbrado y control. Los contactos del sistema de emergencia deben ser identificados y también deben indicar el panel o tablero desde donde se alimentan, así como el número del circuito derivado correspondiente. Cada cama de paciente debe estar provista como mínimo de seis contactos, cuando menos uno debe ser conectado como sigue:
  - a) El circuito derivado del sistema normal requerido.
  - b) Un circuito derivado del sistema de emergencia alimentado por un desconectador de transferencia diferente de los otros desconectadores que suministran energía a otros contactos de la misma área.





En este caso debe existir un punto de referencia de puesta a tierra del equipo en la vecindad del paciente, este debe contener uno o más conectores. Cuando no exista punto de puesta a tierra del equipo en la vecindad del paciente, es importante que la distancia entre el punto de referencia de puesta a tierra del sistema aislado o el panel y la vecindad del paciente sea lo más corta posible para minimizar cualquier diferencia de tensión. En los lugares en los que sea utilizada la canalización metálica o un cable del tipo MC o MI, debe asegurarse en que se haga unión en cada punto, ya sea a través de un monitor metálico de puesta a tierra y un conductor de cobre bien dimensionado conectado del monitor a la barra de puesta de tierra del equipo o asegurando esta conexión entre la canalización y el tablero por medio de bridas, terminales roscadas, bridas de copa u otros dispositivos aprobados para puesta a tierra como contratueras o monitores.

- La norma requiere la utilización de sistemas eléctricos aislados en lugares de atención críticos, considerados locales húmedos. Como se ha mencionado con anterioridad en estos casos es indispensable hacer un análisis de las actividades que se llevarán a cabo en el sitio, para determinar si la instalación de un sistema eléctrico aislado es la mejor opción o se puede hacer un sistema eléctrico aterrizado utilizando como protección hacia el paciente el GFCI. Si se opta por hacer una instalación eléctrica aterrizada, es importante realizar pruebas periódicamente en los interruptores de falla a tierra para que operen a no más de 6 [mA], como se describirá más adelante. Estas especificaciones no deben ser aplicadas en albercas y tinas terapéuticas, para tales propósitos se debe consultar el artículo 680.





## 3.2 Sistema Eléctrico Esencial.

El sistema eléctrico esencial debe ser un sistema que permita suministrar energía eléctrica a una cantidad determinada de servicios que sean identificados como esenciales para la preservación y seguridad de la vida, debe de ser capaz de minimizar los efectos de un corto circuito o falla a tierra, por lo que requiere de una coordinación al 100%, y finalmente debe de ser capaz de ser operado para suspender ordenadamente, los procedimientos en ejecución durante el tiempo que se interrumpa el servicio eléctrico normal, por cualquier causa en la que se tenga que evacuar el hospital.

La manera en que el sistema eléctrico esencial realizará las funciones que se han descrito es a través de su composición, ya que este debe contar con 2 subsistemas independientes entre sí, que son el sistema de emergencia y el sistema de equipos.

- **Sistema de Emergencia:** este subsistema debe estar limitado a dar servicio exclusivamente a circuitos esenciales, para la seguridad de la vida y la atención crítica de los pacientes.
- **Sistemas de Equipos:** este sistema debe suministrar energía eléctrica para la operación básica del hospital o instalación clínica de la que se trate, comprendiendo el equipo principal necesario para la atención de los pacientes.

Cuando por cualquier motivo la fuente normal de suministro de energía eléctrica falle, debe existir por lo menos una fuente alterna de energía, el cambio entre un sistema y otro deberá llevarse a cabo con uno o varios desconectadores de transferencia, el número de estos debe establecerse de acuerdo con las características de la carga, ya que la norma oficial mexicana establece que se permite un desconectador que alimente a uno o más circuitos derivados, siempre y cuando la carga no exceda una demanda máxima de 150 [kVA]. Para los casos en los cuales se excedan los 150 [kVA] de demanda máxima, deberán colocarse un mínimo de tres desconectadores de transferencia de tal modo que cada uno de los circuitos derivados cuente con su propio desconectador de transferencia y no exceda la carga mencionada.



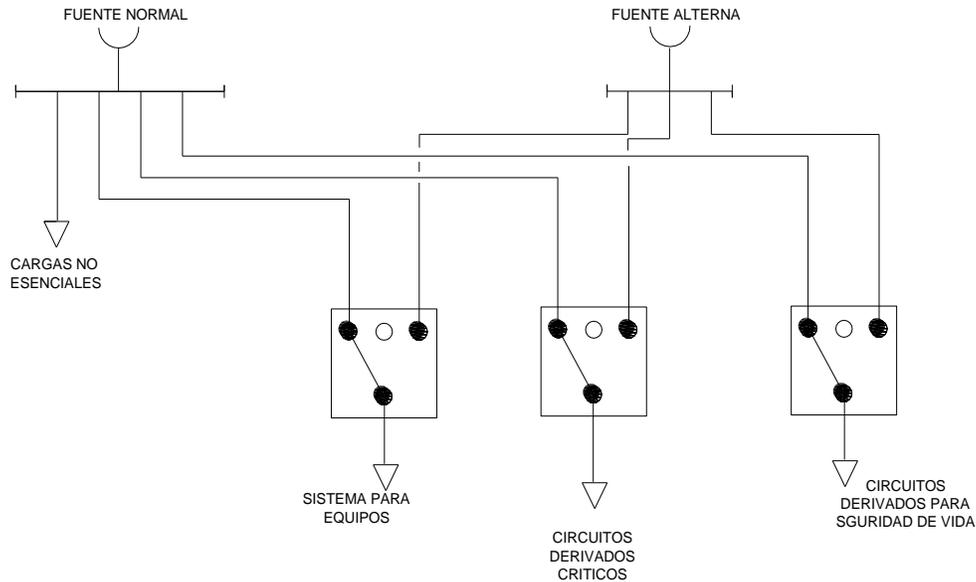


Figura 28. Tal como se indica, el sistema eléctrico puede incluir 3 desconectores de transferencia cuando exceda 150 [kVA], se colocará en este caso un desconector de transferencia para cada circuito derivado.

En el caso de las cargas alimentadas por el equipo generador, diferentes al circuito derivado de seguridad de la vida, circuito derivado crítica y el sistema de equipos, deberán alimentarse por su propio desconector de transferencia para que estas no sean transferidas en caso de una sobrecarga y se desconecten en forma automática al producirse una sobrecarga en el equipo generador.

Es muy importante que los circuitos de seguridad de la vida y los circuitos derivados críticos del subsistema de emergencia, sean completamente independientes uno del otro y de cualquier otro alambrado de equipos. En los sitios en los que se instalen sistemas eléctricos aislados, cada uno de ellos debe ser alimentado por un circuito individual sin alimentar otra carga.

El sistema eléctrico esencial deberá tener la capacidad suficiente para satisfacer la operación de todas las funciones y equipos conectados a él, así mismo los alimentadores se deben dimensionar con la capacidad suficiente, tal que puedan cubrir la demanda en





cualquier momento. Para ello se debe tomar en cuenta la carga instalada y datos históricos, sin olvidar aplicar lo descrito en los artículos 215 y 220 de la NOM-001-SEDE-2012.

### 3.2.1 Sistema de Emergencia.

Los circuitos derivados del sistema de emergencia deben estar instalados y conectados a la fuente alterna de alimentación, de manera que las funciones del circuito derivado de la seguridad de la vida y del circuito derivado crítico sean automáticamente restablecidas dentro de los siguientes 10 segundos después de la interrupción de la fuente normal.

El circuito derivado de seguridad para la vida del sistema de emergencia, debe alimentar las lámparas de alumbrado, contactos y equipos indicados a continuación sin incluir función adicional alguna:

a) Iluminación de las rutas de evacuación. La iluminación de las rutas de evacuación tales como: corredores, pasillos, escaleras y descansos en las puertas de salida o de acceso a zonas seguras y en general a todas las vías necesarias que conduzcan a las mismas, se permite un arreglo en la disposición de circuitos para transferir el alumbrado de los pasillos de los pacientes en los hospitales, desde los circuitos de alumbrado general a los circuitos de alumbrado nocturno siempre y cuando se pueda seleccionar sólo uno de los dos circuitos y que ambos circuitos no puedan quedar sin corriente al mismo tiempo.

b) Señalización de salidas. Las señales de salida y flechas que indiquen las rutas de evacuación hasta las áreas seguras.

c) Sistemas de alarma y alerta. Los sistemas de alarma y alerta, incluyen lo siguiente:

- (1) Alarmas contra incendio.
- (2) Alarmas para los sistemas utilizados en tuberías de gases para uso médico no inflamables.
- (3) Se permitirá conectar al circuito derivado de seguridad de vida, los accesorios mecánicos, de control y otros accesorios exigidos para la operación efectiva de los sistemas de seguridad de vida.





- d) Sistemas de comunicación. Sistemas de comunicación en hospitales, donde se usan para transmitir instrucciones durante condiciones de emergencia.
- e) Local del grupo generador y desconectores de transferencia. Alumbrado del área de maniobras de las baterías de la planta de emergencia y del cargador del banco de baterías y contactos seleccionados y los desconectores de transferencia esenciales.
- f) Accesorios del grupo generador. Los accesorios del grupo generador, según se exija para el desempeño del generador.
- g) Elevadores. Los sistemas de alumbrado, control, señalización y comunicación de las cabinas de los elevadores.
- h) Puertas automáticas. Puertas operadas automáticamente utilizadas para la evacuación de edificios.

El circuito derivado crítico del sistema de emergencia debe abastecer energía para el alumbrado del lugar de trabajo y para equipo fijo y circuitos especiales de alimentación y contactos seleccionados que sirvan a las siguientes áreas y tengan funciones relacionadas con la atención de pacientes:

- (1) Iluminación de las áreas de trabajo de atención crítica al paciente donde se utilicen agentes anestésicos inhalatorios, contactos seleccionados y equipo fijo.
- (2) Los sistemas eléctricos aislados, requeridos e instalados en salas de operaciones y áreas de atención crítica.
- (3) Áreas de atención del paciente, iluminación del lugar de trabajo y contactos seleccionados en:
  - a. Pediatría
  - b. Preparación de medicamentos
  - c. Farmacias
  - d. Terapia intensiva
  - e. Camas de psiquiatría (omitir los contactos)
  - f. Salas de tratamientos.





g. Centrales de Enfermeras

- (4) Alumbrado y contactos adicionales en lugares de atención especializada de pacientes, donde se necesite.
- (5) Sistema de llamadas y comunicaciones de enfermeras.
- (6) Banco de sangre, de huesos y de tejidos.
- (7) Salas y armarios para equipo de telefonía.
- (8) Alumbrado de áreas de trabajo, contactos y circuitos seleccionados en los siguientes casos:
  - a. Camas de atención general (al menos un contacto doble por cada cama de pacientes).
  - b. Salas de angiografía
  - c. Salas para cateterismo cardiaco.
  - d. Unidad de cuidados coronarios.
  - e. Áreas o salas de hemodiálisis.
  - f. Áreas de tratamientos en salas de urgencias (seleccionados).
  - g. Laboratorios clínicos.
  - h. Unidad de terapia intensiva.
  - i. Salas de recuperación postoperatoria (seleccionados).
- (9) Alumbrado de lugares de trabajo, contactos y circuitos seleccionados adicionales, necesarios para la operación efectiva del hospital. Se permite que los motores fraccionarios monofásicos estén conectados del circuito derivado crítico.

Está permitido dividir el circuito derivado crítico en dos o más circuitos derivados, sin embargo, se debe analizar las consecuencias de alimentar un área de un solo circuito derivado; otro detalle importante es identificar cada contacto proveniente del circuito derivado crítico.





### 3.2.2 Sistema de Equipo.

El sistema de equipo debe ser instalado y conectado a la fuente alterna de energía, de tal manera que el equipo conectado a él se restablezca automáticamente después de que el sistema de emergencia ha entrado en operación. El equipo que deberá ir conectado a dicho sistema es:

- (1) Sistemas centrales de vacío y sus controles que sirvan a funciones médicas y quirúrgicas. Tales sistemas de vacío son permitidos en el circuito derivado crítico.
- (2) Las bombas de desagüe u otro equipo cuya operación sea requerida para la seguridad de los equipos y dispositivos médicos mayores, incluyendo sus sistemas asociados de control y alarma.
- (3) Sistemas de aire comprimido medicinal que sirvan a funciones médicas y quirúrgicas incluyendo los controles. Tales sistemas de aire son permitidos en el circuito derivado crítico.
- (4) Sistemas de control de humos o de presurización de escaleras o ambos.
- (5) Sistemas de inyección o extracción o ambos para campanas de cocina, si se requiere su operación durante un incendio al interior o debajo de la campana.
- (6) Sistemas de inyección, retorno y extracción de la ventilación para las salas de aislamiento/infecciones aerógenas, salas con protección de ambiente, ventiladores de extracción para las campanas de vapores de laboratorio, áreas de medicina nuclear donde se usa material radioactivo, evacuación de óxido de etileno y de productos de anestesia. Cuando la conexión automática retardada no sea adecuada, se permitirá que estos sistemas de ventilación se conecten al circuito derivado crítico.
- (7) Sistemas de inyección, retorno y extracción de ventilación para salas de operación y salas de expulsión.





Adicionalmente se debe planear para conexión de retardo automático o manual:

(1) Equipos para calefacción que dan servicio a las áreas, cuartos, salones o locales siguientes: salas de operaciones, tococirugía, salas de expulsión o parto, terapias intensivas, terapias intermedias, cuidados coronarios, cuartos o cubículos para pacientes aislados, áreas o locales para tratamientos de urgencia, cuartos para camas de atención general y además, las bombas que mantienen la presión del sistema de protección contra incendio a base de agua.

**Excepción:** La calefacción de salas generales de pacientes y salas de aislamiento por infección durante la interrupción de la fuente normal de energía, no se requiere bajo ninguna de las siguientes condiciones:

- a. Si la temperatura externa de diseño es mayor que  $-6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- b. Si la temperatura externa de diseño es menor que  $-6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y donde se ha provisto un cuarto seleccionado para las necesidades médicas de todos los pacientes confinados, únicamente este cuarto requiere calefacción.
- c. Las instalaciones son alimentadas por una doble fuente normal de energía.

**NOTA 1:** La temperatura de diseño está basada en el 97.5 por ciento del valor de diseño.

**NOTA 2:** Para descripción de una doble fuente normal de energía, véase la nota de 517-35(c).

(2) Un elevador seleccionado para proporcionar servicio a pacientes entre las salas de operaciones, salas de expulsión o parto, salas de tococirugía y la planta baja del inmueble durante una interrupción de una fuente normal. En los casos de que la interrupción sea tal que se provoque un paro de elevadores entre pisos, se deben proveer medios de transferencia que permitan el funcionamiento temporal de cualquier elevador para poder sacar a los pacientes u otras personas que hayan quedado atrapadas.

(3) Locales de servicios hiperbáricos.





- (4) Locales de servicios hipobáricos.
- (5) Puertas automáticas.
- (6) Se permite que un mínimo de esterilizadores eléctricos estén dispuestos para conectarse en forma automática o manual, a la fuente alterna de energía.
- (7) Controles para equipos aprobados en 517-34.
- (8) Se permite que otros equipos seleccionados sean conectados al sistema de equipos.

**Equipo de corriente alterna para conexión automática sin retardo.** Los accesorios para generadores, incluyendo, pero sin limitarse, a las bombas de transferencia de combustible, rejillas de ventilación operadas eléctricamente y otros accesorios para generadores esenciales para su funcionamiento, se deben disponer para su conexión automática a la fuente alternativa de alimentación.

### 3.3 Sistema Eléctrico no Esencial (Sistema Eléctrico Normal).

Como su nombre lo indica, este sistema es el que abastece de energía eléctrica a toda la instalación en condiciones normales de operación, por lo tanto debe tener la capacidad de suministrar energía a todos los equipos y servicios que lo requieran, generalmente se trata de una acometida de una compañía suministradora, sin embargo, también se permite tener uno o varios generadores dentro del predio para producir la energía requerida.

Las cargas que deben estar conectadas a este sistema, son todas aquellas que sean requeridas en la instalación salvo los equipos que requieran expresamente condiciones especiales.





## 3.4 Sistemas Alternos de Energía.

En la mayoría de los hospitales el suministro de energía eléctrica, es aportado por una compañía suministradora, en el caso de la Ciudad de México la encargada de proporcionar dicho servicio es la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dicho suministro proviene de una subestación eléctrica y es entregado por medio de una acometida propia del hospital, pero en ocasiones suelen ocurrir fallas en el servicio, dejando al hospital sin energía eléctrica; el suministro eléctrico en un inmueble que brinda atención médica a seres humanos, debe contar con una infraestructura eléctrica que permita mantener al sistema eléctrico sin interrupciones y para eso se requieren de Sistemas Alternos de Energía.

Cuando hablamos de Sistemas Alternos de Energía nos referimos a todas aquellas fuentes que son capaces de proporcionar energía eléctrica suficiente durante la interrupción del servicio eléctrico y hasta que éste regrese a su normalidad.

Los circuitos derivados del Sistema de Emergencia ya mencionados con anterioridad, deben ser instalados a la Fuente Alternativa de Energía de modo que las funciones específicas para el sistema de emergencia, deben ser automáticamente restauradas para operar dentro de los 10 segundos después de la interrupción de la fuente.

En la NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones Eléctricas (Utilización), en la sección 517-35 se exponen las Fuentes Alternas de Energía permitidas en los hospitales las cuales son:

- Uno o varios generadores propulsados por motores de combustible generalmente Diesel.
- Otro o varios generadores donde la fuente normal consista de uno o varios generadores localizados en el predio del hospital.
- Un sistema de baterías localizado en el predio.
- Una acometida externa de la empresa suministradora, proveniente de otra subestación eléctrica.





### 3.4.1 Generadores Propulsados por Motores de Combustible.

Cada generador que sea instalado como Sistema Alternativo de Energía, habrá de contar con una placa de datos en la que deberán estar marcados los datos siguientes:

- El nombre del fabricante.
- La frecuencia nominal.
- El factor de potencia.
- Número de fases si es de corriente alterna.
- Las impedancias transitoria y sub transitoria.
- La capacidad nominal normal en [kW] o [kVA].
- Revoluciones por minuto, los Amperes y Volts a la capacidad nominal normal del generador.
- Clase de aislamiento del sistema.
- Temperatura ambiente nominal o incremento nominal de la temperatura.
- Tiempo nominal de funcionamiento.

Los generadores instalados en un hospital deben ser de **Tipo 10, Clase x** (para zonas sísmicas se recomienda una  $x = a$  96 horas) **y Nivel 1**, de acuerdo con la clasificación de la NFPA-110 Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva.

**TIPO:** Define el tiempo máximo en segundos en el que la fuente alterna de energía, deberá proporcionar la energía eléctrica aceptable en calidad y cantidad, en las terminales de la carga del desconectador de transferencia.

Tipos de Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva	
Designación	Restablecimiento de la Energía
Tipo U	Basicamente Sistemas Ininterrumpibles de Energía
Tipo 10	10 segundos
TIPO 60	60 segundos
Tipo 120	120 segundos
Tipo M	Manual o no automatico ( sin limite de tiempo)

Tabla 3. Tipos de Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva.





**CLASE:** Define el tiempo mínimo en horas en el que la fuente alterna de energía, es diseñada para operar a su carga nominal sin ser reabastecido de combustible.

#### Clasificación de los Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva

Designación	Tiempo Mínimo
Clase 0.083	0.083 hr (5 min)
Clase 0.25	0.25 hr (15 min)
Clase 2	2 hrs
Clase 6	6 hrs
Clase 48	48 hrs
Clase X	Otro tiempo, en horas según la aplicación o uso

Tabla 4. Clasificación de Sistemas de Emergencia y Sistemas de Energía de Reserva.

**NIVEL:** La NFPA describe dos niveles de equipamiento de la instalación de los sistemas de emergencia:

- Nivel 1: Estos sistemas deberán ser instalados cuando el fallo del equipo pueda resultar en pérdidas humanas o lesiones graves.
- Nivel 2: Estos sistemas deberán ser instalados cuando el fallo de los sistemas de emergencia no sean tan importantes para seguridad y la vida humana y que la autoridad competente deberá permitir un mayor grado de flexibilidad que la proporcionada por la del Nivel 1.

### 3.4.2 Acometida Externa de la Empresa Suministradora.

Como ya se ha mencionado el suministro normal de energía es aportado por una compañía suministradora a través de una acometida eléctrica, pero la posibilidad de doble acometida se ha adoptado como una solución a los problemas que sufren las compañías.





En instalaciones cuya fuente de energía normal tenga dos o más acometidas independientes provenientes de subestaciones diferentes del servicio eléctrico normal, es más confiable que aquellas que tengan una sola acometida. La doble fuente de suministro normal, consiste de dos o más servicios de energía eléctrica alimentados desde subestaciones independientes o desde una red de distribución del suministrador con múltiples fuentes de alimentación dispuestos con independencia mecánica y eléctrica, de tal manera que una falla entre las instalaciones, las fuentes generadoras o subestaciones del suministrador, no es causa probable de una interrupción en más de uno de los alimentadores que suministran el servicio al lugar para atención de la salud.

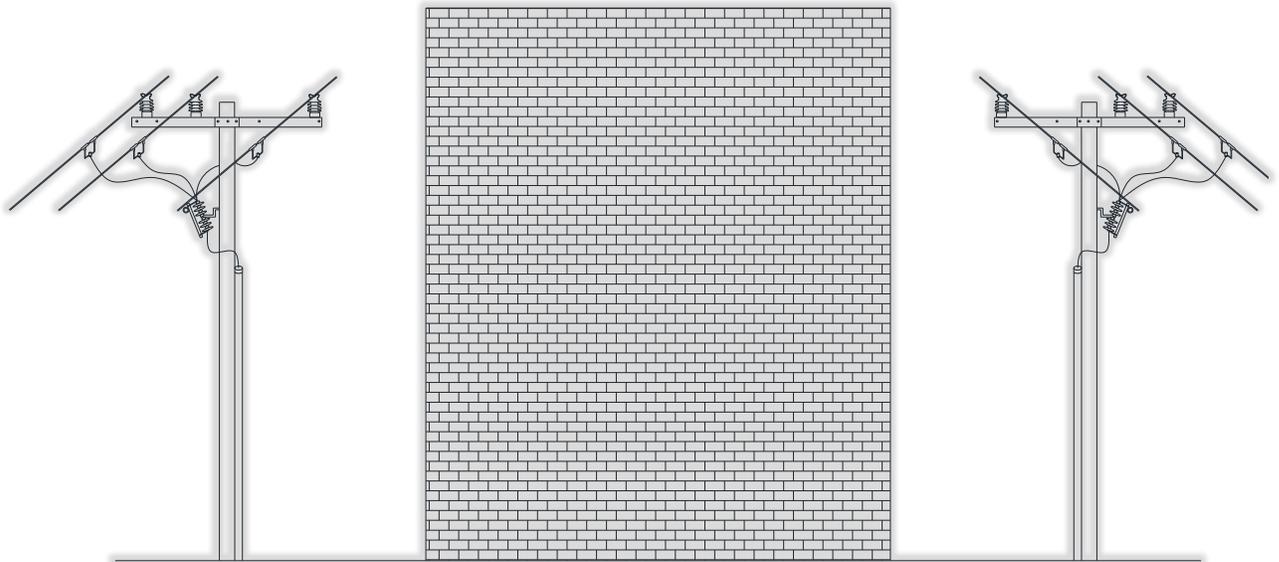


Figura 29. Recepción del Suministro Eléctrico por Dos Acometidas de Subestaciones Eléctricas Diferentes.





## 3.5 Sistema Eléctrico Aislado (Alimentadores).

En la sección **517-30 Sistemas eléctricos esenciales para hospitales (c) Requisitos de Alambrado** menciona lo siguiente:

*Donde los sistemas eléctricos aislados estén instalados en algunas de las áreas dadas en las Secciones 517-33(a) (1) y 517-33(a) (2) (circuitos derivados críticos) cada sistema debe ser alimentado por un circuito individual sin alimentar otra carga.*

Dado que la sala de operaciones entra en el área de circuitos derivados críticos, debe cumplir con este apartado de la NOM 001 SEDE 2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización). Es importante explicar con más detalle el apartado anterior en donde se menciona que: cada sistema debe ser alimentado por un circuito individual sin alimentar otra carga, ya que no solo se refiere a cargas como iluminación, contactos, también se refiere al uso de Sistemas de Energía Ininterrumpibles (UPS), ya que es muy común que los diseñadores hagan uso de estos equipos en Salas de Operaciones como una fuente Alterna de Energía; dado que estos sistemas cuentan con un conjunto de componentes electrónicos que al presentarse fallas en los mismos requiere de reparación especializada, se deja sin suministro de energía eléctrica a la sala de operaciones más tiempo del requerido, esto representa un gran riesgo para los pacientes que están siendo intervenidos quirúrgicamente, además es innecesario el uso de estos dispositivos ya que cada equipo biomédico como es el caso de la máquina de anestesia debe contar con su propia UPS integrada con un respaldo de energía de aproximadamente de 90 minutos de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012.



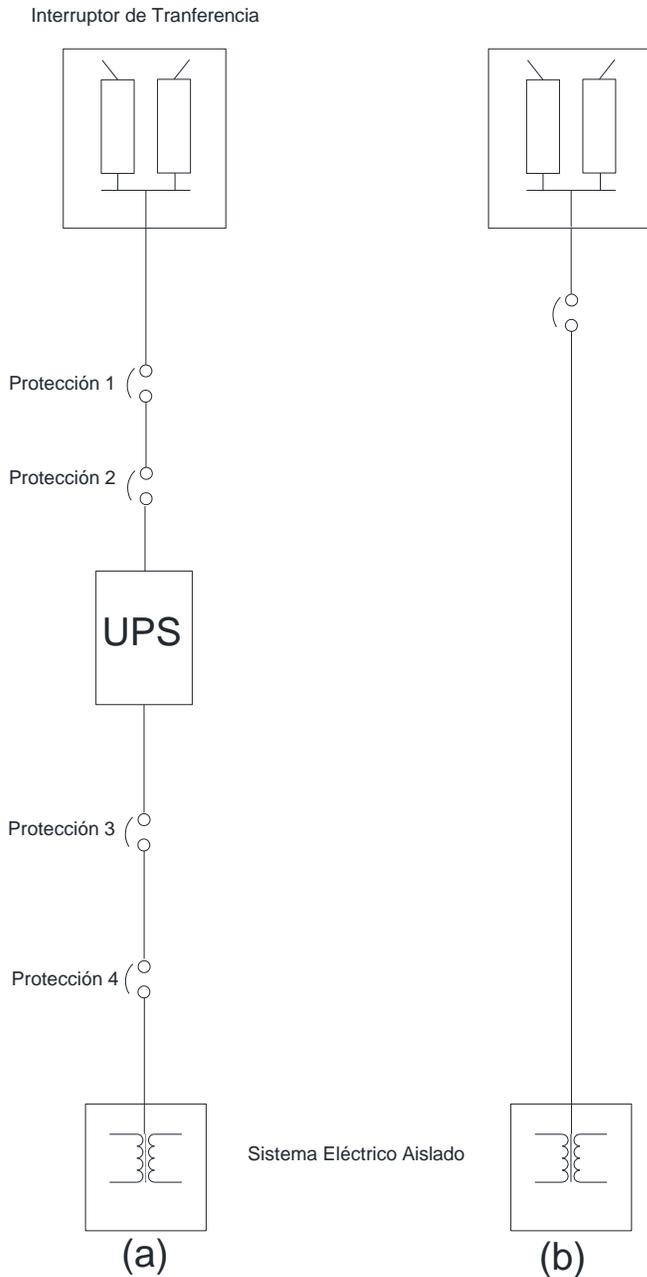


Figura 30. Alimentador del Sistema Eléctrico Aislado. En la figura de lado izquierdo se muestra un blindaje hacia el sistema eléctrico aislado con un UPS, sin embargo la NOM nos dice que cada sistema debe ser alimentado por un circuito individual sin alimentar otra carga, y puesto que el UPS es una carga que puede llegar a interrumpir la energía si se llegara a presentarse alguna falla en el equipo, además que es mucho más difícil coordinar ese número de protecciones, a diferencia del arreglo adecuado figura de lado derecho (b) la más adecuada puesto que no hay de por medio carga alguna conectada al circuito alimentador del sistema eléctrico aislado.





## 3.6 Programa de Mantenimiento.

### 3.6.1 Iluminación (Instalación y Mantenimiento de luminarios).

Como sabemos en una sala de operaciones, se requiere el uso de un equipo biomédico sumamente útil para los cirujanos, por ejemplo la lámpara quirúrgica, la cual debe ser de grado médico y debe tener integrada una UPS con duración de 90 minutos aproximadamente, este dispositivo es utilizado para enfocar una gran cantidad de luz sobre el paciente, proporcionando un nivel de iluminación suficientemente alto para producir confort visual, evitando la producción de fatiga en la vista del médico.

Es muy común el uso de techos de paneles de yeso (plafón falso), en el diseño arquitectónico de las salas de operaciones, la mayoría de las veces la lámpara quirúrgica es montada sobre la loza del edificio quedando cubierta por los paneles de yeso, pero existe un inconveniente a la hora de presentarse una falla en el equipo, éste tendrá que ser desmontado provocando la contaminación del quirófano ya que en el interior del plafón se acumula gran cantidad de polvo y suciedad.

Para evitar el inconveniente mencionado en el párrafo anterior, se debe tomar en cuenta un tipo de diseño que evite la apertura de los paneles de yeso, para la reparación y mantenimiento de las lámparas quirúrgicas, a continuación en la imagen se ilustra una propuesta de cómo se debe instalar dicha lámpara, en ella se observa la elaboración de un cajillo, quedando al descubierto la loza del edificio, en ésta es montada la lámpara quirúrgica y con ello además de que se facilita el montaje y desmontaje se evita la contaminación de la sala de operaciones.



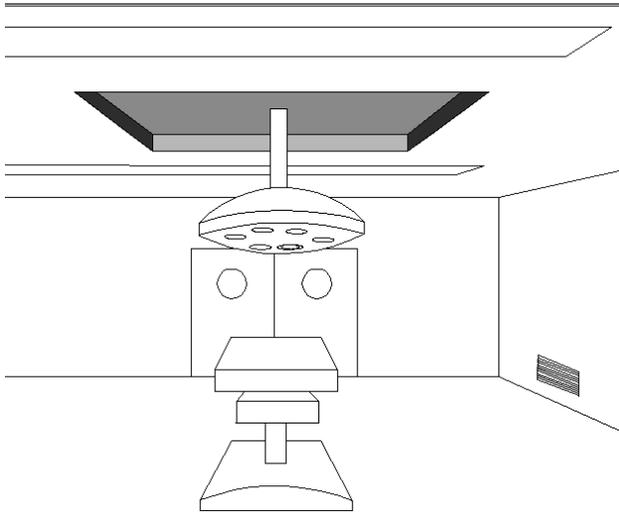


Figura 31. Instalación de la Lámpara Quirúrgica en una Sala de Operaciones.

Finalmente, los luminarios deben ser cuidadosamente especificados para proveer una óptima fiabilidad, facilidad de mantenimiento y saneamiento. Los luminarios necesitan ser limpiados con frecuencia empleando compuestos de limpieza o desinfectantes, para ello se requiere que los materiales con que son fabricados no tengan grietas o fisuras que puedan albergar suciedad. Los difusores deben ser sellados para evitar la entrada de agentes (fluidos de los pacientes), las juntas deben ser lavables y los accesorios deben ser también lo suficientemente resistentes como para soportar esta limpieza.

El sistema de iluminación general también debe ser diseñado teniendo en consideración el mantenimiento futuro. Es recomendable que se instalen estructuras comúnmente conocidas como pasos de gato para que de esta manera se dé mantenimiento a las luminarias desde la parte trasera con la finalidad de evitar la caída de polvo o de partículas que contribuyan a la generación de bacterias en la sala de operaciones.

Otro elemento importante es la elección de las lámparas, se deben utilizar el mismo tipo de lámpara, es decir, con las mismas características de temperatura de color. Las lámparas típicamente deben ser elegidas para alcanzar un alto rendimiento de color con el fin de que se tenga una percepción más precisa del tono de la piel o de cualquier otro elemento o parte del cuerpo que intervenga en una cirugía. Del mismo modo, en la sala de operaciones también deben tener un nivel de iluminación moderadamente alta que se aproxime al nivel de luz natural.





## 3.7 Pruebas Establecidas por la NFPA en Salas de Operaciones.

En este apartado expondremos un tema de suma importancia, ya que será de gran utilidad para el personal encargado tanto de mantenimiento como de los ingenieros biomédicos, para mantener en perfectas condiciones cada una de las salas de operaciones del hospital al que brindan sus servicios; nos referimos a las pruebas a efectuarse periódicamente a las instalaciones eléctricas, así como al equipo médico de utilización en una sala de operaciones. Aunque en la NOM-001-SEDE-2012 no son mencionadas explícitamente las pruebas, ésta misma nos menciona que debemos consultar los apéndices B1 y B2 en los cuales se hace referencia a algunas normas extranjeras. Para este caso se ha consultado la NFPA 99 Health Care Facilities, en la cual se establecen los métodos de prueba de los que hablamos; además de indicar el procedimiento a realizar, NFPA 99 nos informa de los valores mínimos aceptables que deben arrojar las pruebas para garantizar un mínimo de seguridad.

Es indispensable realizar estas pruebas habitualmente debido a que el deterioro natural de cada uno de los elementos que compone la sala de operaciones propicia que con el tiempo una instalación segura se convierta en una instalación susceptible de fallas eléctricas.





### 3.7.1 Requerimientos para la Realización de las Pruebas.

A continuación se enlistan una serie de requerimientos para el personal encargado del mantenimiento del hospital, antes de llevarse a cabo las pruebas a las salas de operaciones:

- Debe participar el ingeniero biomédico o personal calificado de mantenimiento en todas las pruebas.
- Se deben proporcionar los planos o esquemas de localización y la identificación de cada sistema aislado incluyendo la especificación de la sala de operaciones (quirófano) o las camas de cuidados críticos a las que sirva cada uno.
- Se deben proporcionar los manuales de los fabricantes de los equipos de utilización fijos y del sistema aislado que contengan las instrucciones para la instalación, operación, mantenimiento, pruebas y procedimientos de ajustes para calibraciones.
- Las pruebas núm. 12 y 13 solo se aplicarán en equipos sin garantía, los equipos con garantía los deberá revisar el fabricante, de ser posible en la misma fecha en que se ejecuten las pruebas se recomienda que asista personal del fabricante del equipo y de la empresa que hizo la instalación eléctrica de todo el sistema eléctrico aislado incluyendo alambrado y salidas.





### 3.7.2 Equipo de Medición a Utilizar en las Pruebas.

Para efectuar cada una de las pruebas es necesario contar con los siguientes equipos de acuerdo con las pruebas mencionadas en NFPA-99 Health Care Facilities edición 2005, sin olvidar que cada uno de los equipos mencionados debe estar debidamente calibrado por una asociación certificada.

Equipo:	Analizador de Seguridad Eléctrica	Universal Isotester Lim/FGI Tester.
Imagen		
Participación en:	Prueba 4, Prueba 5, Prueba 6, Prueba 7, Prueba 8.	Prueba 1, Prueba 2, Prueba 3.



Equipo:	Medidor De Resistencia de Aislamiento Analógico	Probador de Retención de Contactos.
Imagen		
Participación en:	Prueba 9.	Prueba 10.

Equipo:	Multímetros Digitales	Indicador De Polaridad, Cables Herramienta y Accesorios.
Imagen		
Participación en:	Prueba 11, Prueba 12, Prueba 13.	Prueba 11, Prueba 12, Prueba 13.

Tabla 5. Equipo de Medición a Utilizar en las Pruebas.

### 3.7.3 Listado de Pruebas a Realizar.

#### Prueba 1.

En la sección 99 3-3.2.2.2 (a) de la NFPA 99 se establece que:

- ***La impedancia capacitiva y resistiva de cualquier conductor de un sistema aislado debe ser mayor a los 200 000 [ $\Omega$ ].***

Para llevar a cabo esta primera prueba primeramente se debe desconectar la referencia de puesta a tierra del monitor de aislamiento de línea (LIM), después con ayuda del ISOTESTER se conecta cada uno de los módulos de contactos existentes, para este último paso es necesario que cada uno de los contactos estén bien polarizados y aterrizados como lo indica la prueba 10.

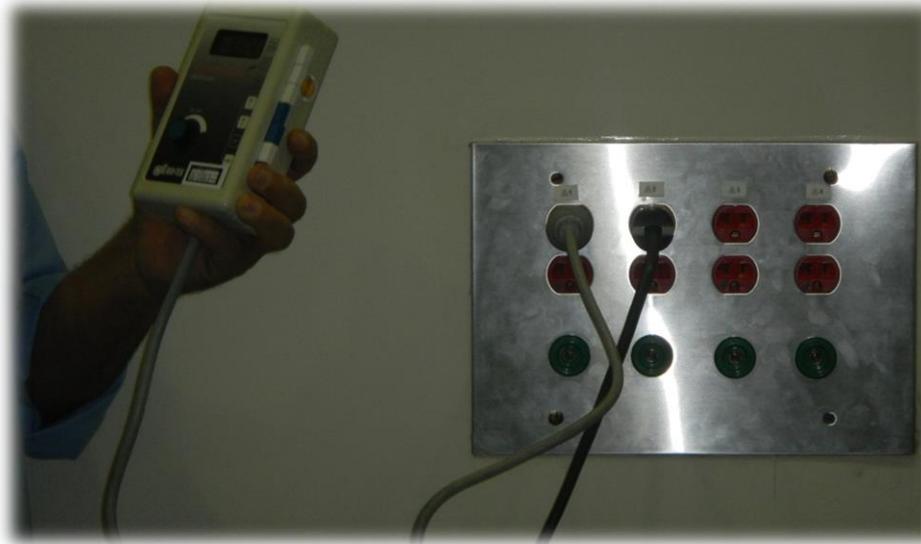


Figura 32. Modo de Empleo del Isotester en la Prueba No. 1.



Recalcamos que el conductor que debe ser empleado en este tipo de instalaciones debe estar especificado con una constante dieléctrica ( $k_e$ ) menor a 3.5 y una resistencia de aislamiento mayor a los 6 100 [M $\Omega$ -m] a 16 °C. De igual forma la longitud de la trayectoria que recorran los conductores debe ser la más corta posible, pero sobre todo no se debe permitir el uso de extensiones dentro de la sala de operaciones. En la medida en que el sistema eléctrico se apegue a las recomendaciones dadas, mayor oportunidad se tendrá de cumplir con las pruebas.

Cabe aclarar que el ISOTESTER no proporciona directamente la impedancia de la línea, este solo nos arroja un valor de corriente, al cual debemos aplicarle la ley de ohm para obtener el valor de la impedancia.

## Prueba 2.

En el artículo No. 3-3.2.2.2 (b) de la NFPA se establece:

- ***El monitor de aislamiento de línea no debe activar la alarma para corrientes peligrosas de falla inferiores a 3.7 [mA], ni para corrientes peligrosas de falla totales inferiores a los 5 [mA].***

Para esta prueba nuevamente se requiere el uso del ISOTESTER conectándolo a uno de los contactos que alimente el sistema eléctrico aislado, poco a poco se deberá ir incrementando la corriente de fuga del ISOTESTER hasta que se encuentre muy cerca de los valores mencionados de tal forma que la alarma del LIM únicamente se active cuando el ISOTESTER indique que está aplicando una corriente de fuga igual o muy cercana a las mencionadas.

Para esta prueba no se requiere hacer cálculos adicionales puesto que solo se comprobará con la activación visible y audible de la alarma.



### Prueba 3.

En el artículo 3-3.2.1.2 (f) de la NFPA 99 se menciona que:

- ***los interruptores de falla a tierra GFCI así como todos los contactos que cuenten con este tipo de protección deben operar a menos de 6 [mA].***

*La razón por la cual debe operar a ese valor de corriente como máximo es porque como se ha mencionado en el capítulo 2 de esta tesis, la corriente promedio de retiro “let-go” en los seres humanos es de 6 [mA] así que para una corriente mayor a esta una persona no podría soltarse voluntariamente del conductor.*

Para esta prueba únicamente es necesario conectar el ISOTESTER a cada uno de los contactos GFCI e ir aumentando poco a poco la corriente de fuga del ISOTESTER para identificar el valor de la corriente a la cual se disparó el interruptor.



Figura 33. Prueba a los Contactos con Interruptores de Falla a Tierra (GFCI).

## Prueba 4.

En los artículos 3-3.3.2.3 y 3-3.3.2.6 (a) de la NFPA 99 se menciona que:

- *Se establece como máximo un valor de 20 [mV] de tensión medido entre un punto de referencia a tierra y la superficie conductiva expuesta de cualquier equipo ubicado en la vecindad del paciente (en condiciones de no falla).*

Para las mediciones que requiere esta prueba se utilizó el ELECTRICAL SAFETY ANALIZER. Una vez energizado el equipo se debe colocar uno de los bornes al conductor de puesta a tierra del tablero de aislamiento y el otro borne a cada una de las superficies conductivas expuestas.



Figura 34. Modo de empleo del Electrical Safety Analyzer para la ejecución de la prueba 4.



### Prueba 5.

En los artículos 3-3.3.2.4 y 3-3.3.3.6 (b) de la NFPA 99 se menciona que:

- ***Que el límite de la impedancia medida entre un punto de referencia a tierra y la terminal para conexión a tierra de cada uno de los contactos instalados dentro de la vecindad del paciente sea de 0.1 [ $\Omega$ ].***

Nuevamente es necesario apoyarse en el ELECTRICAL SAFETY ANALIZER, el cual debe conectarse por un lado a la terminal de puesta a tierra de cada contacto y por el otro al punto de referencia de puesta a tierra del tablero.

### Prueba 6.

En los artículos 9-2.1.13.4 (c) y 9-2.1.13.4 (a) de la NFPA 99 se menciona que:

- ***Que la corriente de fuga de los equipos conectados con cordón y clavija usados en la vecindad del paciente no exceda 300 [ $\mu\text{A}$ ].***

Esta prueba se hace directamente con cada uno de los equipos alimentándolos a través del ELECTRICAL SAFETY ANALIZER, las clavijas de los equipos deben ser de 3 terminales, salvo que el equipo sea especificado como equipo con doble aislamiento.





Figura 35. Medición de la Corriente de Fuga a la Unidad Electroquirúrgica.

Se deben realizar tres pruebas para un mismo equipo, una con el equipo apagado, una con el equipo encendido y una tercera con el equipo funcionando a su máxima potencia, y además se debe medir en polaridad normal y polaridad reversa.

### Prueba 7.

En el artículo 9-2.1.1.13.4 (a) 2 y 9-2.1.13.4 (a) de la NFPA se establece:

- ***Que la corriente de fuga de los equipos conectados en forma permanente, dentro de la vecindad del paciente, no exceda de 5 [mA] probados antes de que se instalen y estén conectado a tierra.***



Esta prueba se debe realizar antes de ser instalados los equipos permanentes (cama quirúrgica, lámpara quirúrgica etc.) en la vecindad del paciente, el equipo a utilizar en esta prueba es el Analizador de Seguridad Eléctrica de manera similar a la prueba 6.

### Prueba 8.

En el artículo 9-2.1.13.2 de la NFPA se establece:

- ***Que la resistencia del conductor de puesta a tierra de los equipos medida desde el chasis o envoltorio del equipo a la terminal de tierra de la clavija, no exceda de 0,15 [ $\Omega$ ].***

Para esta prueba se requiere el uso del Analizador de Seguridad Eléctrica, primero se procede a conectar el borne del chasis de puesta a tierra del equipo médico al equipo de medición, el otro borne se conecta al borne de puesta a tierra de la clavija del equipo médico.

### Prueba 9.

En el anexo No. 2 sección 2-6.3.8 (b) 3, 4 y 2-6.3.6.8 de la NFPA se establece:

- ***Que los pisos conductivos tengan una resistencia promedio menor a 1, 000, 000 [ $\Omega$ ] y que no sea inferior a un promedio de 25, 000 [ $\Omega$ ].***

Para llevar a cabo esta prueba se requiere el uso del Medidor de resistencia de Aislamiento Analógico, compuesto de electrodos de pesas y accesorios especiales para la prueba de los pisos conductivos. Antes de realizar alguna medición hay que verificar que el equipo se encuentre calibrado, a continuación se procede a colocar dos piezas de papel de aluminio de 12X12 cm, sobre ellas se deberán colocar los electrodos perteneciente al equipo de medición, separadas a una distancia de 91 cm, justo como se ilustra en la figura No. 36.





Figura 36. Medición de la Resistencia de un Piso Conductivo.

## Prueba 10.

En el artículo No. 3-3.3.3 (a), (b), (c) y (d) de la NFPA se establece:

- ***Que se mantenga la polaridad de las conexiones en los contactos y sean físicamente integrados. La fuerza de retención del conector debe ser de 115 gramos.***

Para esta prueba se requiere el uso de dos equipos de medición, uno es un Indicador de Polaridad y un Probador de Retención de Contactos. Primeramente se verifica la polaridad de cada uno de los contactos, en el caso del módulo de contactos del sistema eléctrico aislado se procede a destaparse para que se verifique que los conductores color naranja y marrón se encuentran instalados correctamente, nótese en la figura No 37.



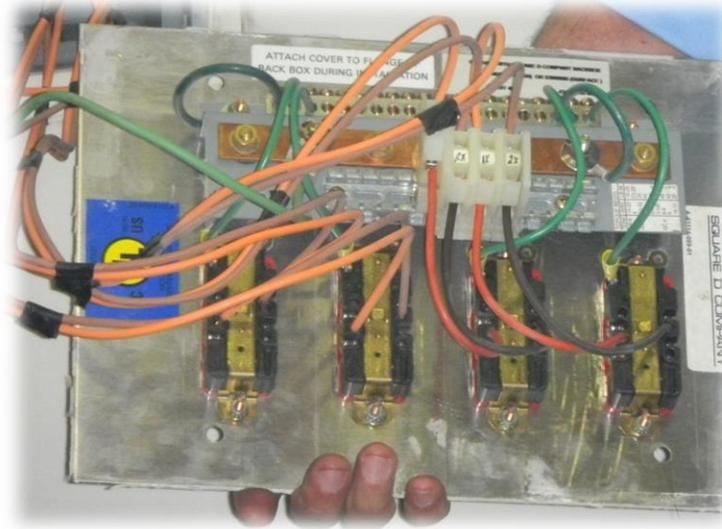


Figura 37. Identificación de Conductores en los Contactos del SEA.

Una vez que se comprobó que la polaridad de cada contacto es la correcta, el siguiente paso es probar que la fuerza de cada contacto sea la recomendada por la NFPA que es de 115 gramos, para ello utilizaremos el Probador de Retención de Contactos, haremos una pequeña calibración al equipo con una pequeña pesa de 8 Oz, una vez terminada la calibración insertaremos en cada borne del contacto (Fase, Conductor Neutro, y Conductor de puesta a tierra) el equipo de medición, para corroborar que se cumpla con lo establecido.

### Prueba 11.

En el artículo No. 3-3.2.1 (a), (b) y 3-3.3.2.2 de la NFPA se establece:

- ***Que se mantenga continuidad eléctrica en todas las partes metálicas expuestas y la terminal de conexión a tierra de los contactos con el punto de referencia a tierra en la vecindad del paciente.***

Para llevar a cabo esta prueba se requiere el uso de un Multímetro digital. Para esta prueba se coloca una de las puntas del multímetro en la barra de puesta a tierra del tablero de



aislamiento, la otra punta se colocará en cada una de las partes metálicas de los equipos médicos (incluyendo la puerta) para corroborar que existe continuidad eléctrica en el sistema de puesta a tierra de todos los equipos como se ilustra en la figura No. 38.



Figura 38. Medición de Continuidad en Partes Metálicas de la Sala de Operaciones.

Las pruebas que a continuación se enlistan (prueba No. 12 y 13) se deberán realizar en presencia del fabricante (preferentemente) y de acuerdo con sus manuales de instalación, operación y mantenimiento. Se aplicarán en equipos que no cuenten con garantía, los equipos con garantía los deberá de revisar el fabricante, de ser posible en la misma fecha y momento en que se estén ejecutando las pruebas.





### Prueba 12.

En el artículo No. 9-2.1.8.1 de la NFPA se establece:

- ***Que el equipo opere y proporcione resultados de acuerdo con su diseño basándose en los manuales y las especificaciones del fabricante para: su instalación, operación, mantenimiento, fallas, ajustes y pruebas.***

### Prueba 13.

En el artículo No. 3-3.2.2.3 (b) y 3-3.3.4.2 (a) de la NFPA se establece:

- ***El circuito del monitor de aislamiento de línea debe ser probado después de su instalación y antes de ser puesto en servicio, para esto, cada línea energizada del sistema eléctrico aislado de distribución debe conectarse a tierra sucesivamente a través de una resistencia con valor de  $200 X V$ , donde  $V$  es igual a la tensión medida entre las líneas aisladas del sistema. Las alarmas audibles y visibles deben activarse.***



# CAPÍTULO 4

**Conclusiones.**



Con este capítulo se concluye el trabajo de tesis referente al diseño del sistema eléctrico en una sala de operaciones, se espera que toda la información expuesta en el trabajo de investigación sea de uso significativo para todo el profesional dedicado al diseño de hospitales, ingenieros biomédicos, personal que se encarga del mantenimiento del inmueble, así como del mismo personal médico que labora en salas de operaciones.

Se recomienda que en los lugares en donde se realicen intervenciones quirúrgicas se deban extremar precauciones ya que se ha determinado a través de una serie de experimentos de investigadores como Dalziel, que se requieren valores muy pequeños de corriente eléctrica del orden de los microamperes para provocar la muerte de una persona que está siendo intervenida con métodos invasivos.

Aunque los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano pueden ser muy variables dependiendo de muchos factores como la intensidad de corriente, la resistencia eléctrica del cuerpo, la tensión, la frecuencia e incluso el estado de ánimo de las personas, a lo largo de la historia se han realizado diversos experimentos e investigaciones para proporcionarnos datos cada vez más precisos sobre las consecuencias que trae consigo una falla eléctrica y gracias a dichas investigaciones se ha logrado desarrollar una serie de protecciones hacia las personas y que actualmente son usadas en las salas de operaciones como es el caso de los interruptores de falla a tierra o del Sistema Eléctrico Aislado protección que se aplica en pacientes que son susceptibles a choques eléctricos. Para garantizar un nivel mínimo de seguridad se han desarrollado las normas tanto nacionales como extranjeras que contienen especificaciones muy precisas sobre los materiales y cuidados que se deben tener en la instalación eléctrica de una sala de operaciones, de tal manera que es muy importante apearse en todo momento a dichas especificaciones ya que no solo evitará los riesgos de una falla eléctrica, sino que también nos permiten la elaboración de un proyecto más sencillo y económico.





Otro de los problemas a enfrentarse a la hora del diseño es el uso de gases anestésicos, aunque actualmente se ha reducido en gran medida el uso de anestésicos inflamables no se debe olvidar que existe la posibilidad de explosiones o incendios a causa de la electricidad en combinación con algún gas inflamable, por eso es indispensable recabar toda la información posible antes de proyectar, como las actividades que se desarrollarán y los compuestos que se involucrarán dentro del sitio, únicamente con el propósito de darle a cada diseño la versatilidad y la seguridad que se requiere.

Además de apegarse a la normatividad vigente al momento de diseñar y construir una sala de operaciones es indispensable mantener en correcta operación los sistemas que la componen, de tal manera que siempre debe haber personal especializado dentro del hospital que se encargue de verificar que tanto los equipos como la instalación eléctrica operen adecuadamente y no representen un riesgo potencial para las personas que se introduzcan en la sala de operaciones; es muy importante contar con un programa de mantenimiento y revisión periódica del equipo y sistema eléctrico del hospital puesto que el deterioro natural de los elementos con el paso del tiempo y el uso constante, representan un peligro de falla y por lo tanto se corre el riesgo de que algún paciente o personal médico resulte lesionado por electrocución.

Aunque en este trabajo no se haya logrado llevar a la práctica, lo plasmado en esta tesis esta fundamentado con todos los requerimientos, especificaciones y lineamientos de carácter técnico establecidos por las normas nacionales como es la NOM 001 SEDE 2012 Instalaciones Eléctricas (Utilización), la NOM-016-SS3-2012, Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada, así como de normas extranjeras dedicadas únicamente a lugares de atención de la salud, el libro blanco de la IEEE y la NFPA 99. Para que todo profesional dedicado a proyectar instalaciones hospitalarias le sea de gran utilidad y sobre todo que al igual que los médicos y enfermeras cuiden el bienestar de cada uno de los pacientes.



# Bibliografía

- Cornelia Berry, Edna; Louise Kohn, Mary, ***Técnicas de Quirófano***; Editorial McGraw Hill; Cuarta Edición, Año de Publicación 1978.
- Torres, Luis M; ***Tratado de Anestesia y Reanimación Tomo 1***; Editorial ARAN 2001. Capítulo 5 y 6.
- Fischer, Marvin J; ***Designing Electrical Systems for Hospitals***; Brookdale Hospital Center, Brooklin, Agosto de 1973.
- Dalziel, Charles F; ***Electric Shock Hazard***; IEEE Spectrum, Febrero 1972.
- IEEE; ***IEEE White Book, Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities***, Institute Electrical and Electronics Engineers, USA 2007.
- NFPA; ***NFPA 99 Standard for Health Care Facilities***; National Fire Protection; USA 2005.
- NFPA; ***National Electrical Code***; National Fire Protection; USA 2011.
- NFPA; ***NFPA 110 Standard Emergency and Standby Power Systems***; National Fire Protection; USA 2005.
- Secretaría de Salud; ***NOM-016-SS3-2012, Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada***; Diario Oficial de la Federación 8 de enero del 2013.
- Secretaría de Salud; ***NOM-040-SSA2-2004, En materia de información en salud***; Diario Oficial de la Federación 8 de marzo de 2004.
- Secretaría de Salud; ***NOM-205-SSA1-2002, Para la práctica de la cirugía mayor ambulatoria***; Diario Oficial de la Federación 12 de diciembre de 2003.
- Secretaría de Energía; ***NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización)***; Diario Oficial de la Federación 29 de Noviembre de 2012.

# MESOGRAFÍA

- SQUARE D; *Sistema de Aislamiento para Hospitales*; Scheider Electric; Septiembre 2005.
- <http://premium.enciclonet.com/flash/corazon.swf>
- [http://www.texasheartinstitute.org/HIC/anatomy\\_Esp/anato\\_sp.cfm](http://www.texasheartinstitute.org/HIC/anatomy_Esp/anato_sp.cfm)